

**PENGARUH LUAS *DIMPLES* DAN *LOADING* BRIKET
BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAN
KOMPOR BATUBARA**

SKRIPSI

Oleh

GITA PUTRI M

0404060284



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007 / 2008**

**PENGARUH LUAS *DIMPLES* DAN *LOADING* BRIKET
BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAAAN
KOMPOR BATUBARA**

SKRIPSI

Oleh

GITA PUTRI M

0404060284



SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN

PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

GENAP 2007 / 2008

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

PENGARUH LUAS *DIMPLES* DAN *LOADING* BRIKET BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAAN KOMPOR BATUBARA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, Juli 2008

Gita Putri M

0404060284

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

PENGARUH LUAS *DIMPLES* DAN *LOADING* BRIKET BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAN KOMPOR BATUBARA

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan sebagai sarjana teknik pada jurusan Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang skripsi tanggal 7 juli 2008 dan dinyatakan sah sebagai skripsi oleh Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Depok, 14 Juli 2008

Menyetujui,

Ir. Dijan Supramono, MSc

NIP 131 803 986

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. Wb

Dengan segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat – Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH LUAS *DIMPLES* DAN *LOADING* BRIKET BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAAAN KOMPOR BATUBARA“**.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ini menyampaikan ucapan terima kasih terutama kepada :

Ir. Dijan Supramono, MSc

Selaku pembimbing utama, atas segala saran, waktu dan kesabarannya dalam membimbing dan menyusun skripsi ini. Kedua orangtua tercinta dan Raditya (adik) yang senantiasa mendukung, memberikan perhatian dan kasih sayangnya.

Selain itu, dengan penuh rasa hormat penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku kepala Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia
2. Bapak Ir. Setiadi, M. Eng selaku Pembimbing Akademis
3. Keluarga besar di Jakarta atas doa dan dukungannya
4. Teman – teman seperjuangan (Wiwik, Desti, Indah) atas semangat dan dukungannya dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman – teman Teknik Kimia 2004 atas kebersamaan dan keceriaannya selama di kampus
6. Kang Ijal, Mang Jajat, Mas Eko, Mas Taufik, dan Mas Sri atas bantuannya selama penelitian
7. Mr. C untuk support dan semangatnya dalam menyelesaikan penelitian ini
8. Semua pihak yang telah banyak membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak.

Wassalamu'alaikum, wr, wb.

Depok, 14 Juli 2008

Penulis



Gita Putri M NPM 0404060284 Departemen Teknik Kimia	Dosen Pembimbing Ir. Dijan Supramono, M.Sc
PENGARUH LUAS <i>DIMPLES</i> DAN <i>LOADING</i> BRIKET BATUBARA TERHADAP WAKTU PENYALAN KOMPOR BATUBARA	
<p>ABSTRAK</p> <p>Batubara memiliki potensi untuk dikembangkan, mengingat ketersediaan yang melimpah dan potensi yang besar. Briket batubara digunakan pada industri kecil dan menengah. Tingkat pemakaian yang tinggi dan harga yang kompetitif menjadi pertimbangan pemilihan briket batubara sebagai bentuk komersialisasi batubara. Tetapi masih ditemukan kendala dalam penyalaan awal briket pemasakan seperti waktu dan suhu nyala.</p> <p>Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh waktu penyalaan yang singkat, dengan mengoptimisasi luas <i>dimples</i> pada permukaan briket promotor dan briket pemasakan lapisan atas. <i>Dimples</i> dapat meningkatkan turbulensi, dan perpindahan panas konveksi dari briket promotor ke briket pemasakan di bawahnya karena adanya resirkulasi fluida, yang akan menurunkan <i>ignition time</i>. Luas <i>dimples</i> yang digunakan adalah 20%, 40%, dan 60%. Penelitian ini juga memvariasikan loading pada briket promotor untuk memperoleh sensitifitas efek <i>loading</i> terhadap waktu penyalaan. <i>Loading</i> yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100%, 50%, dan 25%.</p> <p>Briket yang digunakan dalam penelitian ini adalah briket bentuk bola dengan <i>dimples</i> untuk briket promotor dan briket pemasakan lapisan atas, dan briket bentuk bantal pada lapisan bawah. Udara dialirkan secara <i>forced draft</i> dengan menggunakan <i>blower</i>. Penyalaan awal dilakukan dengan penyalaan briket promotor menggunakan pembakar spiritus hingga terbentuk bara api, waktu penyalaan diukur dari peletakan briket promotor hingga terjadi bara pada briket pemasakan.</p> <p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket promotor dengan luas <i>dimples</i> 20% dan briket pemasakan dengan luas <i>dimples</i> sebesar 40%, memiliki waktu nyala optimum sebesar 6 menit. Semakin besar loading briket promotor, semakin cepat waktu penyalaan. $t_{\text{ignition loading 100\%}} : 5.067 \text{ menit} < t_{\text{ignition loading 50\%}} : 7.333 \text{ menit} < t_{\text{ignition 25\%}} : 41.4667 \text{ menit}$. Hal ini terjadi karena semakin besar <i>loading</i> dalam promotor, semakin cepat transfer panas yang terjadi.</p>	
Kata kunci : briket batubara, waktu nyala, <i>loading</i>, <i>dimples</i>, turbulensi	

Gita Putri M Student Number 0404060284 Chemical Engineering Department	Supervisor Ir. Dijan Supramono, M.Sc
EFFECTS OF VARIOUS DIMPLES AREA AND LOADING OF COAL BRIQUETTES TO IGNITION TIME OF COAL BRIQUETTE STOVE	
<p>ABSTRACT</p> <p>Coal has potential to be developed, because of big potential and resources. Coal briquettes has ben used in small and medium scale industry. High usage dan competitive price are the considerations to use coal briquette as one of alternative energy, still meeting some constraints, as ignition time and temperature of combustion.</p> <p>This research is aimed to obtain optimum ignition time, one of the method is optimizing dimples at promoting and cooking briquettes and vary loading of promoting btiquettes to gain lessen ignition time. Dimples have the ability to increase turbulence and heat transfer convection from promoting briquette to cooking briquette below it, because of recirculating fluid, which decrease ignition time. Dimples area used are 20%, 40%, and 60%. Loading of promoting briquettes used to obtain sensitivity effect of loading to igniton time. Loading used in the research are 100%, 50%, and 25%.</p> <p>Briquette used in the research are dimpled – spherical and oval. Blower used to create forced draft inside stove. Ignition time starts when promoting briquettes are ignited using alcohol flame until flame occurs in the stove. Promoting briquettes are put on the top of the stove, and cooking briquettes are put below it.</p> <p>The result of the research show that use of 40% dimples area in cooking and 20% dimples area in promoting briquettes reduce ignition time as fast as 6 minute. More loading added to the promotor, more faster the ignition time, in order as follows : $t_{\text{ignition loading 100\%}} : 5.067 \text{ minute} < t_{\text{ignition loading 50\%}} : 7.333 \text{ minute} < t_{\text{ignition 25\%}} : 41.4667 \text{ minute}$. This occurs due to more loading promoting briquettes enhance the heat transfer between promoting and cooking briquettes.</p> <p>Keywords : coal briquettes, ignition time, loading, dimples, turbulence</p>	

DAFTAR ISI

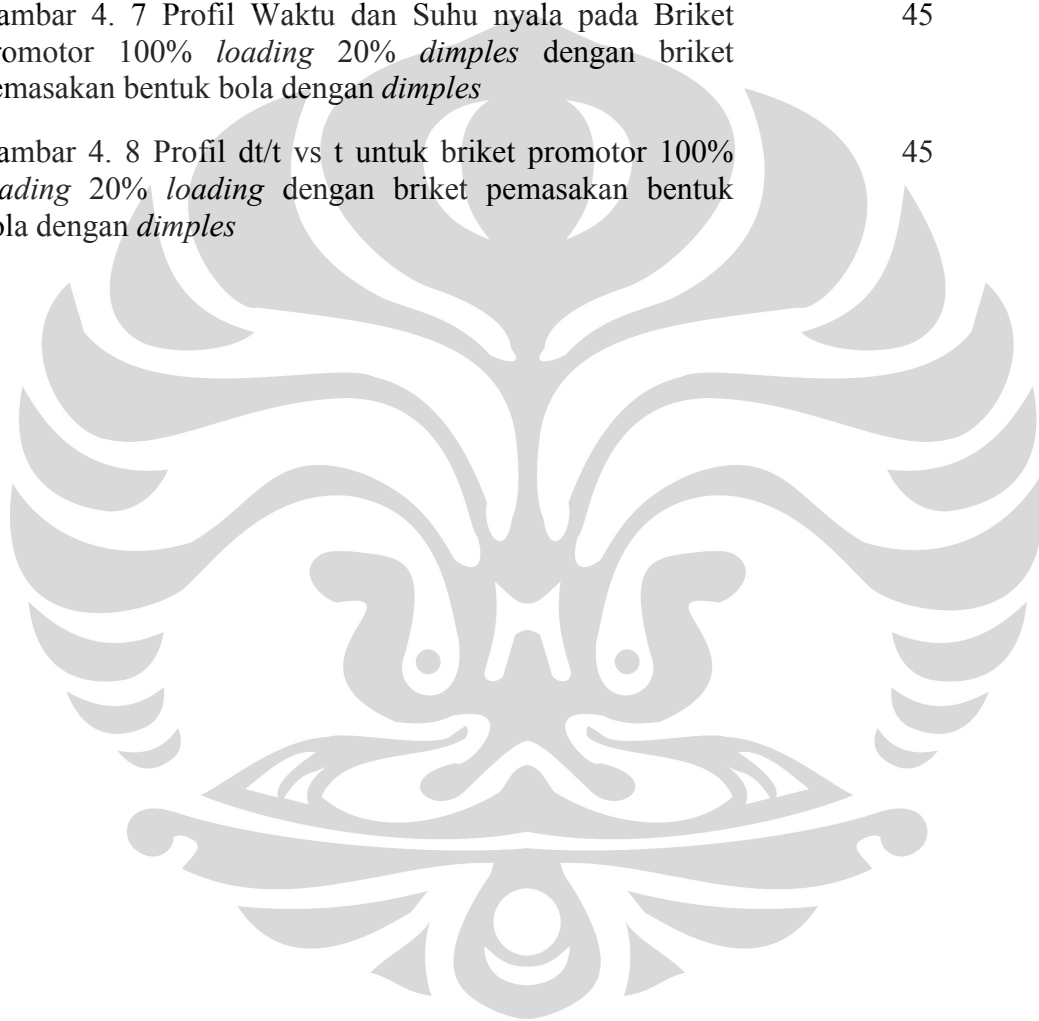
	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 BATUBARA	5
2.1.1 PROSES PEMBENTUKAN BATUBARA	5
2.1.1.1 Sumber Batubara	5
2.1.1.2 Proses Koalifikasi	5
2.1.2 KARAKTERISASI BATUBARA	6
2.1.2.1 Analisa Kelembapan	6
2.1.2.2 Analisa Abu	7
2.1.2.3 Analisa Kandungan Volatil	7
2.1.2.4 Analisa Karbon Tetap	8
2.2 BRIKET BATUBARA	8
2.3 PENYALAN BRIKET BATUBARA	11
2.4 FAKTOR PENENTU PENYALAN BRIKET BATUBARA	13
2.4.1 Pengaruh Penambahan Oksidator dalam Briket Batubara	13
2.4.2 Pengaruh Bentuk Briket Batubara terhadap Waktu Penyalan	14
2.4.3 Pengaruh Loading Briket Batubara terhadap Waktu Penyalan	16
2.4.4 Pengaruh Suplai Udara terhadap Waktu Penyalan	16
2.5 PEMBAKARAN BRIKET BATUBARA	17
2.6 SIFAT AERODINAMIS PADA <i>DIMPLES</i>	18
2.6.1 Dimples	18
2.6.2 Sifat Aerodinamis pada Dimples	18
2.7 <i>SHRINKING BRIQUETTE</i>	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.2 PROSEDUR PENELITIAN	23
3.3 DIAGRAM PENELITIAN	26
3.4 TAHAP – TAHAP PENELITIAN	27
3.4.1 Tahap Preparasi Peralatan	27
3.4.2 Preparasi Briket Promotor	28
3.4.3 Pengujian Waktu Penyalaan Briket dengan Variasi Luas Dimples	29
3.5 ANALISA PROSEDUR PENELITIAN	30
3.5.1 Preparasi Briket Promotor dan Briket Pemasakan Lapisan Atas	30
3.5.2 Pengujian Ignition time Briket	31
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 PENGUJIAN IGNITION TIME	35
4.1.1 Pengaruh Luas Dimples dengan Briket Pemasakan Bentuk Bola dengan 40% dimples	35
4.1.2 Pengaruh Luas Dimples dengan Briket Pemasakan Super Bukit Asam Bentuk Bantal	36
4.1.3 Pengaruh Luas Dimples dengan Briket Promotor 100% Loading 20% dimples dengan Briket Pemasakan bentuk Bola dengan dimples	39
4.1.4 Pengaruh Loading Briket Promotor dalam Kompor	41
4.2 PENGUJIAN KECEPATAN PEMBAKARAN BRIKET BATUBARA	43
BAB V KESIMPULAN	46
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Proporsi kandungan karbon, <i>moisture</i> dan <i>volatile matter</i> pada berbagai jenis batubara.	6
Gambar 2. 2 Terbentuknya awan <i>volatile matter</i> pada permukaan briket	10
Gambar 2. 3 Konduksi panas dari permukaan ke bagian dalam briket	12
Gambar 2. 4 Penambahan oksidator dalam briket	13
Gambar 2. 5 Briket bentuk telur, sarang tawon dan bantal	14
Gambar 2. 6 Profil aliran udara yang melewati briket bentuk bola dan telur	15
Gambar 2. 7 Profil aliran dan tekanan pada permukaan bola tanpa <i>dimples</i>	19
Gambar 2. 8 Profil aliran dan tekanan pada permukaan bola dengan <i>dimples</i>	20
Gambar 2. 9 Perbedaan profil aliran udara pada permukaan tanpa dan dengan <i>dimples</i>	21
Gambar 3. 1 Cetakan briket promotor	24
Gambar 3. 2 Alat penekan hidrolik	24
Gambar 3. 3 Briket promotor dengan <i>dimples</i>	25
Gambar 3. 4 Kompor briket batubara LIPI dengan <i>blower</i>	26
Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian	27
Gambar 3. 6 Posisi Termokopel dan Prosedur Pengambilan Data	32
Gambar 3.7 Metode Penelitian	32
Gambar 4. 1 Profil Aliran Udara pada Briket Bentuk Bantal dan Bola dengan <i>Dimples</i>	34
Gambar 4. 2 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket masakan 40% <i>dimples</i>	36
Gambar 4. 3 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket masakan Bukit Asam	38

Gambar 4. 4 Pengaruh kekasaran permukaan pada <i>drag coefficient</i> dari bola dengan <i>dimples</i> terhadap bilangan Reynolds saat laminar boundary layer menjadi turbulen [23]	39
Gambar 4. 5 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket promotor 20% <i>dimples</i>	40
Gambar 4. 6 Profil Temperatur dan Waktu Nyala terhadap <i>Loading</i> Briket Promotor dengan Briket Pemasakan 100% <i>loading</i> 40% <i>dimples</i>	41
Gambar 4. 7 Profil Waktu dan Suhu nyala pada Briket Promotor 100% <i>loading</i> 20% <i>dimples</i> dengan briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i>	45
Gambar 4. 8 Profil dt/t vs t untuk briket promotor 100% <i>loading</i> 20% <i>loading</i> dengan briket pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i>	45



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Analisa Proses Koalifikasi	6
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian <i>Ignition time</i> Briket Pemasakan 40% <i>dimples</i> dengan Penggunaan Briket Promotor Bola dengan <i>dimples</i> dan Oksidator	36
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian <i>Ignition time</i> Briket Pemasakan Bantal dengan Penggunaan Briket Promotor Bola dengan <i>dimples</i>	38
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian <i>Ignition time</i> Briket Promotor 20% <i>dimples</i> dengan Penggunaan Briket Pemasakan bentuk bola dengan <i>dimples</i>	41
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian <i>Ignition time</i> pada Variasi <i>Loading</i>	42
Tabel 4. 5 Data Variasi <i>Loading</i> Briket Promotor	43
Tabel 4. 6 Persamaan garis dt / t	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini batubara digunakan sebagai salah satu energi alternatif utama dengan alasan krisis energi dunia, menyusul cadangan minyak bumi yang semakin menipis dan meningkatnya harga minyak bumi dunia saat ini. Batubara juga memiliki potensi yang paling mungkin untuk dikembangkan, mengingat ketersediaannya yang melimpah dan potensinya yang besar.

Penduduk Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Data Juli 2008 menunjukkan penduduk Indonesia saat ini sebesar 237,512,355 jiwa dengan peningkatan $\pm 3.01\%$ [1]. Penduduk yang semakin padat membuat pemerintah giat melakukan eksplorasi energi alternatif, salah satunya adalah batubara. Saat ini, batubara memiliki cadangan sekitar 38.768 MT atau sebesar 85,468.81 lb [2], dengan rincian 59% berupa lignite, 27% sub – bituminous, dan 14% bituminous. Jumlah cadangan yang besar ini mendukung potensi sumber daya batubara sebagai sumber daya energi.

Selain itu, harga batubara yang kompetitif dibandingkan dengan sumber energi lainnya dan memiliki teknologi yang paling mungkin dikembangkan secara massal dalam waktu singkat, mengingat peralatan yang digunakan relatif sederhana. Batubara memiliki konversi bentuk dan penggunaan yang beragam, salah satunya adalah briket batubara, yang merupakan salah satu bentuk komersialisasi pengemasan batubara.

Indonesia memulai penggunaan briket batubara sejak tahun 1993. Saat itu minyak tanah memiliki harga yang rendah akibat subsidi pemerintah, sehingga briket batubara kurang mendapat perhatian masyarakat. Saat ini, briket batubara kembali muncul dengan adanya harganya minyak tanah yang semakin tinggi.

Briket batubara umumnya digunakan pada industri kecil dan menengah, seperti industri pencelupan batik, peternakan ayam, batubata, dan pengeringan kayu. Namun briket batubara memiliki kendala, yaitu pada penyalaan awal yang memakan waktu sebesar 5 – 10 menit, dan diperlukan sedikit penyiraman minyak tanah sebagai

penyalaan awal, dan briket batubara hanya efisien jika digunakan diatas 2 jam [3]. Setelah menyala, api sulit diatur dan emisi yang tinggi dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia.

Permasalahan penyalaan briket batubara selama ini adalah sulitnya penetrasi oksigen ke dalam partikel batubara saat penyalaan awal. Penetrasi oksigen eksternal ke dalam briket terhambat oleh adanya *laminar boundary layer* yang terbentuk di permukaan briket dan awan volatil yang terlepas dari dalam briket akibat proses devolatilisasi [4].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gibson dan Cleary, dinyatakan bahwa penyalaan briket batubara dapat dipersingkat hingga 3 menit bila dicampurkan oksidator seperti $KClO_3$, KNO_3 , atau $KMnO_4$ ke dalam briket pada saat proses pencetakan briket batubara [5].

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan briket promotor dengan bentuk bola dengan dimples 12.5% menghasilkan ignition time lebih cepat dari briket promotor bentuk bola, yaitu $t_{\text{ignition bola dengan dimples}} = 11$ menit dan $t_{\text{ignition bola}} = 18$ menit [8]. Perubahan kecepatan superfisial udara dan tinggi chimney juga berpengaruh terhadap perubahan ignition time briket promotor. Kecepatan udara superfisial sebesar 1 m/s dan tinggi chimney sebesar 5 cm menghasilkan ignition time sebesar 17,92 menit [9].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dengan penambahan etil asetat ($CH_3COOC_2H_5$) 15 % yang memiliki kandungan oksigen sebesar 36.4 %, diperoleh peningkatan kualitas waktu penyalaan dari briket [7]. sehingga dengan dilakukannya optimasi tersebut diharapkan akan diperoleh waktu penyalaan kompor briket batubara yang lebih singkat daripada kompor briket batubara yang sudah ada sebelumnya di pasaran.

Berdasarkan informasi di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi luas area dimples pada briket promotor dan briket pemasakan lapisan atas serta pengaruh loading pada briket promotor dalam kompor dari segi penyalaan. Selain itu, akan ditambahkan oksidator dalam briket promotor.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah mengetahui waktu penyalaan briket batubara , promotor maupun pemasakan, dalam memenuhi fungsinya sebagai bahan bakar alternatif dalam proses pemasakan dan pembakaran. Berdasarkan penelitian sebelumnya [8], penggunaan briket promotor dengan bentuk bola dengan *dimples* dapat menurunkan *ignition time*. Lapisan atas briket pemasakan yang sebelumnya berupa briket pemasakan dengan bentuk bantal diganti dengan briket bentuk bola dengan *dimples* tanpa oksidator, sehingga diharapkan dapat menurunkan *ignition time* lebih jauh.

Briket promotor yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah briket bentuk bola dengan *dimples*, dan briket pemasakan lapisan atas yang digunakan dalam penelitian ini adalah briket bentuk bola dengan *dimples* dan bentuk bantal pada lapisan bawah. *Loading* dari briket promotor juga akan divariasikan, untuk menekan biaya produksi, sebab diharapkan penggunaan oksidator etil asetat dalam briket promotor sekecil mungkin.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penyalaan yang singkat sehingga dapat diaplikasikan dalam pembakaran.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi luas *dimples* dan *loading* pada briket promotor serta pengaruh rasio briket batubara dengan dan tanpa *dimples*, terhadap waktu penyalaan kompor briket batubara.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Briket yang digunakan dalam penelitian ini sejumlah 1 kg, dengan 300 gram briket promotor dan 600 gram briket pemasakan.
- b. Kecepatan superfisial udara yang digunakan adalah 1 m/s dan tinggi chimney sebesar 5 cm.
- c. Optimasi dilakukan dengan cara variasi luas *dimples* pada briket promotor sebesar 20%, 40%, dan 60%, *loading* pada briket promotor sebesar 25%, 50%, dan 100% , serta penggunaan briket bentuk bola dengan *dimples* dan bentuk bantal pada briket pemasakan pada lapisan atas.

- d. Optimasi briket pemasakan dilakukan dengan cara variasi luas dimples 20%, 40%, dan 60%. Briket yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah briket batubara Bukit Asam bentuk bola dengan *dimples* dan bentuk bantal.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah yang ditinjau, tujuan dari penulisan, batasan-batasan dari masalah yang ada, serta sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi informasi dan tinjauan lebih lanjut tentang segala sesuatu yang berhubungan dengan penelitian ini dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini, seperti briket batubara, penyalan briket batubara, briket batubara, dan turbulensi pada dimples.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menginformasikan metode yang akan digunakan dalam penelitian dan tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan dari awal hingga akhir dan memuat bahan/alat yang digunakan serta prosedur penelitian.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan prosedur yang tertera di bab 3. Dalam bab ini juga terdapat analisis dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah diperoleh.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi rangkuman keseluruhan dari inti penelitian yang dilakukan yang mengacu pada hasil yang telah diperoleh. Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BATUBARA

2.1.1 PROSES PEMBENTUKAN BATUBARA

Batubara terbentuk dari proses koalifikasi yang memakan waktu jutaan tahun. Batubara merupakan materi karbon berpori dan mengandung sejumlah air. Tingkatan dimana batubara sudah mencapai proses koalifikasi ini akan ditentukan dari *grade* yang dimiliki, dan batubara dapat diklasifikasikan menurut *grade* nya, atau dibagi berdasarkan material organik yang dikandung, atau kandungan pengotor seperti mineral pembentuk abu yang terkandung di dalamnya.

2.1.1.1 Sumber Batubara

Batubara berasal dari batu sedimen organik yang mengandung karbon, hidrogen, oksigen, dan kandungan minor dari nitrogen dan sulfur. Proporsi materi anorganik selalu ditemukan dalam bentuk campuran dan bukan kombinasi kimia dengan materi organik. Walaupun secara normal batubara berbentuk padat, dapat juga ditemukan batubara dalam bentuk potongan tipis dan transparan.

2.1.1.2 Proses Koalifikasi

Faktor penting dalam proses pembentukan batubara adalah akumulasi dan penguraian parsial dari material kayu dalam jumlah besar untuk memproduksi *peat*. *Peat* adalah bentuk awal dari batubara. Bentuk ini terjadi pada rawa dan daerah dimana kondisi iklim mendukung tanaman untuk tumbuh lebih cepat. Laju penguraian di daerah rawa harus sama dengan laju bertumbuhnya tanaman, sehingga akumulasi dapat terjadi.

Tahap pertama dari proses koalifikasi adalah vegetasi akan terurai dengan bantuan agen mikroorganisme (bakteri dan jamur) pada keadaan stagnan, atau bergerak lambat. Ini akan menghasilkan *peat*. Adanya air dalam vegetasi yang akan terurai dapat memperlambat proses penguraian, karena air mencegah akses oksigen untuk masuk ke dalam organisme pengurai.

Hasil dari *peat* yang telah terurai terdiri dari tiga materi, yaitu selulosa, lignin, dan protein nabati. Tiga materi ini akan terurai masing – masing menjadi asam amino, CO₂ dan H₂O yang membentuk produk oksiselulosa, dan materi lignin yang

terhidrolisasi. Dengan bantuan bakteri pengurai, produk ini akan membentuk agregat koloidal di dalam rawa, dimana larutan koloidal ini akan menguraikan bagian kayu yang telah mengalami penguraian lebih lanjut. Fenomena ini membantu mempertahankan struktur biologis dari fragmen yang ada selama proses koalifikasi.

Setiap tipe memiliki kandungan organik tersendiri, hal ini dapat dilihat pada **Tabel 2. 1.** Selama proses koalifikasi, kandungan kimiawi dari deposit organik akan berubah.

Tabel 2. 1. Analisa proses koalifikasi

MATERIAL	Wood	Peat	Lignite	Subbit. Coal	Bit. Semibit. Coal	Anthracite
Moisture (Material As Found)	30 – 60	90+	20 – 40	10 – 20	13 – 1	2 – 3.5
Moisture (Air – Dried Material)	10 - 15	20 – 25	15 – 25	10 - 20	13 - 1	2 – 3.5
Dry, Ash – Free Material :						
Carbon	50	55 – 65	65 – 73	73 – 78	78 – 92	92 – 96
Hydrogen	6	5.5	4.5	6	5.3	2.5
Oxygen	43	32	21	16	8	4

Sumber : Williams,A. et al.2000

2.1.2 KARAKTERISASI BATUBARA

Batubara sangat heterogen di alam. Untuk aplikasi komersial, penting untuk mengetahui komposisi kimia, dan nilai kalori. Secara umum, tes laboratorium dilakukan untuk mengkarakterisasi batubara dan untuk menentukan propertinya menggunakan analisis *proximate*. Analisis ini digunakan pula untuk menentukan tipe dan kualitas batubara.

2.1.2.1 Analisa Kelembapan

Kelembapan dalam batubara cenderung mengurangi panas pembakaran. Secara umum, kandungan kelembapan akan berkurang dengan naiknya *grade*, mencapai nilai minimum pada batubara bituminous dan meningkat pada anthracite, seperti yang terlihat pada tabel 2.1. Kelembapan dari sampel udara yang dikeringkan (air – dried sample) dapat ditentukan dengan memanaskan 1 – 2 gr sampel analisis pada suhu 105°C dalam atmosfer inert (bebas N₂ – O₂), pada berat tetap M^o% [10]. Berat yang hilang diketahui sebagai kandungan kelembapan. Analisa kelembapan dapat diketahui dengan menentukan free moisture dan bound moisture yang terdapat dalam batubara.

2.1.2.2 Analisa Abu

Abu ditentukan dengan memanaskan sejumlah sampel pada 825±25°C di dalam tungku hingga seluruh materi organik terbakar (ASTM D3174, BS1016 Part 104). Tungku yang digunakan harus bebas tapi sedikit mengalirkan udara untuk memastikan terjadi kondisi oksidasi. Residu dari materi anorganik yang ditimbang sebagai abu.

Abu didapatkan dari mineral yang terdapat pada batubara, namun tidak terdapat dalam bentuk batubara yang ditimbang dalam eksperimen. Mineral yang terkandung dalam batubara antara lain aluminium silika hidrat, pirit, kalsium, magnesium karbonat, alkali klorida, dan banyak senyawa anorganik lainnya. Saat pembakaran batubara, materi mineral akan terdekomposisi dengan terbentuknya oksida yang terdehidrasi dan sejumlah kecil senyawa sulfat. Senyawa sulfat terbentuk dari fiksasi SO₃ yang terbentuk dari oksidasi batubara. Proporsi materi mineral dalam batubara *bituminous* dapat dihitung dari kandungan abu yang ada (materi mineral = 1.15 x abu yang terbentuk).

Kelembapan dan abu yang terbentuk adalah materi yang tidak dapat terbakar (incombustible materials) dan tidak berguna bagi konsumen, karena termasuk bahan inert dalam bahan bakar. Semakin tinggi nilai batubara, semakin rendah kandungan materi inert didalamnya.

2.1.2.3 Analisa Kandungan Volatil

Kandungan volatil dalam batubara adalah campuran dari uap dan gas yang keluar saat proses pirolisis dari batubara. Kandungan volatil mengandung CO₂, CO, H₂O, dan spesi hidrokarbon lainnya, termasuk tar yang terbentuk saat proses

dekomposisi batubara pada struktur makromolekul. Kandungan volatil akan berkurang seiring dengan naiknya *grade* batubara, walaupun terkadang jumlah kandungan volatil bergantung pada kondisi eksperimen.

Kandungan volatil ditentukan dengan memanaskan batubara pada tungku selama 7 menit pada suhu $950^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ bebas O_2 (ASTM D3175,BS1016 Part 104). Berat yang hilang akan sama dengan kandungan volatil yang terbentuk saat proses dekomposisi batubara dan kelembapan yang ada saat tes kelembapan.

2.1.2.4 Analisa Karbon Tetap

Pada analisa tahap ini, jumlah yang terlihat menunjukkan persentase dari berat kelembapan, kandungan volatil, dan abu, yang akan ditambahkan dengan residu karbon padatan, yang disebut sebagai karbon tetap (ASTM D3172). Karbon tetap dihitung dengan [10] :

$$100 - (\% \text{ kelembapan} + \% \text{ materi volatil} + \% \text{ abu})$$

2.2 BRIKET BATUBARA

Briket batubara adalah bahan bakar padat serbaguna dari batubara dengan kemasan dan komposisi yang lebih baik, dengan bentuk dan ukuran tertentu, terdiri dari partikel-partikel batubara halus atau kokas, yang dimampatkan dengan daya tertentu dengan bahan pengikat atau tanpa bahan pengikat (*binder*), sehingga bahan bakar tersebut lebih mudah ditangani dan dimanfaatkan dibandingkan dengan menggunakan batubara secara langsung. Briket yang dibuat dari batubara jenis coklat dan lignit pada umumnya tidak memerlukan bahan pengikat (seperti tar, aspal, bitumen dan kanji) sedangkan untuk jenis bituminous dan antrasit pada umumnya dibutuhkan bahan pengikat antara 3 %-12% dari massa totalnya [11]. Bahan imbuhan juga harus dipilih dari kualitas yang baik agar dapat berfungsi optimal sebagai perekat, mempercepat nyala, serta menyerap emisi dan zat-zat berbahaya lainnya. Batubara dan bahan imbuhan (pencampur) ini dihaluskan secara terpisah sampai diperoleh ukuran tertentu, selanjutnya dicampurkan dengan memakai pencampur (*mixer*) mekanis, untuk kemudian dicetak ke dalam bentuk kemasan tertentu.

Batubara dengan kadar karbon dan materi volatil yang rendah akan menghasilkan emisi yang rendah pula. Sementara bahan imbuhan yang digunakan biasanya berupa kapur (*lime*) yang dapat mengikat senyawa beracun, biomasa untuk

mempercepat dan memudahkan proses pembakaran dan menyerap emisi, serta lempung, kanji atau tetes tebu (*molase*) sebagai zat perekat.

Ada tiga jenis briket batubara yang berbeda-beda komposisinya, yaitu :

1. Briket batubara biasa, campuran berupa batubara mentah dan zat perekat (biasanya lempung). Sangat sederhana dan biasanya berkualitas rendah.
2. Briket batubara terkarbonisasi, batubara yang digunakan di karbonisasi (di pirolisis) terlebih dulu dengan cara membakarnya pada temperatur tertentu sehingga sebagian besar zat pengotor, terutama zat terbang (*volatile matters*) hilang. Dengan bahan perekat yang baik, briket batubara yang dihasilkan akan menjadi sangat baik dan rendah emisinya.
3. Briket bio-batubara, atau dikenal dengan bio-briket, selain kapur dan zat perekat, ke dalam campuran ditambahkan bio-masa sebagai substansi untuk mengurangi emisi dan mempercepat pembakaran. Bio-masa yang biasanya digunakan berasal dari ampas industri agro (seperti bagas tebu, ampas kelapa sawit, sekam padi, dan lain-lain) atau serbuk gergaji.

Bentuk dan ukuran briket batubara hasil cetakan (kemasan) dibuat sesuai untuk keperluan sektor pengguna. Saat ini telah dikembangkan beberapa bentuk briket batubara, yaitu tipe bantal dan telur yang padat dan kompak dengan ukuran 30 s/d 60 mm, serta tipe sarang tawon yang memiliki rongga dengan ukuran lebih besar (mencapai 15 cm). Bentuk-bentuk tersebut dibuat untuk memudahkan pemakaian dan memperoleh efisiensi pembakaran yang baik. Tipe bantal berukuran kecil cocok digunakan untuk rumah tangga (memasak), dan yang berukuran lebih besar baik untuk industri.

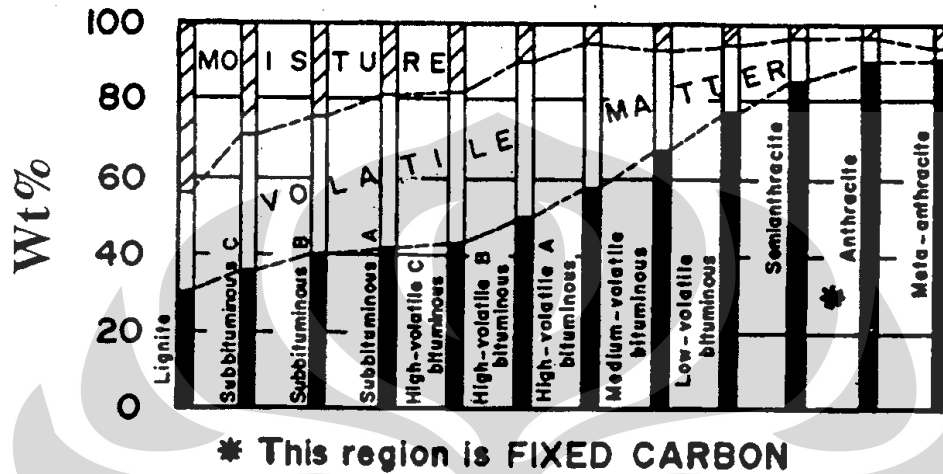
Jenis batubara Indonesia rata-rata merupakan batubara *lignite* dan *sub-bituminous* yang kadar zat terbang (*volatile matter*) dan kadar airnya (*mixture content*) cukup tinggi [11].

Secara garis besar batubara terdiri dari komponen-komponen berikut:

- Batubara murni (*pure coal*), yaitu zat-zat organik yang merupakan jaringan karbon dan hidrogen (hidrokarbon) serta sejumlah kecil nitrogen, sulfur dan oksigen yang terikat secara organik.
- Bahan-bahan mineral (*mineral matter*), yang terdiri dari zat-zat anorganik yang akan menjadi abu bila batubara dibakar seperti lempung, batu pasir dan zat-zat lain seperti sulfur oksida serta karbondioksida.

- Air (*moisture*), yang terdiri dari air yang terdapat di dalam batubara (*inherent moisture*) serta air yang terdapat pada permukaannya (*free moisture*) [11].

Tergantung dari jenis batubaranya, proporsi antara ketiga komponen tersebut berbeda-beda. Gambar 2.1 menunjukkan proporsi yang umumnya ditemukan di kebanyakan batubara tanpa memperhitungkan kandungan abu [12].



Gambar 2. 1 Proporsi kandungan karbon, *moisture* dan *volatile matter* pada berbagai jenis batubara.

Pirolisis merupakan salah satu metode pembentukan briket batubara yang bertujuan untuk menghilangkan *volatile matter* agar diperoleh batubara yang ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan gas-gas beracun yang dapat mencemari lingkungan bila digunakan dalam pembakaran, dan air sehingga dihasilkan briket batubara yang tidak berasap dan memiliki kandungan air yang rendah.

Proses pirolisis pada batubara biasanya dilakukan pada temperatur sekitar 500°C-900°C pada keadaan vakum. Proses tersebut menghasilkan briket batubara yang telah berubah sifat fisika dan kimianya [13]. Temperatur pirolisis juga mempengaruhi kandungan sulfur dalam briket dan nilai kalor *char* hasil pirolisis [14]. Briket pirolisis yang rendah emisi bergantung pada jenis *binder* (pengikat) dan batubara yang dipilih untuk proses pirolisis [15]. *Binder* digunakan untuk mengikat partikel-partikel batubara yang tergerus hingga 20 mesh. Beberapa jenis *binder* yang telah digunakan dalam proses pirolisis batubara adalah bagas, H₃PO₄, *asphaltite*, *starch*, *humic acids*, bitumen, lignin, dan cairan sulfit dari bubur kayu. Akan tetapi penentuan kondisi optimum pirolisis tidak hanya ditentukan oleh kandungan *volatile matter* yang sangat rendah, tetapi juga memperhitungkan nilai kalor, sifat fisik dan

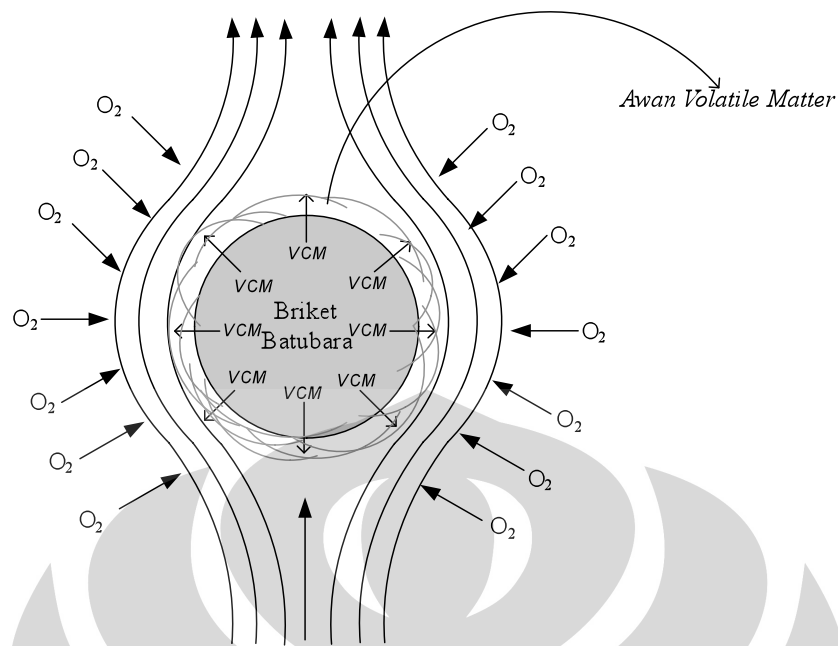
kimia dari briket batubara hasil pirolisis tersebut, seperti faktor kompresibilitas dan kedap airnya. Faktor kompresibilitas sangat diperhatikan karena setelah briket dipirolisis, selanjutnya briket dicetak pada kondisi tekanan tinggi sesuai bentuk yang diinginkan. Jika faktor kompresibilitas terlalu kecil maka briket tidak dapat dibentuk karena mudah rapuh. Semakin tinggi temperatur pirolisis maka akan semakin tinggi pula mikroporositas dari briket pirolisis [13] karena semakin banyak celah kecil yang terbentuk sebagai akibat dari hilangnya *volatile matter*. Mikroporositas yang semakin tinggi akan membuat faktor kompresibilitas briket semakin kecil.

2.3 PENYALAHAN BRIKET BATUBARA

Metode penyalaan konvensional yang saat ini masih digunakan untuk menyalakan briket batubara yaitu dengan cara menyiramkan minyak tanah ke atas briket lalu menyulut briket tersebut dengan api. Penyalaan dengan menggunakan minyak tanah dilakukan untuk menaikkan temperatur briket hingga temperatur nyala. Temperatur penyalaan (T_{ig}) didefinisikan sebagai temperatur terendah yang harus dicapai batubara untuk pembakaran. Sedangkan waktu penyalaan (W_{ig}) adalah waktu mulai batubara masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan [11]. Terjadinya penyalaan dapat dilihat sebagai tercapainya temperatur minimum untuk penyalaan, terbentuknya api, berlanjutnya reaksi pembakaran antara batubara dengan oksigen, kenaikan temperatur yang sangat cepat, atau laju panas yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang.

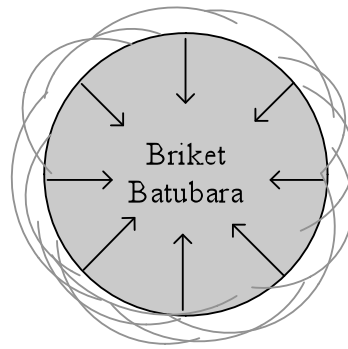
Penyalaan batubara diawali dengan proses pemanasan yang bertujuan menguapkan kandungan air. Pada saat pertama briket batubara dipanaskan, akan keluar moisture dari dalam briket batubara, sehingga uap air keluar dari pori briket.

Setelah uap air mengalir keluar dari pori-pori briket, proses selanjutnya adalah proses devolatilisasi yang melepaskan zat-zat *volatile* melalui pori-pori ke permukaan briket batubara menghasilkan gas-gas terbakar seperti H_2 , CO, HC, dan HCO. Sayangnya zat volatil yang lepas ini menghalangi penetrasi oksigen eksternal. Difusi oksigen ke dalam briket terhambat oleh adanya *volatile matter jet* yang membentuk awan *volatile matter* pada permukaan briket, *volatile matter jet* adalah proses keluarnya (pancaran) zat-zat *volatile* melalui pori-pori briket dengan kecepatan tertentu. Seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2. 2**.



Gambar 2. 2 Terbentuknya awan *volatile matter* pada permukaan briket

Proses selanjutnya adalah proses pencampuran gas-gas yang terbentuk dari hasil pemanasan dan devolatilisasi dengan oksigen internal bertemperatur tinggi yang terjadi di permukaan batubara untuk melakukan proses pembakaran *volatile* yang menghasilkan panas untuk menaikkan temperatur batubara. Difusi oksigen eksternal yang berpenetrasi setelah zat volatil terbakar mengawali proses penyalan ini, kemudian oksigen teradsorpsi dan bereaksi pada permukaan partikel. Selanjutnya terjadi proses transfer panas secara konduksi dari permukaan briket ke bagian dalam briket. Pada umumnya penyalan *volatile* akan terjadi lebih dahulu, mengingat temperatur penyalannya lebih rendah daripada temperatur penyalan karbon, penyalan karbon akan cepat terjadi bila adanya pemanasan radiasi yang cukup tinggi ke permukaan bahan bakar padat. Reaksi pembakaran yang terjadi antara oksigen dengan karbon ini adalah awal proses penyalan batubara yang didefinisikan sebagai terbakarnya carbon 1 %. Proses yang terjadi selanjutnya menjadi proses pembakaran batubara [13].



Gambar 2. 3 Konduksi panas dari permukaan ke bagian dalam briket

2.4 FAKTOR PENENTU WAKTU PENYALAN BRIKET

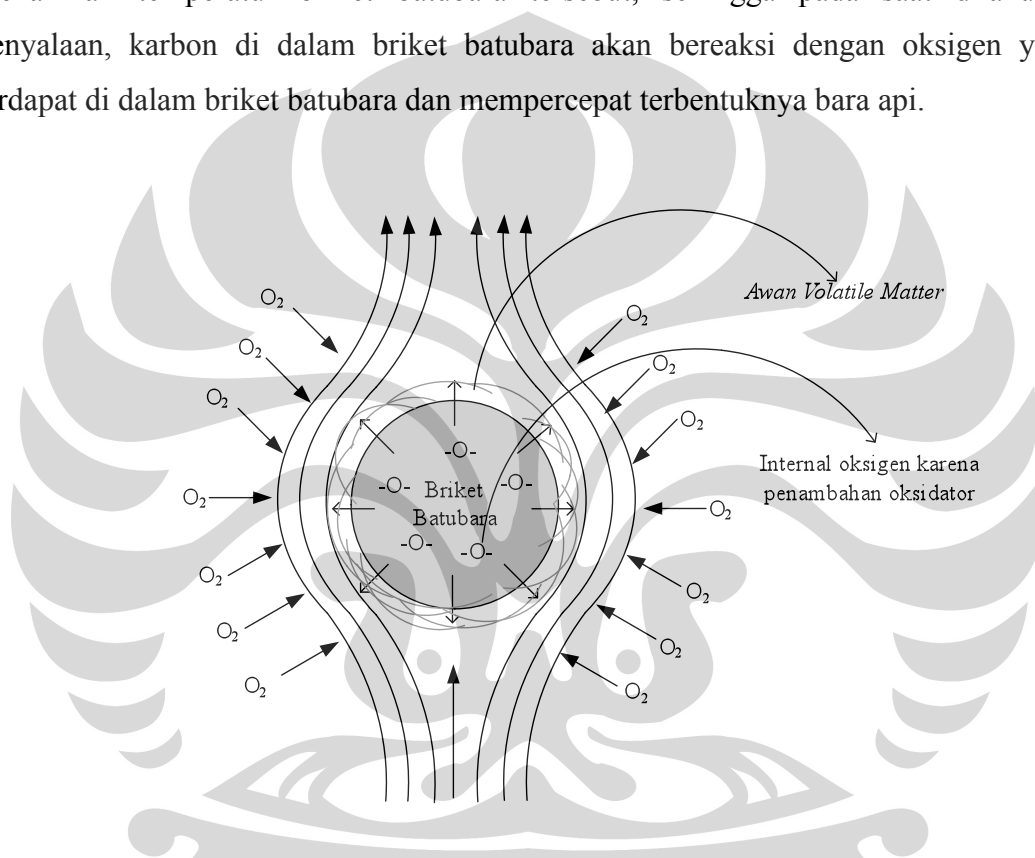
Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penyalaan dari briket batubara, antara lain penambahan oksidator sebagai *oxygenate agent* yang dapat menyediakan oksigen untuk reaksi pembakaran, bentuk (*shape*) dari batubara itu sendiri, *loading* briket batubara dalam kompor, dan turbulensi dari udara/gas reaktan yang melaluinya.

2.4.1 Pengaruh Penambahan Oksidator Dalam Briket Batubara

Penambahan oksidator dapat mempersingkat waktu penyalaan briket batubara menjadi tiga menit sesuai hasil penelitian yang dilakukan oleh Gibson dan Cleary. Pengaruh utama penambahan oksidator dalam briket batubara adalah sebagai penyuplai oksigen yang dilakukan oleh oksidator ke dalam briket batubara, yang kemudian akan memicu reaksi antara oksigen tersebut dengan karbon dalam briket. Permasalahan penyalaan briket selama ini adalah kurangnya pasokan oksigen untuk proses pembakaran awal briket batubara. Penetrasi oksigen eksternal ke dalam briket terhambat oleh adanya *moisture* dan *volatile matter jet* yang membentuk awan *volatile matter* pada permukaan briket karena pemanasan dan proses devolatilisasi [4].

Kesulitan penyalaan awal pada briket batubara dengan *natural draft* bila dibandingkan dengan penyalaan pada partikel briket batubara yang memiliki ukuran lebih kecil adalah karena adanya *moisture* dan *volatile matter jet* yang membentuk awan *volatile matter* pada permukaan briket batubara yang menyebabkan O_2 dari udara tidak dapat berdifusi ke dalam briket batubara untuk bisa bereaksi dengan karbon yang ada dalam briket. Untuk partikel batubara aliran udara yang melewati

permukaannya akan sedikit turbulen dengan nilai bilangan Reynolds yang lebih besar dari pada briket batubara sehingga dengan kecepatan aliran udara yang sama, untuk partikel briket batubara akan lebih cepat menyala, sedangkan pada briket batubara disamping aliran yang melewatinya laminar dengan bilangan Reynolds lebih rendah, distribusi panas yang terjadi juga lebih besar karena luasnya massa briket. Karena kendala tersebut maka ditambahkan oksidator kedalam briket batubara. Hasil reaksi oksidasi antara briket dengan oksidator akan disimpan dalam briket batubara untuk menaikkan temperatur briket batubara tersebut, sehingga pada saat dilakukan penyalaan, karbon di dalam briket batubara akan bereaksi dengan oksigen yang terdapat di dalam briket batubara dan mempercepat terbentuknya bara api.



Gambar 2. 4 Penambahan oksidator dalam briket

Secara umum mekanisme proses oksidasi batubara terdiri dari empat tahap yaitu, transpor oksigen ke permukaan batubara, difusi oksigen melalui pori-pori batubara, interaksi kimia antara oksigen dan batubara, dan pelepasan kalor serta emisi gas produk. Parameter yang diamati untuk mendeskripsikan proses oksidasi batubara antara lain adalah perubahan massa batubara, kalor yang terbuang, konsumsi oksigen, dan konsentrasi produk akhir hasil oksidasi baik yang berfasa gas maupun padatan [16].

Dalam penelitian ini oksidator yang digunakan adalah etil asetat 15%. Etil asetat merupakan salah satu substansi yang dapat menyuplai oksigen dalam proses

pembakaran, sehingga akan mempercepat proses penyalaan dan pembakaran briket pemasakan. Persen berat oksigen dalam oksidator adalah 36.4 %. Kontak molekul oksigen hasil dekomposisi etil asetat dengan titik-titik aktif di dalam pori-pori briket batubara lebih besar dibanding dengan kontak O₂ dari udara dengan titik-titik aktif di mulut pori-pori di permukaan briket karena:

1. Konsentrasi O₂ yang rendah (21% di udara).
2. Adanya *volatile matter jet* sehingga membentuk awan *volatile matter* pada permukaan briket batubara.

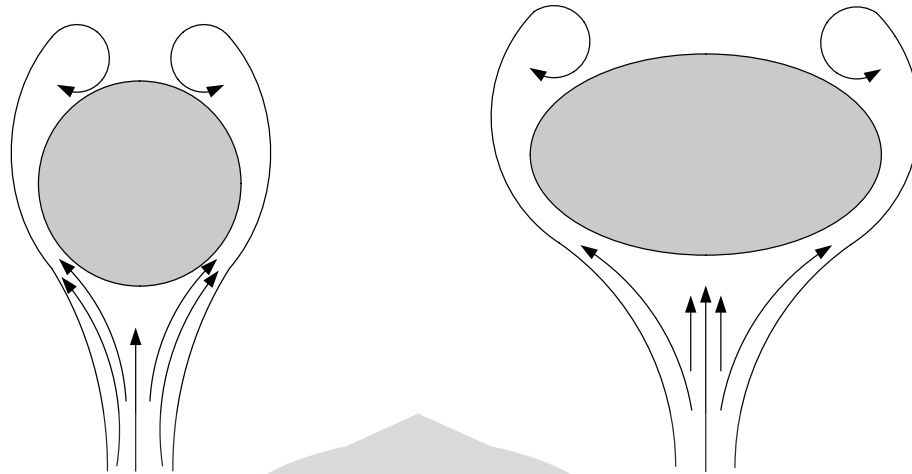
2.4.2 Pengaruh Bentuk Briket Batubara Terhadap Waktu Penyalaan

Salah satu parameter yang penting dalam proses pembuatan dan pembakaran briket batubara adalah bentuk dari briket batubara itu sendiri, yang akan berpengaruh pada turbulensi nyala api yang terbentuk. Dengan bentuk briket yang berperan sebagai *bluff body*, maka nyala api yang dihasilkan akan turbulen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Esquiva-Dano, Nguyen, dan Escudie. Bentuk dari briket batubara ternyata dapat mempengaruhi stabilitas nyala api yang dihasilkan.

Berkaitan dengan kinetika reaksi antara briket dan oksigen, baik dalam tahap penyalaan maupun pembakaran, adanya perbedaan aliran udara dan turbulensinya akan mempengaruhi transfer panas dari nyala api ke briket pemasakan. Turbulensi dalam aliran resirkulasi dapat berbeda-beda untuk masing-masing bentuk dari briket batubara, misal pada briket berbentuk bola, bantal *honeycomb*, maupun telur sudah tentu akan memiliki karakteristik aliran udara dan turbulensi yang berbeda-beda pula.



Gambar 2. 5 Briket bentuk telur, sarang tawon dan bantal



Gambar 2. 6 Profil aliran udara yang melewati briket bentuk bola dan telur

Pada briket berbentuk bola, aliran udara yang bertabrakan dengan permukaan briket tidak banyak bertahan di permukaan briket yang ditabraknya, melainkan mengalir mengikuti bentuk bola tersebut dan membentuk resirkulasi di bagian *bluff body*-nya. Sedangkan pada briket bentuk telur, terdapat permukaan datar yang lebih banyak menghambat udara yang menabraknya, sehingga aliran udara lebih banyak tertahan pada permukaan lapisan dasar [5].

2.4.3 Pengaruh *Loading* Briket Batubara Terhadap Waktu Penyalaan

Karakteristik pembakaran briket batubara dipengaruhi oleh *loading* briket batubara yang dibakar dalam kompor. *Loading* (%) dapat didefinisikan sebagai jumlah luas daerah penempatan penempatan briket batubara pada permukaan unggun kompor. Semakin banyak *loading* briket batubara promotor dalam kompor maka waktu penyalaan dari briket pemasakan akan semakin cepat, hal tersebut disebabkan luas transfer panas dari briket promotor ke briket pemasakan semakin besar pula. Tetapi dalam hal ini biaya pembuatan briket promotor dengan penambahan oksidator cukup mahal, untuk menekan biaya penggunaan briket maka dalam penelitian ini akan dilakukan variasi *loading* briket promotor dalam kompor untuk mendapatkan *loading* yang paling optimum untuk mempercepat waktu penyalaan dari briket pemasakan.

2.4.4 Pengaruh Suplai Udara Terhadap Waktu Penyalaan

Kesulitan penyalaan pada briket batubara karena adanya *volatile matter jet* dari permukaan padatan briket yang membentuk awan *volatile matter*. *Volatile matter*

terlepas dari dalam briket karena pemanasan dan proses devolatilisasi. Adanya awan *volatile matter* ini menghambat difusi oksigen dari udara sekitar ke padatan briket [2]. Salah satu cara untuk memecah awan *volatile matter* sehingga kontak antara oksigen dalam udara dengan permukaan briket dapat berlangsung adalah dengan menciptakan turbulensi pada udara pembakaran. Turbulensi dalam aliran resirkulasi diperlukan untuk transfer panas dari nyala api ke briket untuk pemasakan. Untuk menciptakan turbulensi pada udara pembakaran dapat dilakukan dengan memasang *blower* pada bagian bawah kompor yang mempunyai kemampuan untuk mengalirkan udara pada berbagai harga kecepatan (*velocity*) udara. Koefisien transfer panas akan semakin besar dengan semakin tingginya bilangan Reynolds. Turbulensi terjadi pada bilangan Reynolds yang relatif tinggi dan kondisi tersebut menguntungkan terhadap transfer panas, terutama transfer panas secara konveksi sehingga akan mempercepat proses penyalaan dan pembakaran briket pemasakan dalam kompor.

2.5 PEMBAKARAN BRIKET BATUBARA

Reaksi pembakaran merupakan suatu reaksi oksidasi dari material yang dapat terbakar dengan oksigen yang diikuti dengan timbulnya cahaya dan panas secara cepat [17]. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Secara umum reaksi pembakaran membutuhkan tiga syarat penting yakni:

1. Tersedianya suplai oksigen.
2. Adanya energi panas untuk ignisi/pengapian.
3. Adanya bahan yang dapat terbakar (*combustible material*).

Ketiga komponen ini lazim disebut sebagai segitiga api yang merupakan satu kesatuan,

Pada pembakaran briket batubara, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinetika dan kecepatan pembakarannya. Misalnya, kondisi dan waktu yang dibutuhkan oleh briket untuk mengalami penyalaan (*ignition time*) sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain turbulensi dari udara, ukuran serta bentuk (*shape*) dari briket batubara itu sendiri dan *loading* briket batubara dalam kompor.

Reaksi pembakaran pada batubara terjadi antara udara dengan *volatile combustion matter (VCM)* bila briket yang digunakan tidak mengalami pirolisis sedangkan reaksi yang terjadi pada briket yang telah mengalami pirolisis adalah

antara udara dengan karbon. Pembakaran briket hanya menggunakan udara pembakaran sebagai fluida. Substansi lainnya yang mempengaruhi pembakaran briket adalah kandungan karbon, uap air (*moisture*), abu (*ash*), dan hidrokarbon. Kandungan karbon sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran dari briket. Reaksi yang lebih dahulu terjadi pada pembakaran briket adalah antara udara dengan *volatile combustible matter (VCM)*. Reaksi yang tidak sempurna antara udara dengan karbon akan membentuk gas CO di permukaan batubara [18]. Bila terdapat cukup oksigen dan temperatur pembakaran berada di atas 1000°C maka reaksi pembakaran akan berlangsung sempurna menghasilkan CO₂.



Prinsip pembakaran dalam kompor briket harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Kontak aliran udara dengan bahan bakar dalam ruang bakar kompor harus mencakup daerah briket promotor dan pemasakan sehingga dapat membakar bahan bakar dengan pasokan udara cukup.
- b. Temperatur dalam ruang bakar harus cukup tinggi selama berlangsungnya pembakaran (Temperatur pembakaran zat terbang dimulai pada temperatur 200°C hingga temperatur 400°C, temperatur pembakaran sisa karbon dimulai pada temperatur di atas 400°C).
- c. Waktu yang tersedia cukup untuk membakar bahan bakar secara sempurna [19].

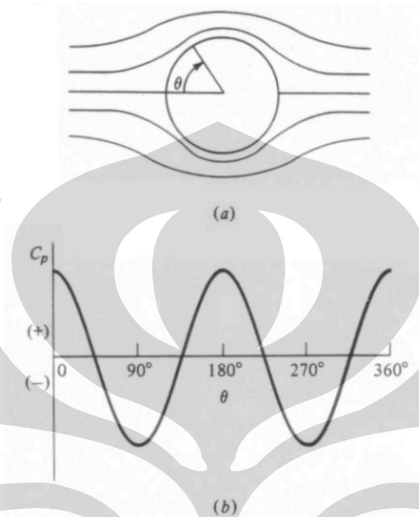
2.6 SIFAT AERODINAMIS PADA *DIMPLES*

2.6.1 *Dimples*

Dimples adalah cekukan – cekukan yang terdapat pada permukaan bola. *Dimples* yang terdapat pada suatu objek, dapat membentuk aliran turbulen. Hal ini dilakukan dengan memperbesar aliran udara yang mengelilingi bola. Aliran udara yang terjadi menyebabkan kenaikan waktu tinggal *boundary layer* udara pada bola, sehingga terjadi penurunan daerah pemisahan udara. Aliran udara yang terjadi pada *dimples* juga menyebabkan resirkulasi udara, menyebabkan waktu tinggal udara dalam kompor menjadi lebih lama.

2.6.2 Sifat Aerodinamis Pada *Dimples*

Pada permukaan mulus tanpa *dimples* (seperti bola pingpong), tidak terjadi friksi pada permukaan bola, sehingga udara mengalir seperti gambar 2.7a. θ pada gambar melambangkan posisi sepanjang permukaan bola. $\theta = 0^\circ$ melambangkan awal udara mengenai permukaan bola dimana ujung bola berada pada $\theta = 180^\circ$.



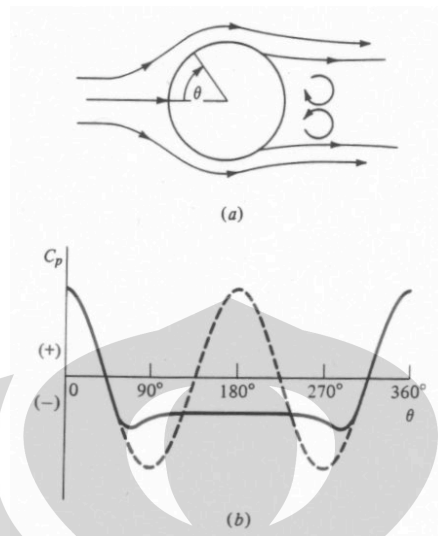
Gambar 2. 7 Profil aliran dan tekanan pada permukaan bola tanpa *dimples* (Sumber : Anonim, Aerospaceweb.org)

Gambar 2.7b menunjukkan distribusi tekanan sekitar permukaan bola (C_p). C_p positif menunjukkan tekanan tinggi sedangkan C_p menunjukkan tekanan rendah. Perbedaan antara tekanan tinggi dan tekanan rendah menyebabkan gaya aerodinamis pada *body*, seperti *lift* dan *drag*.

Pada $\theta = 0^\circ$ tekanan tinggi terjadi pada ujung bola. Tekanan tinggi menyebabkan udara masuk bertumbukan dengan ujung bola, menyebabkan gaya gesek. Namun tekanan yang terjadi pada bagian belakang bola, atau $\theta = 180^\circ$, juga tinggi, identik dengan tekanan yang terjadi pada bagian depan bola. Tekanan tinggi menyebabkan terjadinya gaya dorong, atau *drag* negatif, menyebabkan hilangnya gaya gesek yang terjadi pada ujung bola. Kesimpulan yang dapat diambil adalah tidak terjadi gaya gesek pada bola.

Alembert [21] menjelaskan bahwa laju aliran aktual yang terjadi sekitar bola, terjadi karena adanya friksi yang menyebabkan fenomena *flow separation*. Titik dimana aliran terpisah dan menjauh dari permukaan bola disebut titik separasi, dan

aliran *downstream* yang terpisah didominasi oleh aliran resirkulasi yang menyebabkan terjadinya *wake*.



Gambar 2. 8 Profil aliran dan tekanan pada permukaan bola dengan *dimples* (sumber : Anonim, Aerospaceweb.org)

Pada bola dengan *dimples*, saat aliran bergerak menuju *downstream* ($\theta = 90^\circ$ atau $\theta = 270^\circ$), terjadi kenaikan tekanan, menyebabkan perubahan gradien tekanan. Hal ini tidak diinginkan karena perubahan gradien tekanan menyebabkan aliran udara menjadi lambat dan menghilangkan momentum. Saat tekanan semakin tinggi, aliran semakin lambat dan berhenti. Pada titik ini, udara tidak mengalir menuju bola, sehingga aliran tersebut terpisah dari permukaan.

Saat aliran udara terpisah dari permukaan, tidak terjadi distribusi tekanan ideal pada gambar (garis putus – putus). Namun terjadi aliran yang terpisah pada daerah tekanan rendah. Pada titik ini, daerah tekanan tinggi terjadi pada bola bagian depan dan daerah tekanan rendah terjadi pada bola bagian belakang, menghasilkan gaya gesek pada permukaan bola.

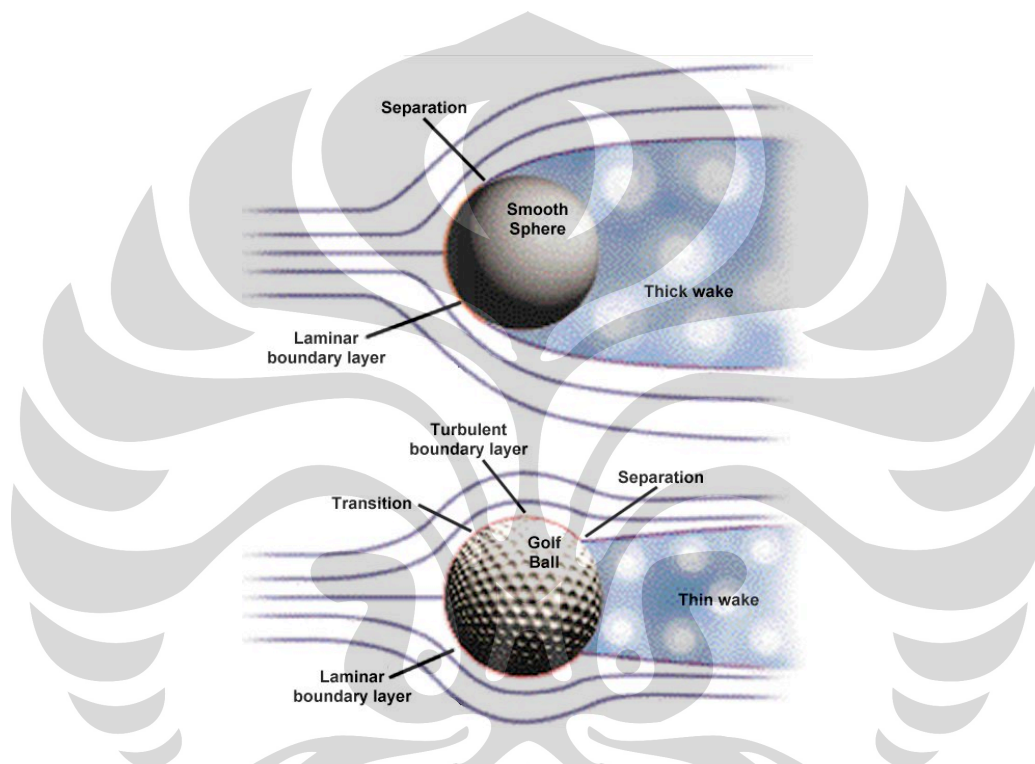
Reynold number, yang dirumuskan dengan :

$$Re = \frac{\rho V_{\infty} l}{\mu}$$

Pada nilai $Re = 3.10^5$, udara yang mengalir mengelilingi bola membentuk *boundary layer*, menyebabkan gradien tekanan. Hal ini menyebabkan aliran udara

terpisah dari permukaan. Boundary layer pada titik ini berpindah dari laminar menuju turbulen (titik transisi). Pada nilai Re rendah, *boundary layer* yang terjadi mulus (laminar). *Boundary layer* laminar diinginkan karena dapat mengurangi gaya gesek.

Boundary layer turbulen menyebabkan pencampuran udara dekat permukaan (gaya gesek lebih tinggi), namun hal ini menyebabkan kenaikan kecepatan aliran udara dan momentum, sehingga *boundary layer* yang terbentuk dapat menahan gradien tekanan yang terjadi lebih lama sebelum terpisah dari permukaan.



Gambar 2. 9 Perbedaan profil aliran udara pada permukaan tanpa dan dengan *dimples* (sumber : Anonim, Aerospaceweb.org)

Perbedaan antara aliran udara sekitar permukaan tanpa dan dengan *dimples* dapat dilihat pada gambar 2.9. Pada aliran udara pada bola tanpa *dimples*, *boundary layer* laminar terpisah secara cepat, sehingga terbentuk wake yang besar pada sekitar permukaan belakang bola. Wake besar menyebabkan kenaikan daerah tekanan rendah, sehingga perbedaan tekanan meningkat, dan gaya gesek meningkat.

Pada daerah transisi menuju *boundary layer* turbulen, terdapat energi tambahan pada aliran, sehingga aliran terpisah lebih lama dari permukaan bola. Fenomena perpindahan aliran yang terhambat, menyebabkan wake yang terbentuk,

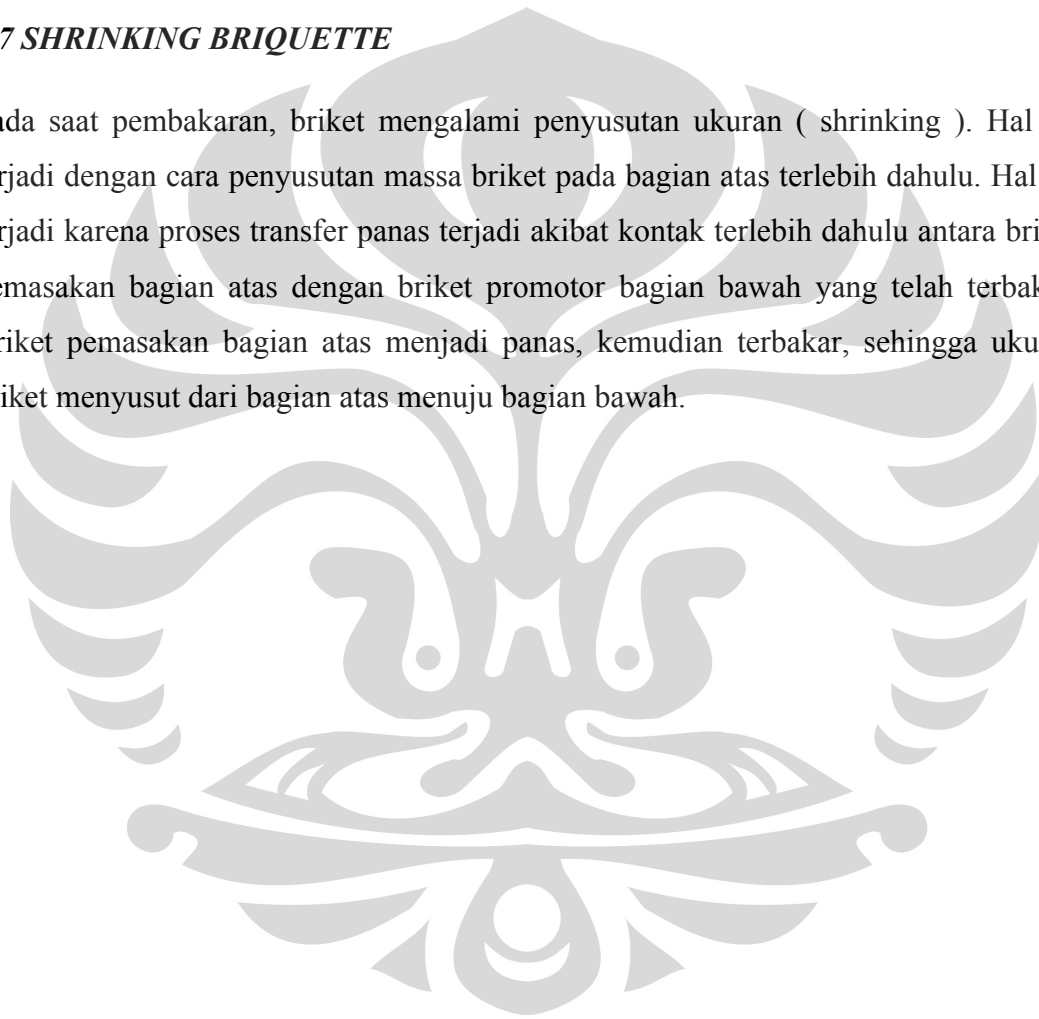
memiliki ukuran lebih kecil. Wake lebih kecil dapat menurunkan daerah bertekanan rendah, gradien tekanan berkurang, dan menghasilkan gaya gesek lebih kecil.

Hal yang dapat dilakukan untuk menurunkan gaya gesek (*drag*) pada aliran adalah :

- Meningkatkan kecepatan aliran pada bola, untuk meningkatkan bilangan Reynold (transisi)
- Membuat permukaan kasar untuk menciptakan turbulensi

2.7 SHRINKING BRIQUETTE

Pada saat pembakaran, briket mengalami penyusutan ukuran (*shrinking*). Hal ini terjadi dengan cara penyusutan massa briket pada bagian atas terlebih dahulu. Hal ini terjadi karena proses transfer panas terjadi akibat kontak terlebih dahulu antara briket pemasakan bagian atas dengan briket promotor bagian bawah yang telah terbakar. Briket pemasakan bagian atas menjadi panas, kemudian terbakar, sehingga ukuran briket menyusut dari bagian atas menuju bagian bawah.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan briket promotor dengan bentuk bola dengan *dimples*, karena dari penelitian sebelumnya [8], briket promotor bola dengan *dimples* memiliki *ignition time* tercepat dibandingkan dengan bentuk bola dan bantal. Hal ini disebabkan briket promotor bola dengan *dimples* memiliki luas kontak permukaan dengan udara pembakaran lebih besar dari briket promotor bentuk bantal, selain itu briket bola dengan *dimples* memiliki resirkulasi udara pada *dimples* nya. Hal ini menyebabkan *dimples* pada permukaan briket promotor memiliki turbulensi lebih tinggi dari briket promotor bentuk bantal.

Briket batubara promotor dalam penelitian ini juga menggunakan etil asetat sebagai oksidator, karena dari penelitian sebelumnya [7], briket promotor dengan metil asetat sebagai oksidator memiliki *ignition time* lebih cepat dan lebih mudah menyala. Hal ini terjadi karena adanya oksigen internal dari oksidator yang menyediakan oksigen untuk reaksi pembakaran. Semakin tinggi kandungan etil asetat yang digunakan, maka semakin mudah terbentuk campuran combustible antara bahan bakar dan oksigen sehingga memudahkan terjadinya reaksi pembakaran. Pada proses penyalaan, oksidator berfungsi sebagai :

- Bahan mudah terbakar (volatile combustible matter) yang dapat menghasilkan energi hasil reaksi pembakaran untuk meningkatkan temperatur pembakaran
- Bahan penyedia oksigen internal (oxygenate agent) dalam briket batubara yang digunakan dalam reaksi awal pembakaran

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

Campuran dalam briket batubara akan dicetak menggunakan alat pencetak, seperti **Gambar 3. 1**. Cetakan briket divariasikan sesuai dengan luas area *dimples* yang akan digunakan, yaitu 20%, 40%, dan 60% *dimples*. Setelah dicetak, cetakan tersebut ditekan dengan alat penekan hidrolik seperti **Gambar 3. 2**.



Gambar 3. 1 Cetakan briket promotor



Gambar 3. 2 Alat penekan hidrolik

Dari proses pencetakan, diperoleh briket batubara promotor bola dengan *dimples* dengan diameter 4 cm seperti **Gambar 3. 3**.



Gambar 3. 3 Briket promotor dengan *dimples*

Rancangan kompor yang digunakan adalah kompor briket batubara dengan blower pada bagian bawah sehingga terjadi *forced updraft* untuk menjamin kecukupan udara pembakaran dan memperbesar transfer panas secara konveksi dalam kompor pada saat pembakaran, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3. 4**. Pembuatan kompor didasarkan pada rujukan kompor hasil penelitian LIPI Bandung.

Penyalan awal dilakukan dengan meletakkan empat buah briket promotor diatas penyulut spiritus sampai terbentuknya bara api. Kemudian briket promotor tersebut diletakkan diatas briket pemasakan (bola dengan *dimples* tanpa oksidator), panas dari briket promotor berpindah secara konveksi dan radiasi menuju briket pemasakan. Briket batubara dalam kompor disusun menjadi dua bagian, yaitu briket promotor yang berada pada lapisan teratas, briket pemasakan berupa bola dengan *dimples* (bagian I) dan bantal (bagian II) pada lapisan I, dan briket pemasakan dengan bentuk bantal pada lapisan III, IV, dan V. *Bluff body* akan mempengaruhi aliran udara dalam kompor sehingga terbentuk nyala api yang stabil dan turbulen.

Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel tipe K, termokopel diletakkan pada lapisan kedua, yaitu diantara briket pemasakan dan briket promotor. Temperatur diukur ketika briket promotor diletakkan diatas kompor sampai briket batubara habis dalam waktu ± 2 jam. Waktu penyalan briket pemasakan dalam kompor dihitung dari diletakkannya briket promotor diatas briket pemasakan hingga terjadi kenaikan temperatur secara cepat yang ditandai dengan terbentuknya bara api pada briket pemasakan.



Gambar 3. 4 Kompor briket batubara LIPI dengan *blower*

Pada penelitian ini digunakan tinggi *chimney* sebesar 5 cm, karena menurut penelitian sebelumnya [9], tinggi *chimney* sebesar 5 cm menyebabkan *back pressure* yang rendah dan kecepatan suplai udara yang tinggi pada kompor, sehingga *ignition time* lebih cepat.

Blower yang digunakan dalam penelitian memiliki kecepatan superfisial udara ± 1 m/s, karena menurut penelitian sebelumnya [9], pada kecepatan ini, *ignition time* yang tercatat paling cepat dibandingkan kecepatan superfisial diatas maupun dibawahnya. Kecepatan superfisial yang terlalu tinggi menyebabkan aliran yang terjadi adalah turbulen, namun partikel briket batubara terbawa keluar dari kompor sebelum proses pembakaran terjadi dengan sempurna. Kecepatan superfisial yang rendah juga kurang baik, karena aliran yang terjadi adalah laminar, sehingga turbulensinya kecil [9].

3.3 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan pada Laboratorium Termodinamika Energi dan Lingkungan Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3. 5**.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

3.4 TAHAP - TAHAP PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan metode penyalaan briket batubara yang paling singkat agar dapat diaplikasikan dalam perancangan kompor briket batubara, sehingga dihasilkan briket promotor yang praktis dan efisien dalam penggunaannya.

3.4.1 Tahap Preparasi Peralatan

Alat yang digunakan :

- a. Alat penggerus batubara
- b. Alat pencetak briket batubara
- c. Blower
- d. Pembakar spiritus
- e. Grate
- f. Hot Plate
- g. Kompor Briket
- h. Komputer
- i. Saringan
- j. Termokopel jenis K

Prosedur yang dilakukan :

1. Mempersiapkan kompor yang dilengkapi dengan blower. Meletakkan briket pemasakan di bagian bawah, dan briket promotor yang telah dipanaskan, diletakkan di bagian atas briket pemasakan pada kompor.

2. Mempersiapkan komputer yang digunakan untuk mencatat temperatur dan waktu penyalaan briket pemasakan.

3.4.2 Preparasi Briket Promotor

Alat yang digunakan :

- a. Mal pencetak briket berbentuk bola
- b. Alat penekan hidrolik
- c. Alat penggerus
- d. Saringan

Bahan yang digunakan :

- a. Briket batubara PT Bukit Asam
- b. Oksidator Etil Asetat 15%
- c. Perekat kanji
- d. Air Demin
- e. Plastik Wrap

Prosedur yang dilakukan :

1. Menggerus batubara dengan alat penggerus hingga halus
2. Menyaring partikel batubara hasil penggerusan dengan saringan teh diameter 1 mm.
3. Memanaskan air demin menggunakan *hot plate*
4. Membuat campuran tepung kanji dengan air demin yang telah dipanaskan hingga kental dan lengket
5. Membuat sampel briket batubara 15% etil asetat dengan mencampurkan 21 gram batubara dengan etil asetat sebanyak 4.5 gram dan larutan kanji sebanyak 4.5 gram.
6. Melapis mal pencetak dengan plastik wrap agar briket hasil pencetakan tidak lengket saat diangkat, dan mencetak partikel briket menjadi briket promotor berbentuk bola dengan *dimples*.
7. Mengeringkan di ruang tertutup selama ± 7 hari
8. Lakukan hal yang sama untuk briket pemasakan lapisan I, namun sampel briket tidak ditambahkan oksidator 15% etil asetat.

3.4.3 Pengujian Waktu Penyalaan Briket dengan Variasi Luas *Dimples*

Skema alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3. 6**.

Alat yang digunakan :

- a. Kompor briket yang dilengkapi dengan blower
- b. Komputer
- c. Pemantik api
- d. Pembakar bunsen spiritus
- e. Termokopel jenis K

Bahan yang digunakan :

- a. Briket pemasakan bentuk bantal dan bola dengan *dimples*.
- b. Briket promotor bentuk bola dengan *dimples*.

Prosedur yang dilakukan :

1. Menyalakan komputer dan *exhaust fan*
2. Meletakkan briket promotor bola dengan *dimples* pada bagian atas briket pemasakan dalam *loading* penuh atau 100%
3. Menyulut empat buah briket promotor, dengan cara membakarnya dengan pembakar spiritus sampai terbentuk bara api (± 5 menit)
4. Meletakkan briket promotor yang telah membara diatas briket pemasakan dan menyalakan *blower*
5. Meletakkan termokopel diatas/menempel pada permukaan briket pemasakan
6. Mencatat waktu penyalaan briket pemasakan. Waktu penyalaan briket dimulai saat briket promotor diletakkan dalam kompor, hingga awal terjadinya lonjakan temperatur drastis
7. Melakukan kembali prosedur 1 hingga 6 untuk variasi luas area *dimples* briket promotor sebesar 20%, 40%, dan 60%.
8. Melakukan kembali prosedur 1 hingga 6 untuk variasi luas area *dimples* pada briket pemasakan lapisan I sebesar 20%, 40%, dan 60%
9. Melakukan kembali prosedur 1 hingga 6 untuk variasi *loading* briket promotor sebesar 75%, 50%, dan 25%.

3.5 ANALISA PROSEDUR PENELITIAN

3.5.1 Preparasi Briket Promotor dan Briket Pemasakan Lapisan Atas

Prosedur penyiapan briket promotor dan briket pemasakan dimulai dengan menggerus sampel batubara PT Bukit Asam dan menyaring dengan saringan teh. Hal ini dilakukan untuk menyaring pengotor dan sampel yang tidak berukuran 20 mesh. Bubuk sampel batubara kemudian dicampur dengan kanji yang telah dicampur dengan air panas sebagai bahan perekat, dan oksidator etil asetat sebanyak 15% dari jumlah massa total sampel. Campuran tersebut dicetak dalam cetakan yang telah ditempel bola plastik berukuran setengah lingkaran dan dilapis dengan plastik *wrap*. Hal ini dilakukan untuk mencetak *dimples* dalam briket sampel dan agar campuran tidak lengket dengan cetakan saat proses pencetakan dilakukan.

Setelah dicetak, briket sampel dikeringkan dalam ruang tertutup selama 7 hari agar briket kering dan siap digunakan. Briket promotor berfungsi untuk mempercepat penyalaan awal di bagian atas unggun briket. Pada briket pemasakan, dilakukan hal yang sama namun tidak ditambahkan oksidator etil asetat. Hal ini dilakukan dengan alasan penggunaan oksidator seoptimal mungkin.

Luas persen permukaan *dimples* terhadap luas permukaan bola

Hasil perhitungan tabel dibawah ini digunakan untuk menentukan jumlah *dimples* yang dibutuhkan dalam menentukan luas permukaan *dimples*.

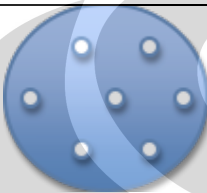

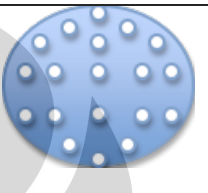


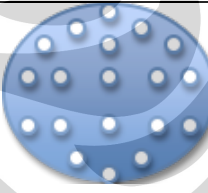
Luas <i>dimples</i> yang diinginkan :	Luas Permukaan Briket :	Jumlah <i>Dimples</i> yang dibutuhkan :
20%	$0.2 \times 50.625 = 10.625$	$n_{dimples} = \frac{10.625}{\pi(0.5)^2} = 14$
40%	$0.4 \times 50.625 = 20.25$	$n_{dimples} = \frac{20.25}{\pi(0.5)^2} = 26$
60%	$0.6 \times 50.625 = 30.375$	$n_{dimples} = \frac{30.375}{\pi(0.5)^2} = 39$

Luas Permukaan Bola

(S_b), $D_b = 4 \text{ cm}$

$$S_b = 4\pi r^2 = 4\pi(2)^2 = 50.265 \text{ cm}^2$$

$D_{dimples} = 1 \text{ cm}$

Luas <i>Dimples</i>	20%	40%	60%
Atas :			
Bawah :			

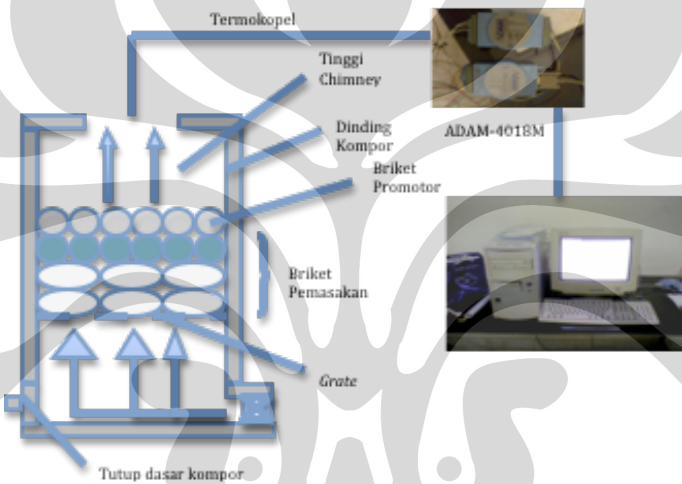
3.5.2 Pengujian *Ignition time* Briket

Langkah pertama yang dilakukan adalah menyulut empat buah briket promotor dari 16 buah briket sampel selama ± 5 menit hingga terbentuk bara api, kemudian meletakkan briket di atas unggun briket pemasakan yang telah diletakkan terlebih dahulu. Termokopel diletakkan diantara briket promotor dan briket pemasakan, serta diantara briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* dan bentuk bantal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui temperatur perambatan panas yang terjadi dalam kompor. Hasil keluaran berupa profil temperatur nyala terhadap waktu nyala yang memperlihatkan perpindahan panas dari briket promotor menuju briket pemasakan.

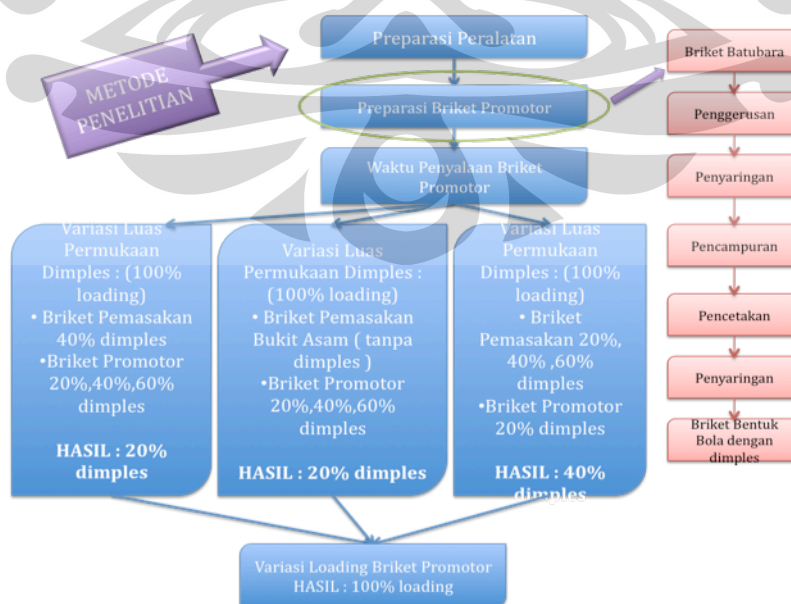
Pengujian temperatur briket dilakukan dengan dua variasi, yaitu variasi luas *dimples* dan *loading* briket promotor. Pada variasi luas *dimples*, dilakukan tiga macam percobaan, yaitu :

- Uji briket pemasakan 100% *loading* 40% *dimples* dengan briket promotor 100% *loading* dengan variasi luas *dimples* sebesar 20%, 40%, dan 60%
- Uji briket pemasakan Bukit Asam 100% *loading* dengan briket promotor 100% *loading* dengan variasi luas *dimples* sebesar 20%, 40%, dan 60%
- Uji briket promotor 100% *loading* 20% *dimples* dengan briket pemasakan 100% *loading* dengan variasi luas *dimples* sebesar 20%, 40%, dan 60%

Ketiga percobaan diatas dilakukan untuk mengetahui luas *dimples* dengan *ignition time* tercepat, baik pada briket promotor maupun briket pemasakan. Hasilnya berupa luas *dimples* optimum pada briket promotor dan briket pemasakan, yang akan digunakan dalam variasi *loading* briket promotor.



Gambar 3. 6 Posisi Termokopel dan Prosedur Pengambilan Data



Gambar 3. 7 Metode Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel batubara PT Bukit Asam berjenis sub – bituminous. Pemilihan batubara sub – bituminous sebagai batubara sampel adalah sebagian besar batubara di Indonesia berjenis batubara lignit dan sub – bituminous, dan batubara sub – bituminous memiliki kualitas lebih tinggi dalam segi umur yang lebih tua, dan kandungan moisture dan abu lebih rendah.

Pengujian di dalam kompor batubara dilengkapi dengan *blower* di bagian bawah, yang berfungsi sebagai suplai aliran udara masuk. Briket pemasakan berada di bagian bawah sebanyak 4 lapis. Tiga lapis terbawah menggunakan briket pemasakan PT Bukit Asam berbentuk bantal dengan ukuran 5 x 5 cm, sedangkan lapisan teratas dari briket pemasakan, menggunakan briket pemasakan berbentuk bola dengan *dimples* dengan ukuran 4 x4 cm tanpa oksidator etil asetat. Briket promotor yang digunakan dalam penelitian ini adalah briket promotor bentuk bola dengan *dimples* berukuran 4 x 4 cm dengan penambahan oksidator etil asetat.

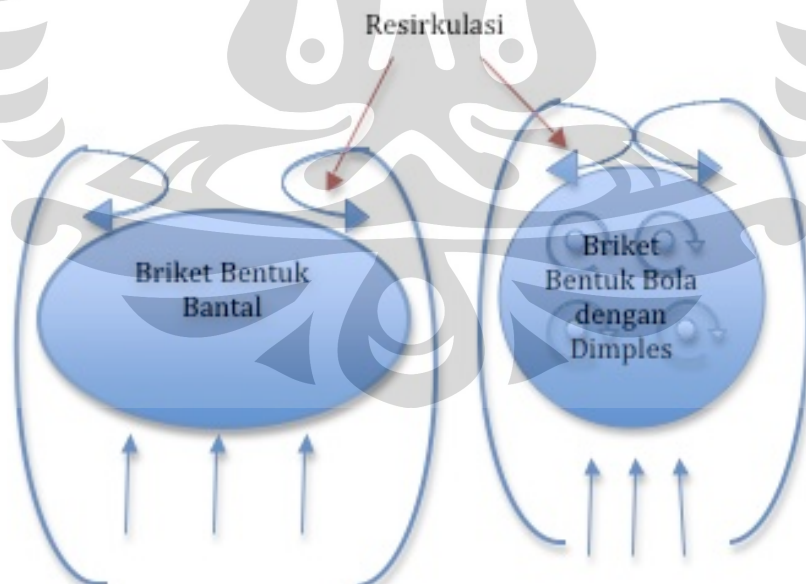
Alasan penggunaan briket promotor dan briket pemasakan berbentuk bola dengan *dimples* adalah briket bentuk bola dengan *dimples* memiliki aliran udara dan turbulensi lebih baik dibandingkan bentuk bola maupun bantal, serta ignition time lebih cepat dibandingkan dua bentuk lainnya [8]. Profil aliran udara pada briket promotor dapat dilihat pada **Gambar 4. 1**. Aliran udara yang kontak dengan permukaan briket tidak tertahan pada permukaan yang kontak, melainkan membentuk aliran resirkulasi pada *bluff body*. Hal ini membantu proses perpindahan panas dari briket promotor menuju briket pemasakan.

Secara makro, terjadi resirkulasi udara akibat adanya aliran udara secara paksa dari bagian bawah ke atas, sehingga terbentuk resirkulasi udara antara briket promotor dengan briket di bawahnya, dan waktu tinggal udara dalam kompor menjadi lebih lama. Hal ini menyebabkan terjadinya perpindahan panas secara konveksi dan radiasi antara briket promotor dengan briket dibawahnya, sehingga waktu penyalaan semakin cepat.

Secara mikro, terjadi resirkulasi udara pada dimples dalam briket promotor dan pemasakan lapisan atas. Resirkulasi dalam dimples menghasilkan waktu tinggal udara dalam kompor semakin besar, sehingga udara yang terbawa keluar semakin berkurang. Hal ini menyebabkan resirkulasi udara dalam kompor semakin besar, menyebabkan waktu penyalaan semakin cepat dan suhu pembakaran semakin besar.

Alasan penambahan oksidator pada briket promotor adalah pada saat terjadi devolatilisasi, terbentuk awan volatil yang menghalangi masuknya oksigen dari luar, sehingga proses penyalaan menjadi sulit. Oksidator menyediakan oksigen internal saat proses devolatilisasi berlangsung. Oksigen internal yang berada dalam briket akan bereaksi dengan carbon di dalam briket, sehingga terjadi reaksi oksidasi antara briket dan oksidator, yang digunakan untuk menaikkan temperatur briket dan menurunkan energi aktivasi pembentukan CO_2 . Semakin rendah energi aktivasi suatu briket, maka briket tersebut semakin mudah untuk menyala.

Blower diletakkan pada bagian bawah kompor briket batubara. Hal ini dilakukan untuk menciptakan forced updraft pada aliran udara, sehingga timbul turbulensi udara pembakaran untuk mempercepat penyalaan dan pembakaran briket batubara dalam kompor.



Gambar 4. 1 Profil Aliran Udara pada Briket Bentuk Bantal dan Bola dengan *Dimples*

4.1 Pengujian *Ignition time*

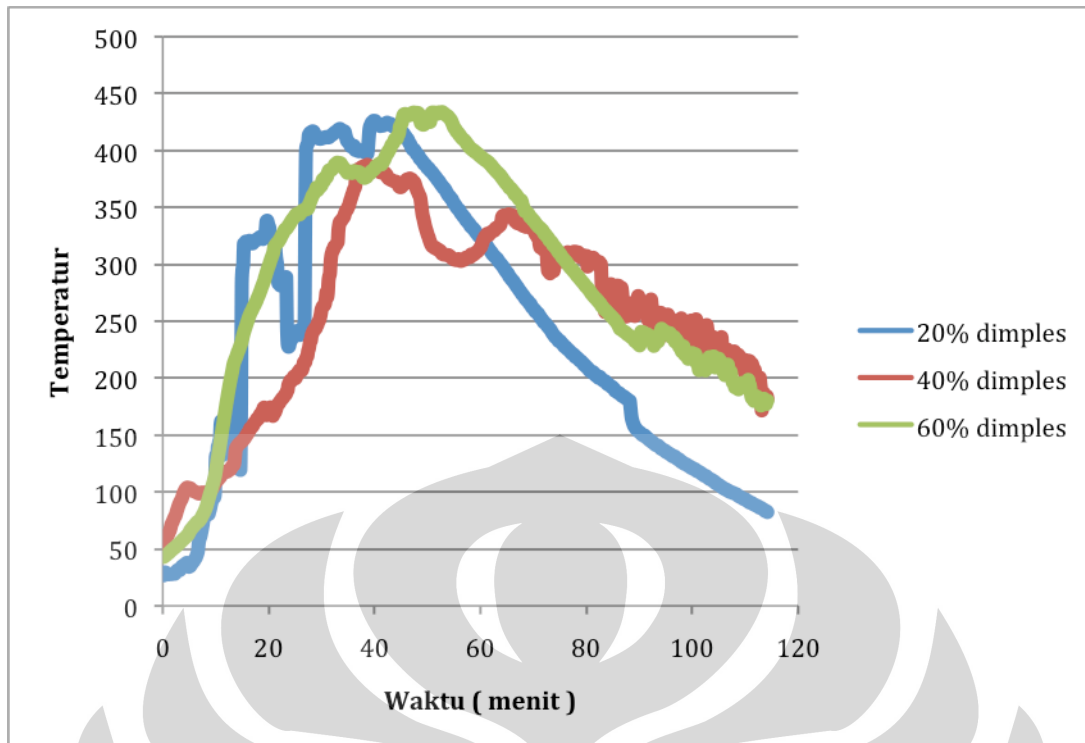
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari luas *dimples* dan *loading* briket promotor terhadap waktu penyalaan briket batubara dalam kompor. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi *loading* sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100% dari luas permukaan kompor, serta luas *dimples* briket promotor dan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* sebesar 20%, 40%, dan 60% dengan diameter 4 cm. Penyalaan yang dilakukan dengan briket promotor bentuk bola dengan 12.5% *dimples* membutuhkan waktu penyalaan selama 11 menit [8].

4.1.1 Pengaruh luas *dimples* dengan briket pemasakan bentuk bola dengan 40% *dimples*

Tujuan dari percobaan ini adalah melihat pengaruh luas *dimples* dengan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* terhadap waktu dan suhu nyala yang dihasilkan. Pada tahap ini dilakukan variasi luas *dimples* sebesar 20%, 40%, dan 60%. dapat dilihat pada **Gambar 4. 2**. Dari grafik, dapat dilihat bahwa pada awal pengujian, suhu cenderung konstan dan tidak ada tanda penyalaan. Hal ini dikarenakan proses perambatan panas membutuhkan cukup lama hingga terlihat bara api pada briket pemasakan lapisan atas. Namun pada menit ke – 6, terjadi kenaikan suhu yang signifikan hingga mencapai suhu maksimum.

Dari grafik juga dapat dilihat bahwa semakin besar luas *dimples* yang digunakan, waktu penyalaan akan semakin cepat. Namun pada luas *dimples* sebesar 60%, waktu nyala yang tercatat lebih lambat dibandingkan luas *dimples* 20% dan 40%. Hal ini terjadi karena turbulensi yang terlampau besar menyebabkan aliran udara bergerak kembali menuju arah *blower*, sedangkan udara yang membawa panas dari briket promotor mengalir keatas secara cepat, sehingga perpindahan panas dari briket promotor menuju briket pemanasan secara konveksi dan radiasi menurun. Hal ini menyebabkan suhu nyala briket promotor dan briket pemasakan lapisan atas menurun, sehingga waktu nyala yang dihasilkan lebih lambat.

Grafik ini juga memperlihatkan bahwa luas *dimples* 20% memiliki *ignition time* terkecil dibandingkan luas *dimples* 40% dan 60%. Hal ini disebabkan oleh briket dengan luas *dimples* 20% memiliki resirkulasi makro yang optimal, yang disebabkan oleh resirkulasi udara antara briket promotor dengan briket dibawahnya, sehingga laju konveksi menjadi besar, menghasilkan waktu penyalaan yang cepat.



Gambar 4. 2 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket masakan 40% *dimples*

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian *Ignition time* Briket Pemasakan 40% *dimples* dengan Penggunaan Briket Promotor Bola dengan *dimples* dan Oksidator

Parameter (% <i>dimples</i>)	t_{ignition} (menit)	Temperatur Maksimum (° C)
20 %	6	422.9
40%	8.26	382.5
60%	9.06	430.4

4.1.2 Pengaruh luas *dimples* dengan briket pemasakan Bukit Asam bentuk bantal

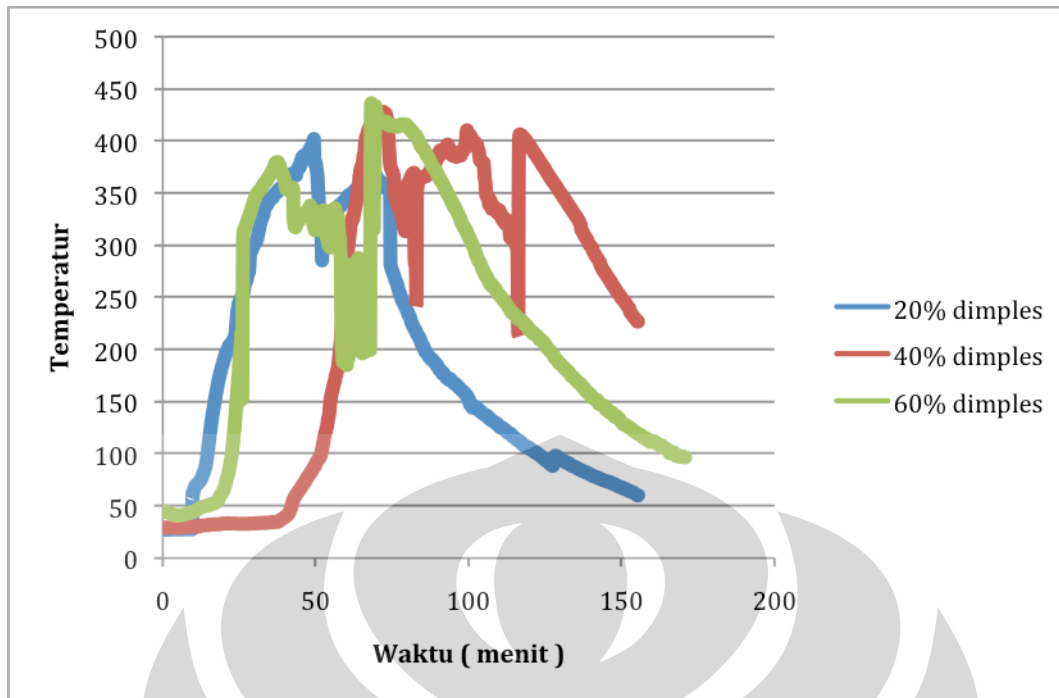
Percobaan ini dilakukan dengan tujuan membandingkan waktu dan suhu nyala antara briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples* dengan briket bentuk bantal. Pada tahap ini, dilakukan variasi luas *dimples* pada briket promotor, yaitu 20%, 40%, dan 60%. Hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 4. 3**.

Pada grafik, terlihat bahwa semakin besar luas *dimples* yang digunakan, suhu pembakaran yang terjadi semakin besar. Namun, luas *dimples* 20% memiliki *ignition time* terkecil dibandingkan luas *dimples* 40% dan 60%. Hal ini terjadi karena briket dengan luas *dimples* 20% memiliki resirkulasi mikro yang rendah, namun dengan resirkulasi makro yang tinggi. Hal ini menyebabkan briket dengan luas *dimples* 20% memiliki resirkulasi makro yang optimal, yang disebabkan oleh resirkulasi udara antara briket promotor dengan briket dibawahnya, sehingga laju konveksi menjadi besar, menghasilkan waktu penyalaan yang cepat.

Briket dengan luas *dimples* 40% memiliki *ignition time* terbesar karena turbulensi makro dan mikro yang dihasilkan seimbang. Tidak ada yang berperan lebih dalam proses pembakaran, sehingga perpindahan panas yang dihasilkan cenderung stagnan, sehingga waktu nyala yang dihasilkan lambat.

Secara keseluruhan, briket pemasakan dengan bentuk bantal memiliki waktu nyala lebih besar dibandingkan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*. Hal ini disebabkan briket pemasakan bentuk bantal memiliki luas kontak yang lebih kecil dibandingkan briket bentuk bola dengan *dimples*, sehingga transfer panas yang terjadi antara briket pemasakan dan briket promotor lambat, menghasilkan waktu nyala lebih lambat. Briket bentuk bola dengan *dimples* menghasilkan turbulensi lebih besar dibandingkan briket bentuk bantal, menghasilkan laju perpindahan panas lebih besar, sehingga waktu nyala yang dihasilkan lebih kecil.

Berdasarkan informasi dan analisa diatas, maka briket promotor yang akan digunakan dalam percobaan berikutnya adalah briket promotor bentuk bola dengan *dimples* 100% loading 20% *dimples*, dengan alasan briket dengan luas *dimples* 40% dan 60% memiliki perbedaan waktu nyala yang besar pada kedua percobaan, sedangkan briket promotor dengan luas *dimples* 20% memberikan perbedaan suhu nyala yang tidak jauh berbeda, sehingga dapat digunakan dalam dua keadaan, yakni dengan briket pemasakan lapisan teratas berupa briket bentuk bantal dan bentuk bola dengan *dimples*.



Gambar 4. 3 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket masakan Bukit Asam

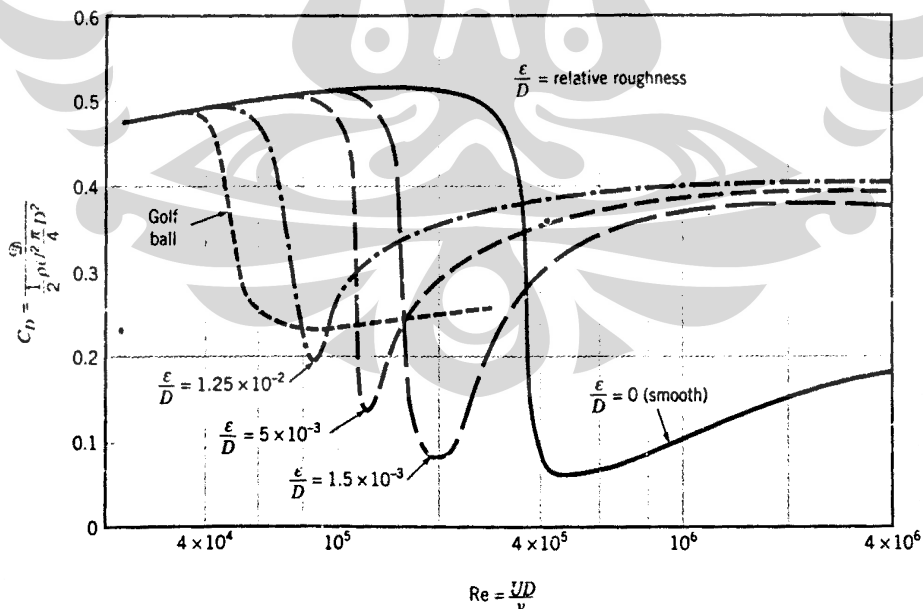
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian *Ignition time* Briket Pemasakan Bantal dengan Penggunaan Briket Promotor Bola dengan *dimples*

Parameter (% <i>dimples</i>)	t_{ignition} (menit)	Temperatur Maksimum (° C)
20 %	11.83	401.18
40%	42.017	423.3
60%	19.083	430.4

4.1.3 Pengaruh luas *dimples* dengan briket promotor 100% loading 20% *dimples* dengan briket promotor bentuk bola dengan *dimples*

Tujuan dari percobaan ini adalah menentukan luas *dimples* briket pemasakan optimal dilihat dari waktu dan suhu nyala yang dihasilkan, serta melihat pengaruh luas *dimples* pada briket pemasakan terhadap waktu dan suhu nyala. Pada percobaan ini, dilakukan variasi luas *dimples* pada briket pemasakan sebesar 20%, 40%, dan 60%. Hasil dapat dilihat pada **Gambar 4. 5**.

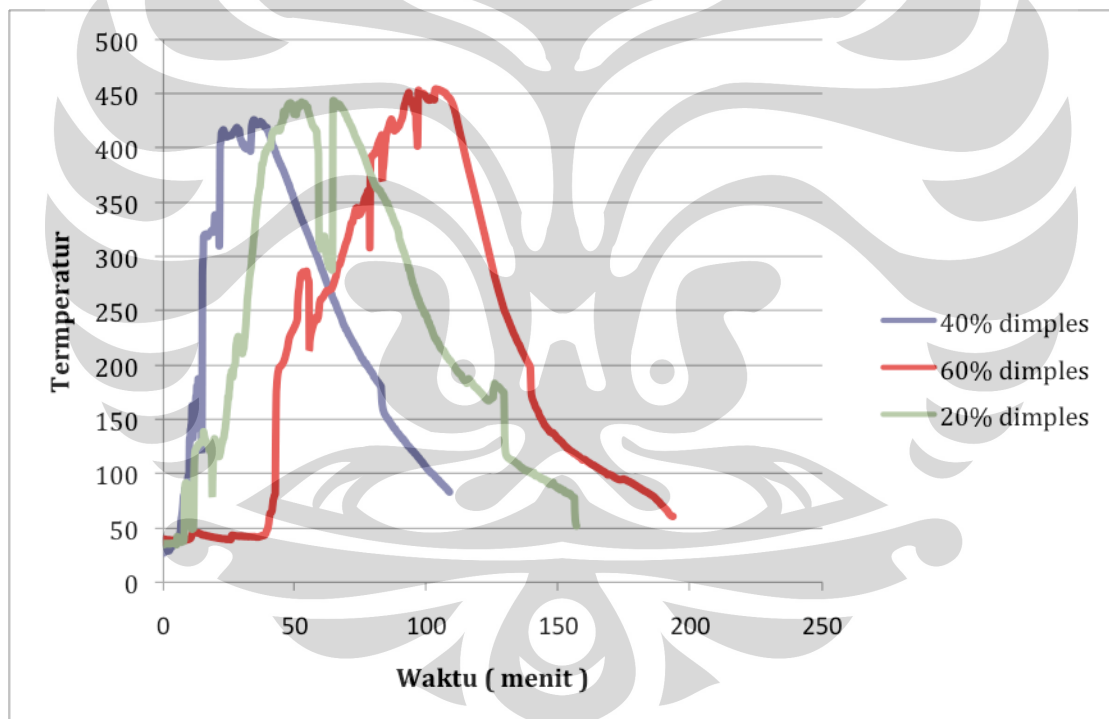
Dari grafik dapat dilihat bahwa briket dengan luas *dimples* 40% memiliki *ignition time* terkecil dibandingkan dengan briket dengan luas *dimples* 20% dan 60%. Hal ini terjadi karena pada luas *dimples* 20%, terjadi turbulensi makro yang tinggi dan turbulensi mikro yang rendah, sedangkan pada briket dengan luas *dimples* 60%, terjadi turbulensi makro yang rendah dan turbulensi mikro yang tinggi. Turbulensi mikro memberikan efek perpindahan panas yang lebih besar dibandingkan dengan turbulensi makro, dilihat dari segi luas kontak antara briket pemasakan dan *drag coefficient* yang dihasilkan. *Drag coefficient* yang semakin besar menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar, sehingga bilangan Renault yang terjadi semakin besar, menghasilkan turbulensi udara yang semakin besar [23].



Gambar 4. 4 Pengaruh kekasaran permukaan pada *drag coefficient* dari bola dengan *dimples* terhadap bilangan Reynolds saat laminar boundary layer menjadi turbulen [23]

Pada turbulensi mikro, aliran udara banyak tertahan pada permukaan bola dengan *dimples*, turbulensi udara yang semakin besar memiliki daerah resirkulasi yang besar, sehingga kontak antara udara dan zat volatil yang terdapat pada permukaan briket lebih lama. Berdasarkan pertimbangan diatas, maka briket pemasakan yang digunakan adalah briket pemasakan dengan luas *dimples* sebesar 40%. Selain itu, aliran udara yang optimal pada briket dengan luas *dimples* 40% menjadi pertimbangan, karena aliran udara optimal pada kompor, menghasilkan transfer panas konveksi dan radiasi yang semakin baik pada bentuk briket tersebut.

Hasil dari ketiga percobaan diatas digunakan sebagai dasar dalam percobaan variasi *loading* briket promotor. Briket promotor dan briket pemasakan yang digunakan dalam percobaan berikutnya adalah briket promotor dengan luas *dimples* 20% dan briket pemasakan lapisan teratas dengan luas *dimples* 40%.



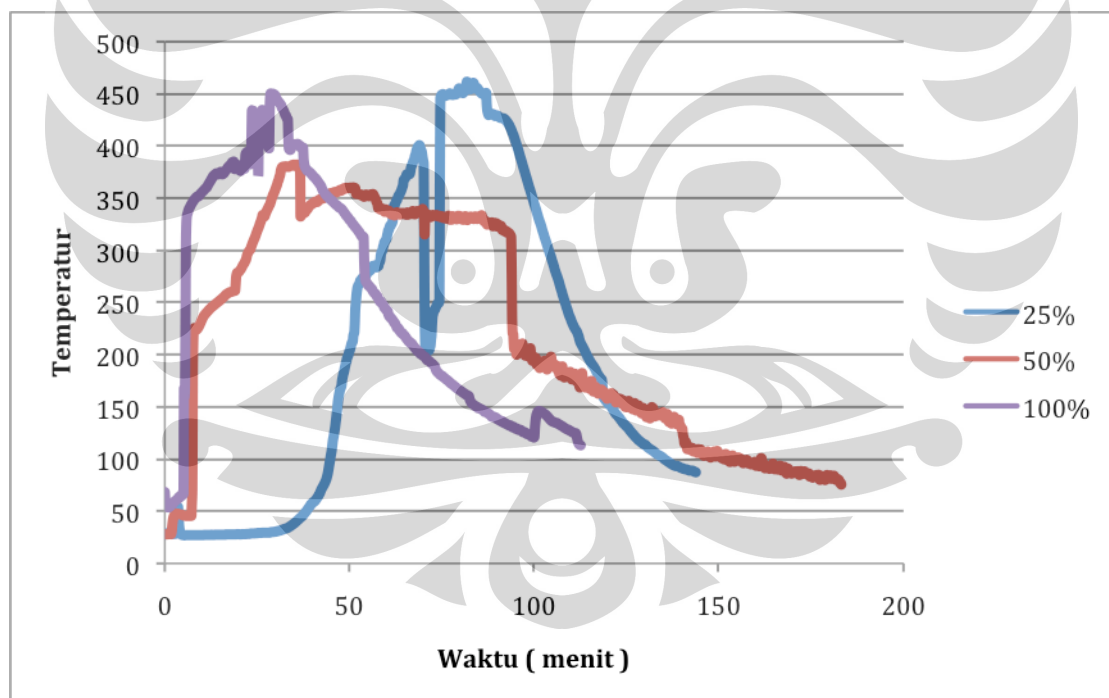
Gambar 4. 5 Profil Temperatur terhadap Waktu Nyala dengan briket promotor 20% *dimples*

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Ignition time* Briket Promotor 20% *dimples* dengan Penggunaan Briket Pemasakan bentuk bola dengan *dimples*

Parameter (% <i>dimples</i>)	t_{ignition} (menit)	Temperatur Maksimum (° C)
20 %	13.096	418.6
40%	11. 3833	419.9
60%	41.45	436.1

4.1.4 Pengaruh *Loading* Briket Promotor dalam kompor

Tujuan dari percobaan ini adalah melihat pengaruh *loading* briket promotor terhadap variasi luas *dimples*. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4. 6**.



Gambar 4. 6 Profil Temperatur dan Waktu Nyala terhadap *Loading* Briket Promotor dengan Briket Pemasakan 100% *loading* 40% *dimples*

Dari grafik dapat dilihat bahwa waktu penyalaan keempat *loading* briket promotor tidak memberikan perbedaan yang terlalu besar, tetapi terlihat bahwa semakin besar *loading* briket promotor yang digunakan maka *ignition time* yang

tercatat semakin cepat. Sehingga dari grafik tersebut dapat dibuat tabel *ignition time* dan temperatur maksimum terhadap *loading* sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian *Ignition time* pada Variasi *Loading*

<i>Loading</i> Promotor (%)	Briket	T _{ignition} (menit)	Temperatur Maksimum (°C)
25%		41.4667	449.8
50%		7.333	380
100%		5.067	429.5

Dari tabel dapat dilihat bahwa *loading* dengan *ignition time* tercepat adalah 100% > 50% > 25%. Dalam penyalaan awal pembakaran dalam kompor, pemanasan awal briket promotor berfungsi untuk menghilangkan air (moisture) dalam briket. *Moisture* dan *ash* dapat menghambat penyalaan dan mengurangi suhu awal pembakaran. Hal ini terjadi karena moisture dan ash memiliki kapasitas panas yang besar, sehingga panas yang dihasilkan dari pembakaran akan digunakan untuk menghilangkan moisture, sehingga panas yang dihasilkan kecil. Materi volatil dan karbon diinginkan dalam briket, karena proses pembakaran volatil dan karbon mudah terbakar, sehingga panas yang dihasilkan dapat membantu menaikkan temperatur penyalaan briket hingga mencapai titik penyalaan.

Grafik penyalaan ditandai dengan kenaikan temperatur secara cepat. Hal ini terjadi karena adanya penambahan oksidator etil asetat dan turbulensi udara dari *blower* kompor untuk memecah awan materi volatil. Turbulensi udara yang semakin besar menyebabkan luas kontak antara briket pemasakan dan briket promotor menjadi lebih besar. Luas kontak besar menyebabkan waktu tinggal udara pemasakan menjadi besar, sehingga reaksi pembakaran antara oksigen internal dan oksigen dari udara terjadi cukup cepat.

Saat temperatur semakin tinggi, proses pembakaran dalam kompor menggunakan karbon sebagai bahan bakar. Hal ini terjadi karena panas yang terbentuk pada permukaan briket telah merambat secara konduksi ke briket bagian

dalam, kemudian terjadi transfer panas secara konveksi dan radiasi dari briket bagian luar menuju briket bagian dalam, dan terjadi penurunan massa briket secara spontan, menyebabkan penurunan temperatur secara konstan. Temperatur yang terukur saat itu adalah temperatur campuran (efek briket satu terhadap briket lain) yang terjadi dalam kompor yang nilainya semakin menurun.

Pada percobaan diatas, terlihat peningkatan massa abu briket batubara dengan meningkatnya *loading* briket batubara. Hal ini disebabkan oleh semakin besar *loading* briket promotor, maka semakin besar massa briket dalam kompor, dan luas kontak antara briket promotor dengan briket pemasakan semakin besar, menyebabkan reaksi pembakaran semakin cepat, sehingga massa abu yang tertinggal dalam kompor semakin besar.

Tabel 4. 5 Data Variasi *Loading* Briket Promotor

<i>Loading</i> Briket Promotor (%)	Jumlah Briket Promotor dalam Kompor	Massa Briket Pemasakan (kg)	Massa Briket Promotor (kg)	Massa Abu (kg)
100%	16	0.79	0.39	0.31
50%	8	0.94	0.225	0.28
25%	4	0.9	0.15	0.26

4.3 Pengujian Kecepatan Pembakaran Briket Batubara

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan pembakaran briket batubara dalam suatu kompor. Percobaan ini dilakukan dengan melakukan perbandingan antara briket promotor dengan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*, dengan briket promotor dengan briket pemasakan bentuk bantal. Perhitungan dilakukan dengan membuat grafik dt/t vs t , dengan dt didapat dari penurunan setiap persamaan garis yang didapat dari grafik.

Dari grafik waktu dan temperatur, dapat dilakukan pengambilan data dilakukan dari temperatur maksimum pembakaran hingga proses pembakaran selesai

pada setiap luas *dimples*. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 4. dan **Gambar 4. 7**. Dari grafik dapat dibuat persamaan garis polinomial dengan orde 6. Persamaan garis diturunkan menjadi dt / t , yang dapat dilihat pada **Tabel 4. 6**. Sehingga dari persamaan yang didapat, dibuat grafik dt/t vs t dari 10 titik sampel yang telah ditentukan. Grafik ini menunjukkan kecepatan pembakaran briket promotor dan pemasakan dalam kompor. Hasil pengolahan data dapat dilihat pada **Gambar 4. 8**

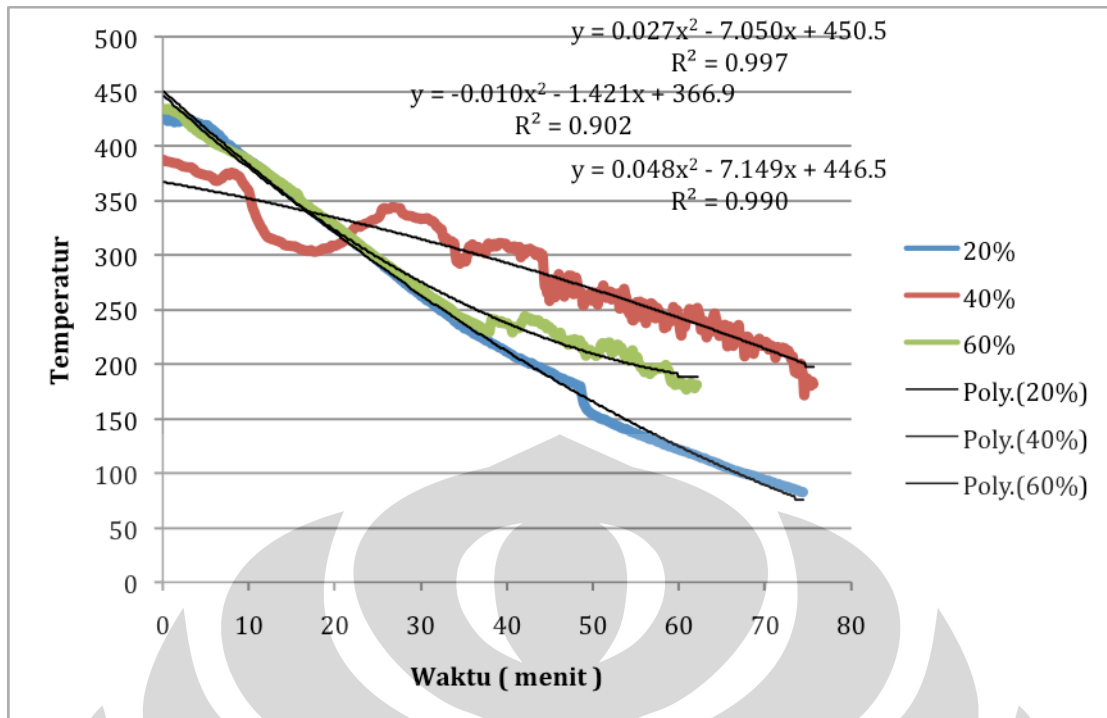
Pada grafik terlihat bahwa grafik dengan luas *dimples* 60% memiliki gradien terbesar dibandingkan luas *dimples* 20% dan 40%. Hal ini terjadi karena briket dengan luas *dimples* 40% memiliki luas kontak optimal. Pada briket bentuk bola dengan *dimples*, semakin besar *dimples* yang dimiliki maka pada saat terjadi kenaikan suhu, laju konveksi dan radiasi semakin tinggi. Hal ini menyebabkan laju pembakaran semakin cepat, namun luas permukaan briket semakin rendah karena semakin banyak briket yang terbakar.

Pada briket pemasakan bentuk bantal, luas kontak antara briket promotor dan pemasakan lebih kecil, dan turbulensi mikro yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan briket pemasakan bentuk bola dengan *dimples*, sehingga laju pembakaran yang dihasilkan juga lebih kecil.

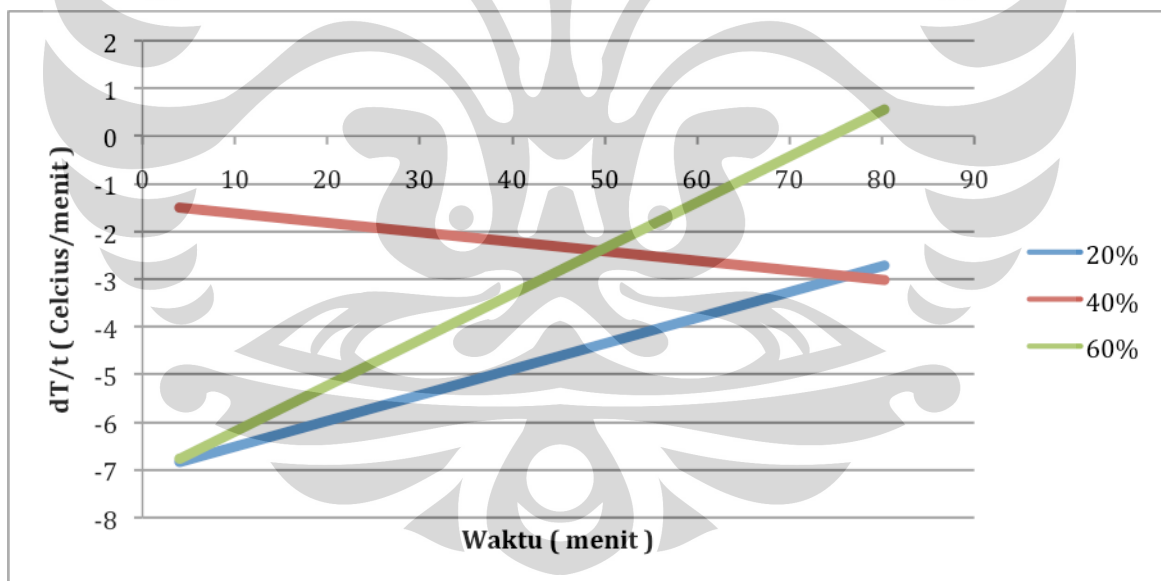
Pada uji pembakaran ini, analisa awal didasarkan pada briket tunggal dengan aliran udara konstan. Namun, aktualnya adalah kompor batubara terdiri briket dalam jumlah banyak, sehingga aliran udara banyak tertahan di bagian bawah kompor. Hal ini mengakibatkan suhu dibawah kompor lebih panas dari bagian atas, sehingga waktu ignisi lebih lambat.

Tabel 4. 6 Persamaan garis dt / t

Persamaan Garis pada gambar 4.7	
dt/t (20%)	$0.054x - 7.050$
dt/t (40%)	$-0.02x - 1.421$
dt/t (60%)	$0.096x - 7.149$



Gambar 4. 7 Profil Waktu dan Suhu nyala pada Briket Promotor 100% loading 20% dimples dengan briket pemasakan bentuk bola dengan dimples



Gambar 4. 8 Profil dt/t vs t untuk briket promotor 100% loading 20% loading dengan briket pemasakan bentuk bola dengan dimples

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

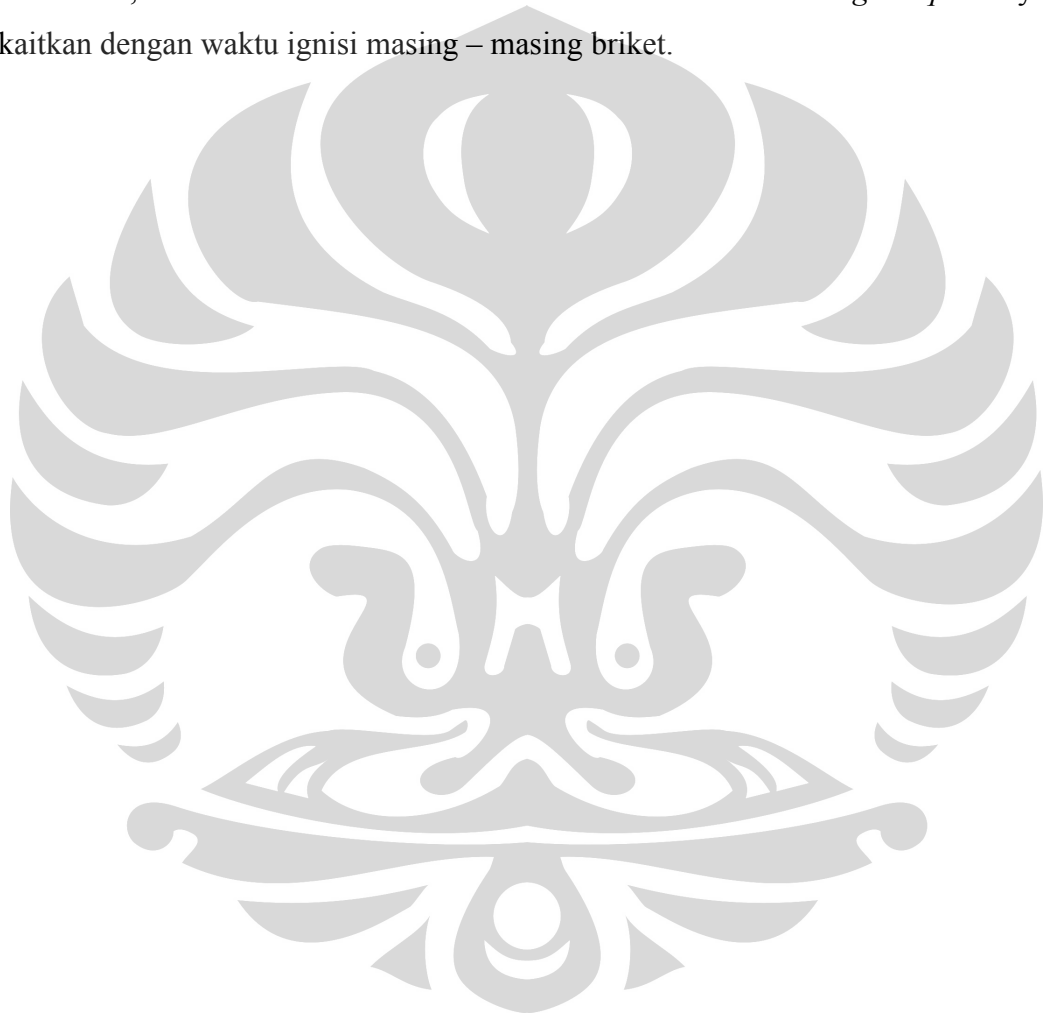
5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian pengaruh luas *dimples* dan *loading* terhadap briket promotor dan briket pemasakan dalam kompor briket batubara dengan menggunakan briket batubara super PT Bukit Asam dengan kecepatan superfisial 1 m/s adalah :

1. Penambahan *dimples* dan oksidator ke dalam briket promotor dapat mempercepat ignition time briket pemasakan dalam kompor.
2. Pengaruh luas *dimples* pada briket promotor dan briket pemasakan lapisan atas adalah :
 - a. Luas *dimples* optimal dalam suatu briket pemasakan adalah 40%, terlihat dari perubahan ignition time yang didapat.
 $T_{\text{ignition } 40\%} : 11.3833 \text{ menit} < T_{\text{ignition } 20\%} : 40.983 \text{ menit} < T_{\text{ignition } 60\%} : 41.45 \text{ menit}.$
 - b. Luas *dimples* optimal dalam suatu briket promotor adalah 20%, terlihat dari perubahan ignition time yang didapat.
 $T_{\text{ignition } 60\%} : 9.06 \text{ menit} > T_{\text{ignition } 40\%} : 8.26 \text{ menit} > T_{\text{ignition } 20\%} : 6 \text{ menit}.$
3. Pengaruh *loading* pada briket promotor dalam kompor :
Semakin besar *loading* promotor maka semakin kecil *ignition time* yang didapat. $t_{\text{ignition } \textit{loading } 100\%} : 5.067 \text{ menit} < t_{\text{ignition } \textit{loading } 50\%} : 7.333 \text{ menit} < t_{\text{ignition } 25\%} : 41.4667 \text{ menit}.$
4. Pengaruh luas *dimples* terhadap kecepatan pembakaran :
Briket promotor dan pemasakan dengan luas *dimples* 60% memiliki kecepatan pembakaran terbesar, dibandingkan luas *dimples* 20% dan 40%.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan adalah : perlu diterapkan briket pemasakan luas dimples 40% dan briket promotor dengan luas *dimples* 20% untuk mempercepat ignition time pada kompor briket batubara, dengan alasan briket luas *dimples* 40% memiliki turbulensi dan resirkulasi udara paling optimal dibandingkan luas *dimples* lainnya. Selain itu, gunakan *chemical waste* sebagai oksidator untuk menekan biaya pembuatan briket promotor. Pada uji kecepatan pembakaran, diusulkan suatu model untuk melihat efek *shrinking briquette* yang dikaitkan dengan waktu ignisi masing – masing briket.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. <http://www.indexmundi.com/Indonesia/population.html>. Indonesia Population – Demographics (Diakses tanggal 7 Juni 2008)
- [2] Anonim. <http://insidewinme.blogspot.com/2007/12/iii101-cadangan-batubara.html>. Cadangan Batubara Indonesia (Diakses tanggal 7 Juni 2008)
- [3] Anonim. <http://www.beritaiptek.com/zberita-beritaiptek-2005-11-21-Briket-Batubara-Sebagai-Alternatif-Pengganti-Minyak-Tanah.shtml>. Briket Batubara sebagai Alternatif Pengganti Minyak Tanah (Diakses tanggal 7 Juni 2008)
- [4] G. L. Borman, K. W. Ragland, *Combustion Engineering* (WCB McGraw-Hill, 1998), pp 459-475
- [5] I, Esquiva-Dano, H. T. Nguyen, D. Escudie (2001) *Influence of a Bluff-Body's Shape on The Stabilization Regime of Non-Premixed Flame*, *Combustion and Flame* 127, pp 2167-2180
<http://www.Elsevier.com/locate/fuproc>
- [6] N. E. Altun, C. Hicyilmaz, A. S. Bagci (2004) *Influence of coal briquette size on the combustion kinetics*, *Fuel Processing Technology*, vol. 85, pp 1345-1357
<http://www.Elsevier.com/locate/fuproc>
- [7] Ir. Dijan Supramono, M.Sc., Frengky Hasibuan. “*Peningkatan Kualitas Penyalaan Briket Batubara Melalui Penambahan Oksidator.*” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006
- [8] Ir. Dijan Supramono, M.Sc, Ratna Suminar. “ *Pengaruh Variasi Loading dan Bentuk Briket Promotor terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara.* ” Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007
- [9] Ir. Dijan Supramono, M.Sc, Sandra Dwi Sari. “*Efek Kecepatan Superfisial Udara Pembakaran dan Tinggi Chimney Terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara.* ” Skripsi. Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007
- [10] Williams, A, Pourkashanian, M, Jones, J.M. *Combustion and Gasification of Coal*. Department of Fuel and Energy, Leeds, UK, Edited by N. Skorupska. Copyright #2000 Taylor & Francis.
- [11] R. A, Koestoer, et al, *Studi Tentang Batubara Indonesia: Potensi, Teknologi, dan Prospek Pemanfaatannya* (Depok: Laboratorium Perpindahan Kalor FTUI, 1997)

- [12] W. Bartok, A. F. Sarofim, *Fossil fuel Combustion: A source Book* (Wiley-Interscience, 1991)
- [13] M. J. Blesa, *et al* (2001) *Effect of the Pyrolysis Process on the Physicochemical and Mechanical Properties Smokeless Fuel Briquettes*, *Fuel Processing Technology* 74, pp. 1-17 <http://www.Elsevier.com/locate/fuproc>
- [14] P. R. Solomon, *et al*, *Energy Fuels* (1990), vol. 4 pp.319
- [15] G. H. Grondhovid, *et al*, *Low Rank Coal Technology. Lignite and Subbituminous* (1982), NDC 192
- [16] H. Wang, B. Z. Duglogorski, E. M. Kennedy (2003) *Coal Oxidation at Low Temperatures: Oxygen Consumption. Oxidation Products, Reaction Mechanism and Kinetic Modelling. Progress in Energy and Combustion Science* 29, Pp. 487-513
<http://www.Elsevier.com/locate/pesc>
- [17] S. R. Turns, *An Introduction to Combustion, Concepts and Applications*, (McGrawHill, 2000)
- [18] A. B. Ayling, I. W. Smith (1972) *Measured Temperatures of Burning Pulverized-Fuel Particles, and The Nature of The Primary Reaction Product. Combustion and Flame*, vol. 18, pp. 173-184
<http://www.Elsevier.com/locate/fuproc>
- [19] Anonim.
<http://www.esdm.go.id/itjen/jdih/pdf/pertambangan/permenesdm472006.htm>.
(Diakses tanggal 9 Juni 2008)
- [20] L. Balia, (1996). <http://www.esdm.go.id>. *Penelitian dan pengembangan briket batubara di Indonesia*. Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI.
- [21] Anonim. <http://www.aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0215.shtml>. (Diakses tanggal 10 Juni 2008)
- [22] Anonim. <https://www.msu.edu/~ormisto/>. (Diakses tanggal 10 Juni 2008)
- [23] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, *Fundamentals of Fluid Mechanics*. (Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1998).