



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN EMISI CO PADA KOMPOR BRIKET
BATUBARA MENGGUNAKAN *DOWNJET*
KECEPATAN RENDAH**

SKRIPSI

**ATIKA LYSTIA
0606043042**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGURANGAN EMISI CO PADA KOMPOR BRIKET
BATUBARA MENGGUNAKAN *DOWNJET*
KECEPATAN RENDAH**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

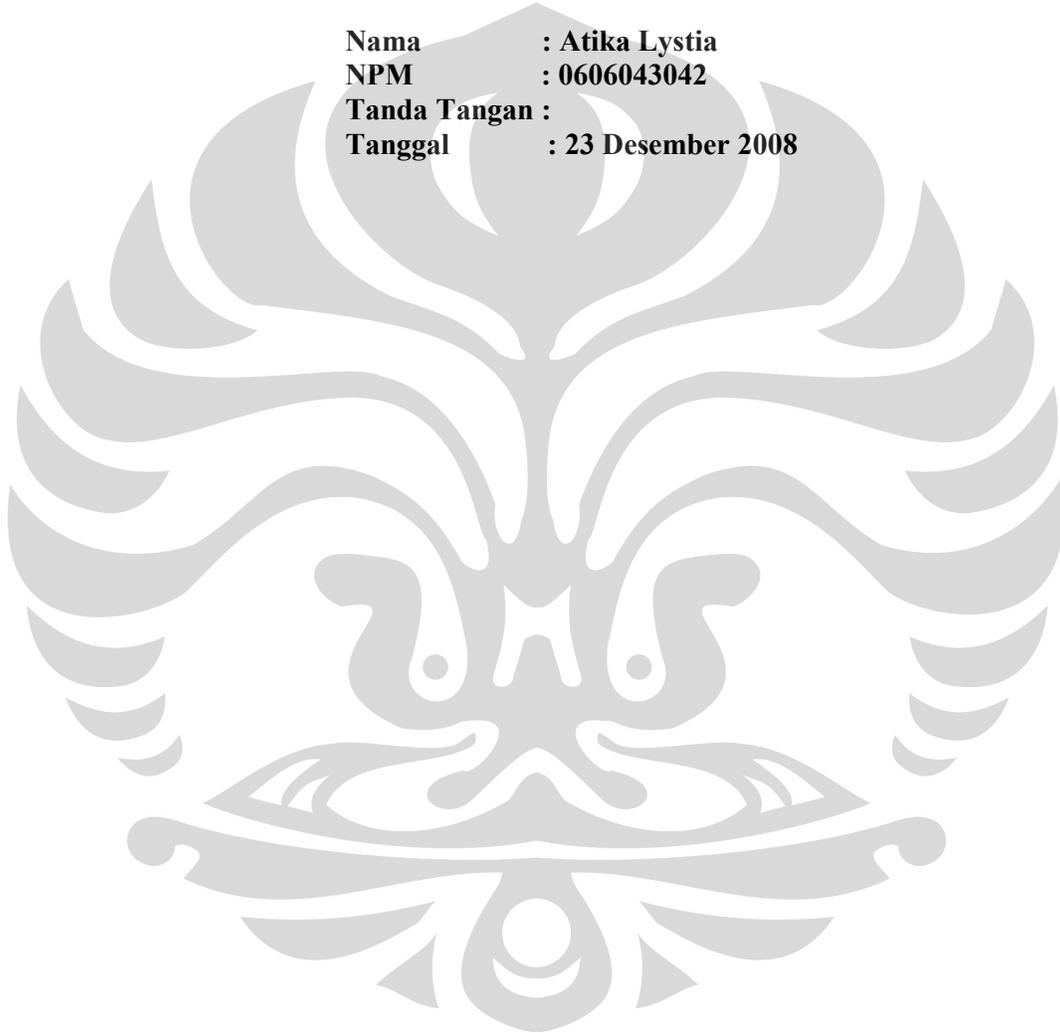
**ATIKA LYSTIA
0606043042**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Atika Lystia
NPM : 0606043042
Tanda Tangan :
Tanggal : 23 Desember 2008**



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Atika Lystia

NPM : 0606043042

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket
Batubara Menggunakan Downjet Kecepatan
Rendah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dijan Supramono, MSc

Penguji : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., PhD

Penguji : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi dengan judul “**Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara Menggunakan *Downjet* Kecepatan Rendah**”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan dan dorongan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada yang terhormat:

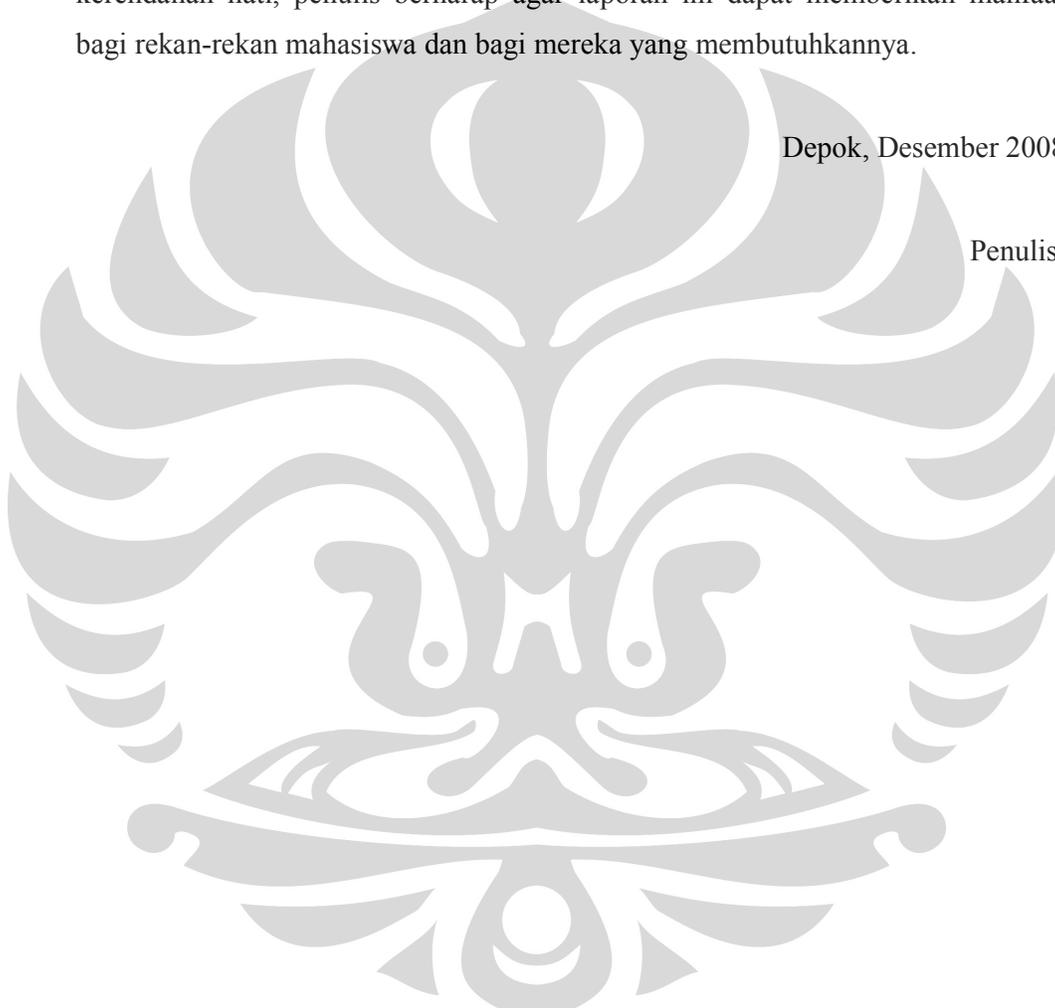
1. Bapak Ir. Dijan Supramono, MSc, selaku dosen pembimbing penelitian dan skripsi, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dalam pengambilan data dan penyusunan makalah skripsi.
2. Bapak Prof.Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA, selaku kepala Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Setiadi, M.Eng, selaku koordinator mata kuliah skripsi.
4. Bapak Bambang Heru,ST selaku Pembimbing Akademis.
5. Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo, Msc.,PhD selaku dewan penguji dan membantu dalam perbaikan laporan.
6. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT selaku dewan penguji dan membantu dalam perbaikan laporan
7. Dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah memberikan ilmu.
8. Papa, Mama, kak Dini, Givanni, dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral, material serta doa.
9. Silvi, Sapur, Dewi, Edyos sebagai rekan satu riset group yang menemani proses pengambilan data dan pembuatan laporan.
10. Rina, Tari, Riyan, Ino, Dinan, Cepi, Ijul, Madun, Eki, Tri, Ludi, Sahabat Teknik kimia Ekstensi UI angkatan 2006 yang telah melewati hari-hari kuliah bersama.
11. Dodi Akbar Cahyana, Ikram, Nisa, Anggi, Dora, Ruri, Linda, dan teman-teman POLBAN 2002.

12. Bang Ijal, Bang Jajat dan seluruh staf Departemen Teknik Kimia UI
13. Mba Adek, mba Astri, mba Ida, Trisna, dan teman-teman kosan kutek.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi tercapainya kesempurnaan dari makalah ini. Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis berharap agar laporan ini dapat memberikan manfaat bagi rekan-rekan mahasiswa dan bagi mereka yang membutuhkannya.

Depok, Desember 2008

Penulis,



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Atika Lystia
NPM : 0606043042
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara
Menggunakan *Downjet* Kecepatan Rendah

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pengkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 23 Desember 2008

Yang menyatakan


(Atika Lystia)

ABSTRAK

Nama : Atika Lystia
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara Menggunakan *Downjet* kecepatan Rendah

Masalah umum pada pembakaran di kompor briket adalah emisi karbon monoksida yang tinggi. Konversi CO ke CO₂ adalah cara untuk memecahkan masalah. *Downjet* yang ditempatkan di atas unggun briket akan mengalirkan jet secara tegak lurus ke arah permukaan briket. Dengan ini diharapkan terjadi resirkulasi di area *chimney* (area di dalam kompor pada atas unggun briket). Aliran jet memiliki tekanan yang lebih tinggi dari fluida di sekitarnya sehingga akan menyebabkan gas buang bersirkulasi kembali. Hal ini akan memberikan waktu tinggal yang lebih lama sehingga memungkinkan CO terkonversi menjadi CO₂. Dua parameter yang telah divariasikan yaitu tinggi *downjet* (15 cm; 20 cm; 25 cm) dan kecepatan *updraft* (0,3 m/s; 0,5 m/s; 0,7 m/s). Pada ketinggian *downjet* 15 cm dan 20 cm, variasi kecepatan *updraft* kurang berpengaruh terhadap emisi CO. Di sisi lain pada ketinggian *downjet* 25 cm, semakin tinggi kecepatan *updraft* maka semakin tinggi emisi CO. Kondisi optimal yang diperoleh dari penelitian adalah pada ketinggian *downjet* 20 cm dan kecepatan *updraft* 0,5 m/s dengan emisi CO rata-rata adalah 29,35 ppm.

Kata kunci : *downjet*, kecepatan, *updraft*, emisi CO, turbulensi

ABSTRACT

Name : Atika Lystia
Program Studi : Chemical Engineering
Title : Reduction of CO Emission in Coal Briquette Stoves
Using LowVelocity Downjet

The most common problem in combustion of briquette stove is high emission of carbon monoxide. Conversion of CO to CO₂ is one way to solve this problem. A downjet which was placed above the briquette bed delivered jet vertically towards the bed surface. By doing this, a recirculation of fluid was expected to occur in the chimney region (region above the briquette bed inside the stove). The jet has pressure lower than that of the surrounding fluid, which initiates the recirculation of the flue gas. This allows the flue gas to have longer residence time thus enabling CO to convert into CO₂. Two parameter have varied example downjet height (15 cm; 20 cm; 25 cm) and updraft velocity (0.3 m/s; 0.5 m/s; 0.7 m/s). At the downjet heights of 15 and 20 cm, the updraft velocity hardly influences the the CO emission. On the other hand the height of 25 cm, the higher the updraft velocity, the higher CO emission. Optimal condition was found at experiment using the downjet height at 20 cm and updraft velocity of 0.5 m/s with average CO emission of 29.35 ppm.

Keyword : downjet, updraft velocity, CO emission, turbulence

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Batubara	4
2.2 Briket	5
2.3 Tungku Briket Batubara	5
2.4 Pembakaran Briket	7
2.5 Emisi Pembakaran	8
2.5.1 Efek Karbon Monoksida terhadap Kesehatan	8
2.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Penurunan Emisi CO	10
2.6 Penelitian Sebelumnya	11
2.6.1 Penelitian Afif Mauliana (2008)	11
2.6.2 Penelitian Yessay Setiawan (2008)	12
2.6.3 Penelitian Dian Nurlita (2007)	12
2.6.4 Perbaikan dari Penelitian Sebelumnya	12
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13

3.1 Metode yang Digunakan	13
3.2 Diagram Alir Penelitian	14
3.3 Presparasi Briket	16
3.3.1 Briket Pemasakan	16
3.3.2 Briket Promotor	16
3.3.3 Alat-alat Pembuatan Briket	17
3.3.4 Prosedur Pembuatan Briket Promotor	17
3.4 Kompor Briket	16
3.5 Instrumentasi Pengukuran	19
3.5.1 Termokopel	17
3.5.2 <i>Gas Analyzer</i>	17
3.6 Prosedur Percobaan	21
3.6.1 Kalibrasi Alat Instrumen	21
3.6.2 Proses Pembakaran	22
3.7 Pengambilan Data	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	25
4.2 Variasi Kecepatan <i>Updraft</i>	26
4.2.1 Ketinggian Downjwjt 15 cm	27
4.2.2 Ketinggian Downjjet 20 cm	30
4.2.3 Ketinggian Downjjet 25 cm	34
4.3 Variasi Ketinggian <i>Downjet</i>	38
4.3.1. Kecepatan <i>Updraft</i> 0,7 m/s	38
4.3.2. Kecepatan <i>Updraft</i> 0,5 m/s	39
4.3.3. Kecepatan <i>Updraft</i> 0,3 m/s	40
BAB 5 KESIMPULAN	41
DAFTAR PUSTAKA	xiii
LAMPIRAN	xv

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Karakteristik Batubara	4
Gambar 2.2	Bentuk Briket	5
Gambar 2.3	Skematis Aliran Udara pada Kompor Briket	6
Gambar 2.4	Kompor Briket di Pasaran	7
Gambar 2.5	Pengaruh Suplai Udara terhadap Konsentrasi CO	8
Gambar 2.6	Efek Terpaparnya Emisi CO Pada Kesehatan	10
Gambar 3.1	Proses <i>Entrainment</i>	13
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3.3	Alat Cetakan Briket Promotor	17
Gambar 3.4	Alat Penekan Hidraulik yang Digunakan	18
Gambar 3.5	Briket Promotor Bola dengan 40% <i>Dimples</i>	18
Gambar 3.6	Kompor Briket yang Digunakan	18
Gambar 3.7	Quintox Gas Analyzer	19
Gambar 3.8	Skema Pengambilan Sampel Emisi	20
Gambar 3.9	Cara Kalibrasi Kecepatan <i>Forced Draft</i>	22
Gambar 3.10	Skema Peralatan Penelitian	22
Gambar 3.11	Susunan Briket pada kompor	23
Gambar 3.12	Pembakaran Promotor	23
Gambar 4.1	Skema Aliran Udara yang Digunakan	25
Gambar 4.2	Pembakaran pada Ketinggian <i>Downjet</i> 15 cm	27
Gambar 4.3	Temperatur Unggun pada Ketinggian <i>Downjet</i> 15 cm	28
Gambar 4.4	Temperatur <i>Chimney</i> pada Ketinggian <i>Downjet</i> 15 cm	28
Gambar 4.5	Efek Ketinggian <i>Downjet</i> 15 cm terhadap Konsentrasi CO	29
Gambar 4.6	Pembakaran pada Ketinggian <i>Downjet</i> 20 cm	31
Gambar 4.7	Temperatur Unggun pada Ketinggian <i>Downjet</i> 20 cm	31
Gambar 4.8	Temperatur <i>Chimney</i> pada Ketinggian <i>Downjet</i> 20 cm	32
Gambar 4.9	Efek Ketinggian <i>Downjet</i> 20 cm terhadap Konsentrasi CO	32
Gambar 4.10	Pembakaran pada Ketinggian <i>Downjet</i> 25 cm	34
Gambar 4.11	Temperatur Unggun pada Ketinggian <i>Downjet</i> 25 cm	35
Gambar 4.12	Temperatur <i>Chimney</i> pada Ketinggian <i>Downjet</i> 25 cm	35
Gambar 4.13	Efek Ketinggian <i>Downjet</i> 25 cm terhadap Konsentrasi CO	36
Gambar 4.14	Pembakaran pada Ketinggian <i>Downjet</i> 25 cm dan Kecepatan <i>Updraft</i> 0.3 m/s.	38
Gambar 4.15	Pembakaran pada kecepatan <i>Updraft</i> 0,7 m/s	39
Gambar 4.16	Pembakaran pada kecepatan <i>Updraft</i> 0,5 m/s	39
Gambar 4.17	Pembakaran pada kecepatan <i>Updraft</i> 0,3 m/s	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Nilai Emisi Rata-rata Bahan Bakar	4
Tabel 2.1	Pengaruh Konsentrasi CO pada Kesehatan Manusia.....	9
Tabel 3.1	Pengambilan Data Penelitian	24
Tabel 4.1	Data pada Ketinggian Downjet 15 cm.....	29
Tabel 4.2	Data pada Ketinggian Downjet 20 cm.....	33
Tabel 4.3	Data pada Ketinggian Downjet 25 cm.....	37



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Ketersediaan sumber bahan bakar fosil yang semakin berkurang menyebabkan perlu adanya sumber energi alternatif, misalnya batubara. Prospek batubara di dunia sangat baik. Pada laporan tahun 2006 British Petroleum memperkirakan pada akhir 2005, terdapat 909.064 juta ton cadangan batubara dunia. Batubara di Indonesia memiliki cadangan yang cukup banyak, yaitu sebesar 6.759 juta ton. Sumatera Selatan (39,64%), Kalimantan Timur (30,65%) dan Kalimantan Selatan (27,64%) merupakan daerah terbesar terdapatnya batubara. Di tahun 2005, dari 149,67 juta ton batubara yang diproduksi, sebanyak 36,80 juta ton digunakan didalam 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 (Setiawan, 1996).

Permasalahan utama batubara adalah emisi pembakarannya. Bila dibandingkan emisi hasil pembakaran dari kompor gas, kompor minyak tanah, dan kompor briket, didapatkan bahwa kompor gas memiliki nilai karbon monoksida per energi pembakaran adalah yang paling rendah sedangkan nilai karbon monoksida per energi pembakaran pada kompor briket paling besar. Tabel 1.1 menjelaskan perbandingan nilai emisi pada berbagai bahan bakar.

Tabel 1.1 Nilai Emisi Rata-rata Bahan Bakar

Bahan Bakar	CO ₂ (gram)	CO (gram)	CH ₄ (gram)	NO _x (gram)	SO ₂ (gram)
Kayu	1,52.10 ³	5,06	5,06	1,19	8,21.10 ⁻³
Batubara	2,28 . 10 ³	71,3	2,92	0,914	2,67
Minyak Tanah	3,13 . 10 ³	7,39	2,48.10 ⁻²	1,10	2,49.10 ⁻²
Gas	2,98.10 ³	3,72	1,37.10 ⁻¹	1,76	3,30.10 ⁻¹

Keterangan : dalam 1 kg bahan bakar

Sumber : Jurnal J. Zhang (1999)

Emisi pembakaran batubara mengandung NO_x, CO, SO_x, NO_x, hidrokarbon, partikulat, dan abu yang akan berdampak langsung terhadap kesehatan manusia. Penelitian dan studi yang dilakukan di laboratorium peneliti

menemukan bahwa kompor briket batubara saat ini, masih menghasilkan emisi CO yang sangat tinggi, dengan besaran kelipatan 100 ppm, yang dapat mencapai 100 sampai 700 ppm (Wibowo dan Supramono, 2007). Menurut Surat Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Indonesia SE-01-MENAKERTRANS/1997, nilai ambang batas untuk emisi CO di tempat kerja adalah sebesar 25 mg/Nm^3 atau 25 ppm.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Masalah yang akan dibahas yaitu mengenai pengurangan emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari pembakaran briket batubara. Dilakukan variasi kecepatan *forced draft* dan variasi tinggi downjet untuk memperoleh kecepatan dan tinggi chimney yang optimum untuk mencapai emisi CO yang minimum.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penulisan ini dimaksudkan untuk memperoleh emisi CO yang serendah-rendahnya dengan memperpanjang waktu tinggal gas pembakaran.

1.4 BATASAN MASALAH

Ruang lingkup dalam penulisan ini adalah:

1. Menggunakan kecepatan downjet yang tetap yaitu 0,3 m/s
2. Menvariasikan kecepatan *forced draft* tidak lebih dari 0,7 m/s.
3. Memvariasikan ketinggian downjet mengikuti variasi ketinggian kisi sebagai penyangga unggun briket yang telah ada pada rancangan kompor
4. Briket yang digunakan adalah briket batubara yang diproduksi oleh PT Bukit Asam.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai efek CO terhadap kesehatan, faktor-faktor yang menentukan penurunan emisi CO, hasil yang telah dicapai oleh peneliti sebelumnya, dan perbaikan yang akan dilakukan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

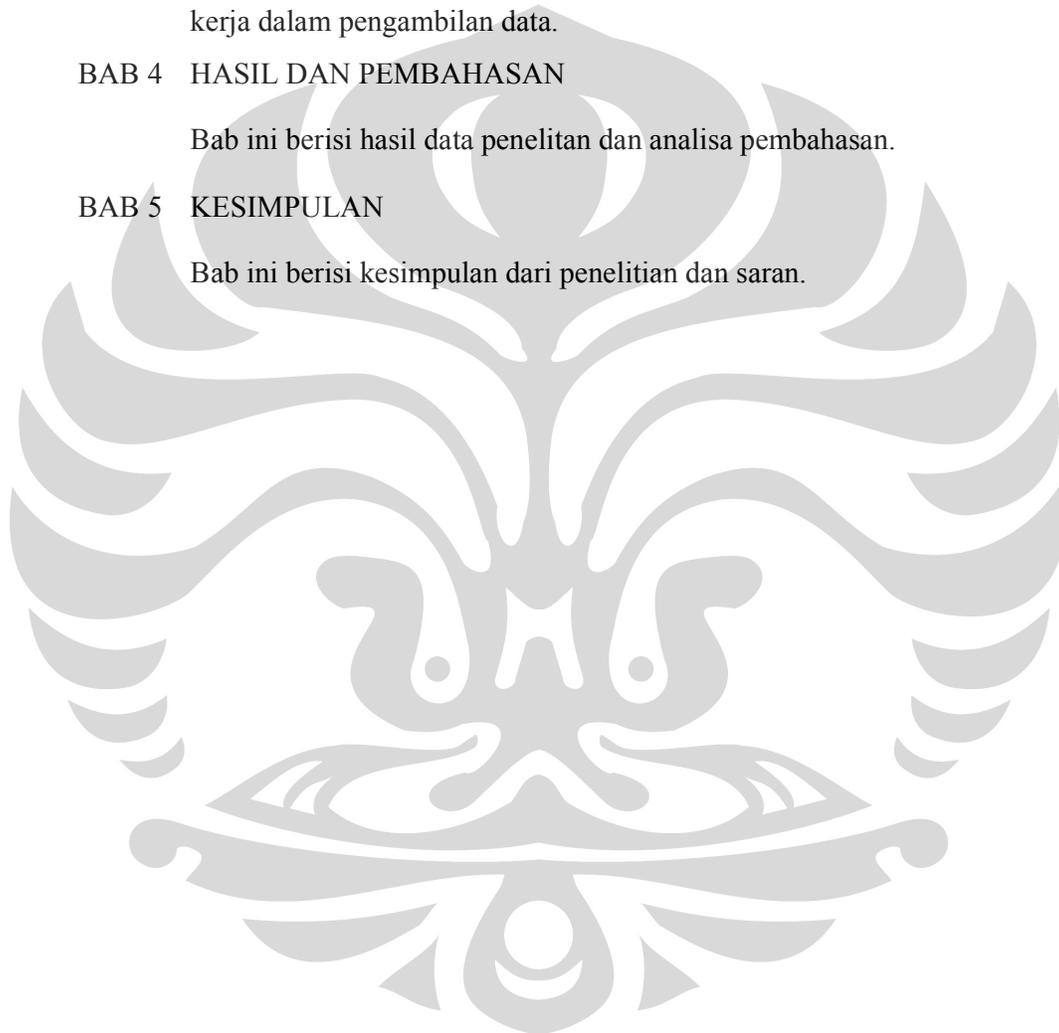
Bab ini berisi metode penelitian yang digunakan, alat dan bahan, langkah kerja dalam pengambilan data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil data penelitian dan analisa pembahasan.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian dan saran.



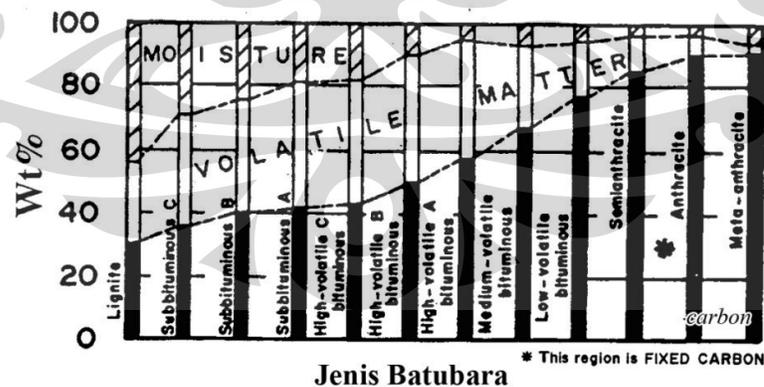
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batubara

Batubara merupakan salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik dari sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Komponen batubara terdiri dari:

- 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*) dan air yang terdapat pada permukaannya (*free moisture*).

Proporsi antara ketiga komponen tersebut berbeda-beda tergantung dari jenis batubaranya. Gambar 2.1 menunjukkan karakteristik batubara pada umumnya (tanpa memperhitungkan kandungan abu).



Sumber : Bartok, W. & Sarofim, A. F., 1991

Gambar 2.1 Karakteristik Batubara

2.2 Briket

Briket batubara adalah bahan bakar padat dengan bentuk dan ukuran tertentu, yang tersusun dari butiran batubara halus yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu, agar bahan bakar tersebut lebih mudah ditangani dan menghasilkan nilai tambah dalam pemanfaatannya (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2005). Gambar 2.2 adalah contoh bentuk briket batubara yang tersedia di pasaran, yaitu bentuk telur, bantal dan sarang lebah. Bentuk briket yang beragam ini disesuaikan dengan kebutuhan.



(a). Briket bentuk telur (b). Briket bentuk bantal (c). Briket bentuk sarang lebah

Sumber : Puslitbang Tekmira

Gambar 2.2 Bentuk Briket

Kualitas briket batubara yang baik memenuhi beberapa syarat sebagai berikut (Puslitbang, 2001) :

1. Mudah dinyalakan
2. Tidak mengeluarkan asap dan bau yang berlebihan pada saat dinyalakan.
3. Kuat dan tidak mudah pecah.
4. Kedap air dan tidak berjamur jika disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama.
5. Kandungan abu rendah.
6. Harga dapat bersaing dengan bahan bakar lain.

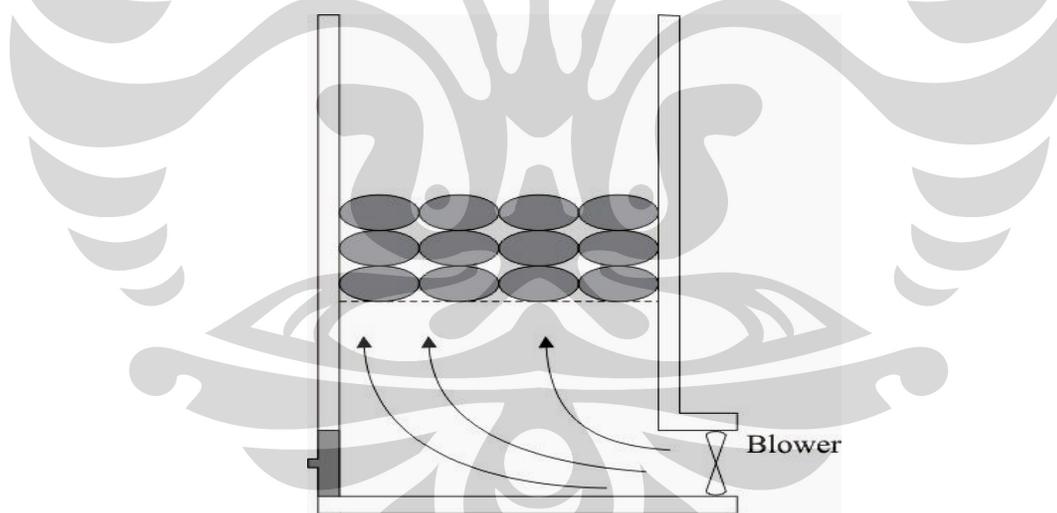
2.3 Tungku Briket Batubara

Rancangan briket terbaru dimodifikasi dengan memasang *blower* di bagian pemasukan udara sehingga terjadi aliran udara secara *forced updraft* untuk menjamin kecukupan penyediaan udara untuk pembakaran (Balía, 1996). Gambar 2.3 menggambarkan secara skematis aliran udara dari dasar kompor ke unggun

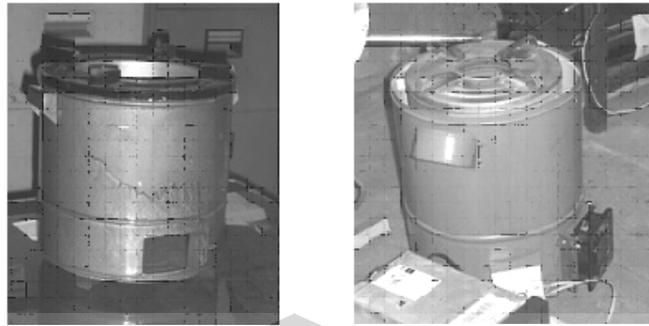
briket. Blower pada bagian bawah berfungsi sebagai suplai udara *forced draft* untuk mempercepat proses penyalaan api. Gambar 2.4 menggambarkan kompor briket yang dijual di pasaran dimana tersedia dalam dua pilihan yaitu menggunakan blower pada bagian bawah dan yang tidak menggunakan blower.

Kinerja pembakaran pada tungku ditentukan oleh faktor waktu, suhu, dan kualitas udara pembakaran. Kompor briket yang baik harus memenuhi syarat sebagai berikut (Puslitbang, 2001) :

1. Dinding ruang pembakaran terbuat dari bahan (bata/semen) tahan api atau campuran bahan yang tahan panas ($>900^{\circ}\text{C}$) yang mampu menahan perambatan panas yang keluar dari ruang pembakaran.
2. Memiliki kisi untuk menahan briket dan meloloskan abu.
3. Pintu udara untuk mengatur sirkulasi udara terletak di bagian bawah kompor dan dapat dibuka atau ditutup untuk mengatur besar kecilnya bara dari briket.
4. Rangka kompor harus kuat untuk menahan beban dan perubahan panas.



Gambar 2.3 Skematis Aliran Udara pada Kompor Briket



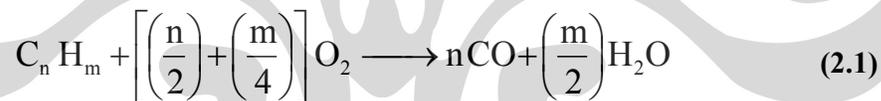
(a). Tanpa Blower

(b). Dengan Blower

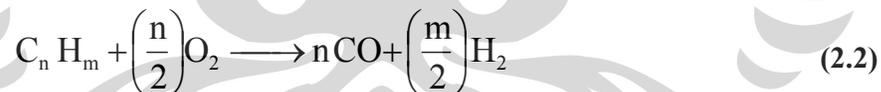
Gambar 2.4 Kompor Briket di Pasaran

2.4 Pembakaran Briket

Proses pembakaran dari briket *non-carbonized* pada prinsipnya melibatkan reaksi simultan dari oksigen (udara) dan hidrokarbon yang terkandung dalam zat *volatile* dan reaksi oksigen dengan carbon batubara. Dalam reaksi yang melibatkan zat *volatile*, gas CO dihasilkan menurut reaksi berikut (Thurgood and Smoot, 1979) :



Atau



Reaksi kelanjutan ialah reaksi oksidasi CO, menurut reaksi :



(Makino, 1992)

Atau



(Fendell, F.E., 1967)

Reaksi (2.3) dan (2.4) adalah reaksi pengendali karena laju reaksi reaksi tersebut lebih lambat daripada reaksi (2.1) dan (2.2) kecuali reaksi (2.3) terjadi pada temperatur yang sangat tinggi. Penghilangan CO tergantung dari laju reaksi

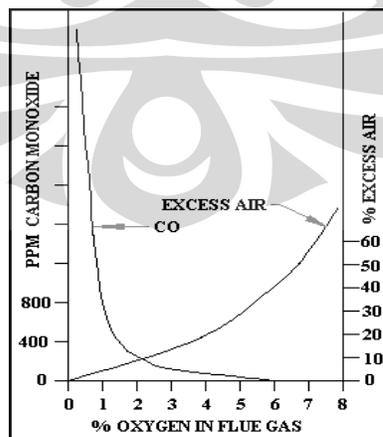
dari reaksi (2.3) dan (2.4) dan kondisi yang menunjang terjadinya reaksi tersebut. Menurut *Beck and Hayhurst* (1990), reaksi ini memerlukan kondisi yang kaya oksigen untuk meningkatkan konversi menjadi CO₂.

Untuk reaksi yang melibatkan carbon dan oksigen, *Makino* (1992) mengajukan reaksi-reaksi dipermukaan karbon sebagai berikut :



Gas CO merupakan produk utama dari reaksi oksidasi karbon, dan CO kemudian teroksidasi dalam fasa gas saat meninggalkan permukaan briket batubara (*Ayling and Smith*, 1972). Selain emisi CO dan CO₂, pembakaran batubara akan menghasilkan NO_x, sulfur dioxide (SO₂), Sulfur Trioxide (SO₃) dan partikel.

Proses pembakaran dipengaruhi oleh lamanya proses pembakaran, temperatur dan turbulensi. Semakin banyak suplai udara yang diberikan maka akan semakin banyak carbon yang akan bereaksi dengan oksigen. Turbulensi menyebabkan terjadinya efek pengadukan pada ruang pembakaran. Semakin besar pengadukan akan menyebabkan kontak antara udara dengan bahan bakar semakin besar sehingga akan menaikkan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi. Namun suplai udara yang berlebih akan menyebabkan kehilangan panas pada reaksi pembakaran (*Michael Biarnes, E Instruments Group LLC*).



(sumber : www.einstrument.com)

Gambar 2.5 Pengaruh Suplai Udara terhadap Konsentrasi CO

2.5 Emisi Pembakaran

2.5.1 Efek Karbon Monoksida terhadap Kesehatan

Karbon monoksida (CO) merupakan emisi dari pembakaran briket batubara. Surat Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Indonesia SE-01-MENAKERTRANS/1997 menetapkan nilai ambang batas untuk emisi CO di tempat kerja adalah sebesar 25 mg/Nm^3 atau 25 ppm.

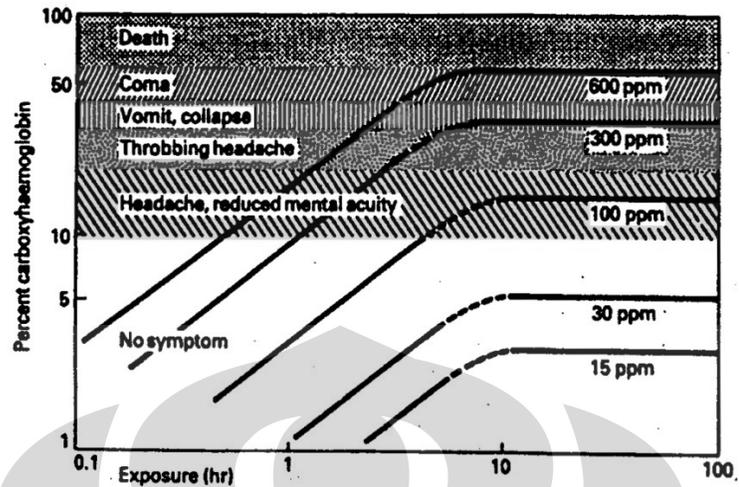
Gas CO adalah gas yang tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa dan berbahaya bila pada konsentrasi tinggi. Gas CO yang mempunyai daya ikat 200-240 kali dibandingkan dengan daya ikat oksigen terhadap butir darah merah, bila tubuh terpapar cukup lama dan dalam jumlah besar dapat menghambat masuknya gas oksigen ke dalam jaringan tubuh secara kompetitif (Behera, 1988; Behera, 1991). Tabel 2.1 menjelaskan pengaruh CO terhadap kesehatan. Terpapar gas CO pada konsentrasi 100 ppm selama 6 jam mulai menyebabkan sakit kepala.

Tabel 2.1 Pengaruh konsentrasi CO pada kesehatan Manusia

Persen CO dalam Hemaglobin	Efek Terhadap Kesehatan
0-10%	Belum menyebabkan gejala penyakit
10-20%	Sakit Kepala ringan dan pusing
20-30%	Sakit kepala, gangguan penglihatan
30-40%	Pingsan
40-50%	Pingsan & kejang
50-60%	Koma
60-70%	Meninggal setelah 2 jam
80-90%	Meninggal sebelum 1 jam
90-100%	Meninggal seketika

Sumber: Leigh Smith S, Wilderness and Environmental Medicine 2004

Gambar 2.6 menjelaskan bahaya gas CO jika terpapar pada waktu tertentu. Bahaya yang paling fatal adalah kematian dalam waktu 6 jam jika terpapar CO pada konsentrasi 600 ppm.



Sumber : Turns, edisi 1 halaman 474

Gambar 2.6 Efek Terpaparnya Emisi CO Pada Kesehatan

2.5.2 Faktor yang Mempengaruhi Penurunan Emisi CO

Emisi CO dapat diturunkan dengan cara konversi CO menjadi CO_2 , ada 3 persyaratan yang harus dipenuhi yaitu waktu tinggal (*residence time*) yang cukup untuk konversi CO menjadi CO_2 , *supply* oksigen yang cukup untuk reaksi oksidasi dan temperatur yang tinggi untuk meningkatkan laju reaksi.

Peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju reaksi sehingga laju reaksi pada reaksi konversi CO menjadi CO_2 meningkat. Temperatur pembakaran yang dicapai oleh bahan bakar gas dan cair adalah 1500°C , sedangkan temperatur tertinggi yang dapat dicapai dari proses pembakaran briket sekitar 700°C sebagai akibat penyerapan panas oleh kapasitas panas yang tinggi dari briket batubara (Balia, 1996). Oksigen berlebih menyebabkan terjadinya penurunan temperatur di daerah ini dan oksidasi parsial terjadi. Produk dari reaksi oksidasi parsial ini merupakan persenyawaan oksigen (*oxygenated compounds*) seperti $-\text{CH}_2\text{O}$, $-\text{CHO}$ dan gas CO (Turns, 2000). Oleh karena itu, pembakaran briket batubara memerlukan waktu tinggal yang lebih lama untuk mencapai konversi yang tinggi dari reaksi CO menjadi CO_2 . Waktu tinggal yang lama memberikan waktu CO kontak dengan O_2 lebih lama.

Reaksi oksigen dengan batubara menghasilkan gas CO, dimana jika bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan CO_2 . Waters et al (1998) mengatakan bahwa pembentukan CO_2 terjadi dalam fasa gas dengan kinetika terbatas. Rasio

CO menjadi CO₂ tergantung dari temperatur partikel. Zeng and Fu (1996) telah membandingkan data pada beberapa batubara dan menemukan bahwa rasio molar reaksi CO dan CO₂ pada sekitar permukaan batubara adalah:

$$[\text{CO}]/[\text{CO}_2] = 600(\rho_s X_{\text{O}_2,s})^{0.24} \exp(-8000/T_p) \quad (2.8)$$

Dimana $X_{0,5}$ adalah fraksi masa dari oksigen pada permukaan partikel arang, T_p adalah temperatur partikel, dan ρ_s adalah densitas arang. Persamaan (2.8) menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur partikel dan konsentrasi oksigen akan menghasilkan rasio molar CO menjadi CO₂ yang semakin besar, ini memberikan CO *yield* yang lebih besar. Semakin tinggi konversi arang dari CO menjadi CO₂ maka semakin banyak arang yang terbakar.

Reaksi CO dengan oksigen membentuk CO₂, menurut Smoot (1991) mempunyai persamaan reaksi:

$$\frac{d[\text{CO}]}{dt} = \left\{ -10^{14.6} \exp\left(-\frac{40,000}{RT_g}\right) \right\} [\text{CO}]^{1.0} [\text{O}_2]^{0.25} [\text{H}_2\text{O}]^{0.50} \quad (2.9)$$

Dimana R merupakan konstanta gas dan T_g adalah temperatur gas dalam Kelvin. Uap air berfungsi sebagai katalis untuk reaksi homogenasi dari CO-O₂. Pada persamaan (2.9) menunjukkan konversi CO menjadi CO₂ akan menjadi lebih tinggi jika temperatur reaksi dan konsentrasi oksigen lebih tinggi. Konversi yang lebih tinggi akan mengurangi emisi CO dan meningkatkan panas reaksi.

2.6 PENELITIAN SEBELUMNYA

2.6.1 Afif Mauliana (2008)

Penelitian Afif Mauliana (2008) dengan laju alir udara *forced draft* 0,7 m/s dan *downjet* 0,4 m/s dilakukan variasi ketinggian *downjet*, yaitu pada 5, 15, dan 20 cm. Kesimpulan penelitian adalah:

- Semakin tinggi *downjet* (20 cm) maka dihasilkan emisi CO yang terendah
- Semakin tinggi *downjet* (20 cm) maka semakin tinggi temperatur pembakaran yang dicapai.

2.6.2 Yesay Setiawan (2008)

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan *downjet* 0,335 m/s , 0,423 m/s dan 0,490 m/s dengan kecepatan *updraft* selama percobaan tetap yaitu sebesar 0,7 m/s. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah kondisi optimal yang dapat mencapai konsentrasi CO terendah adalah kecepatan *downjet* 0,423 m/s (55 Hz) dan kecepatan *updraft* 0,7 m/s pada ketinggian *chimney* 20 cm. Saran dari penelitian tersebut adalah menggunakan kecepatan *updraft* di bawah 0,7 m/s untuk menghindari efek pendinginan.

2.6.3 Dian Nurlita Kusuma (2007)

Penelitian Dian Nurlita Kusuma (2007) menggunakan *natural draft* pada suplai udara bagian bawah. Blower hanya digunakan sebagai aliran *downjet*. Variasi yang dilakukan adalah jarak *chimney* dan jarak ketinggian *downjet*, yaitu 5,10,15 dan 20 cm. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah:

- Semakin dalam *chimney* memberikan efek waktu ignisi lebih cepat, emisi CO rendah saat mencapai temperatur maksimum namun segera melonjak naik saat suplai oksigen kurang
- .Lebih jauh jarak *downjet* memberikan efek waktu ignisi lebih lama, temperatur maksimum lebih tinggi dan emisi CO lebih rendah.

2.6.4 Perbaikan dari Penelitian Sebelumnya

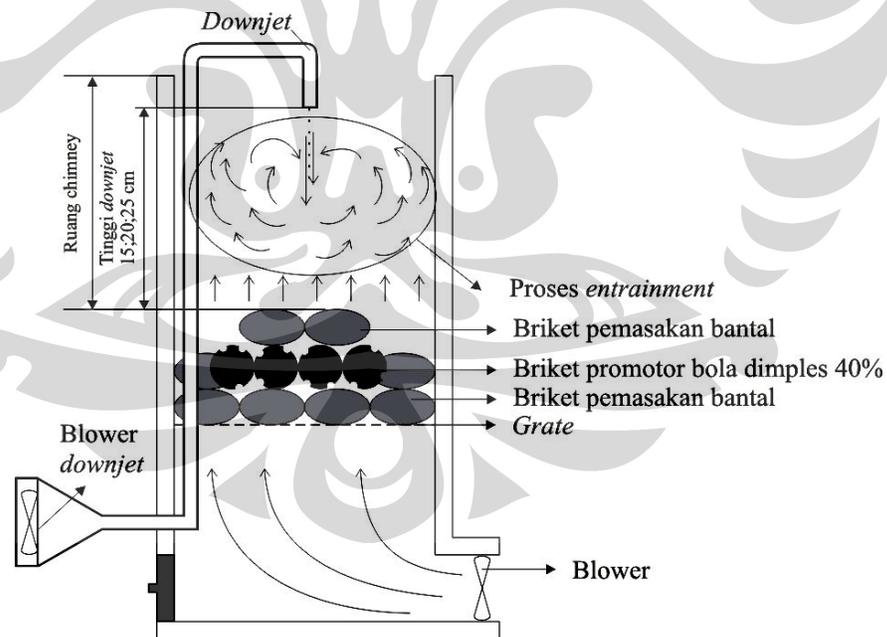
Penelitian ini akan menggunakan dua blower sebagai suplai *forced draft* dan suplai aliran *downjet*. Blower pada *forced draft* tetap menggunakan blower berukuran 10 cm. Variasi kecepatan *updraft* yang digunakan tidak lebih besar dari 0,7 m/s. Blower pada bagian *downjet* akan diganti menjadi berdiameter 8 cm agar kecepatan *downjet* dapat disetel menjadi 0,3 m/s.

Suplai udara dijalankan bergantian, pada awal pembakaran digunakan *forced draft* dan ketika pembakaran mencapai temperatur maksimum blower dimatikan. *Downjet* di alirkan setelah suplai udara *forced draft*. Hal ini bertujuan untuk menghindari efek *quenching* atau kehilangan kalor pembakaran karena suplai udara berlebih.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode yang Digunakan

Penelitian bertujuan untuk menurunkan emisi CO pada pembakaran briket di kompor briket batubara yaitu dengan meningkatkan konversi CO menjadi CO₂. Kompor briket dilengkapi dengan blower di bagian bawah untuk mengalirkan udara *forced draft*. Pada bagian atas kompor dipasang *downjet* yang menyalurkan *jet* udara secara vertikal ke ruang di atas unggun briket, yang disebut *chimney*. Tekanan udara pada aliran *downjet* memiliki tekanan yang rendah sehingga gas hasil pembakaran akan tersedot ke arah jet tersebut, proses ini disebut *entrainment*. Gambar 3.1 menunjukkan proses *entrainment* pada kompor yang menggunakan *downjet*. *Entrainment* menyebabkan gas hasil pembakaran akan mengalami sirkulasi di daerah *chimney* dan memberikan waktu tinggal yang lebih lama pada gas CO untuk terkonversi menjadi CO₂.



Gambar 3.1 Proses *Entrainment*

Entrainment terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara udara dari *downjet* dengan gas pembakaran disekitarnya, dimana tekanan aliran *downjet* lebih rendah dari tekanan gas pembakarannya. *Entrainment* menyebabkan gas hasil pembakaran tidak langsung keluar dari kompor tetapi tertarik ke arah *downjet* sehingga memberikan waktu yang lebih lama agar CO terkonversi menjadi CO₂.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *entrainment* adalah :

- Kecepatan *Downjet*

Jika kecepatan *downjet* tinggi maka tekanan pada *downjet* akan semakin rendah sehingga perbedaan tekanan antara *downjet* dengan gas pembakaran sekitarnya semakin besar dan *entrainment* akan semakin tinggi.

- Tinggi *Chimney*

Semakin tinggi *chimney* maka zona *entrainment* akan semakin panjang sehingga sirkulasi udara pada permukaan kompor akan lebih lama.

- Rasio kecepatan *downjet* terhadap kecepatan superfisial *updraft*

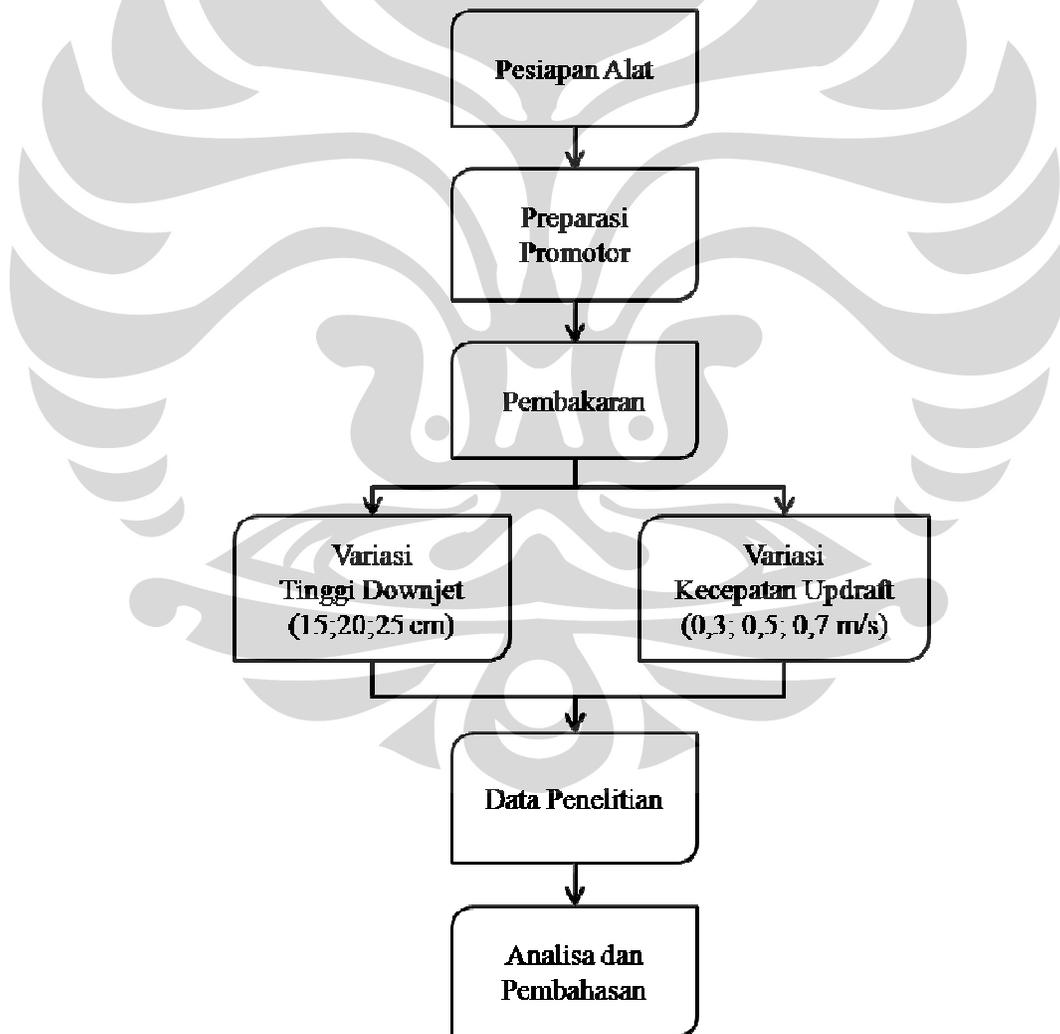
Rasio kecepatan *downjet* terhadap kecepatan superfisial yang tinggi akan menaikkan *entrainment*, namun bila rasio kecepatan *downjet* terhadap kecepatan superfisial terlalu tinggi maka akan menyebabkan *quenching* atau pendinginan.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian menggunakan kompor briket yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Namun berbeda dengan penelitian sebelumnya yang melakukan pengambilan data di Departemen Teknik Mesin UI, pada penelitian ini dilakukan pengambilan data di Departemen Teknik Kimia UI.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan rendah pada pembakaran briket terhadap emisi CO yang dihasilkannya. Setiap pengambilan data menggunakan total briket sebanyak 1 kg yang terdiri dari 13 briket pemasakan dan 4 briket promotor. Briket promotor digunakan sebagai penyulut api pada proses pembakaran. Pada permukaan briket promotor dicetak *dimples* 40% dari luas permukaannya, yang bertujuan untuk memperluas kontak antara briket dengan udara.

Gambar 3.2 menjelaskan tahapan penelitian, dimana variasi yang dilakukan adalah ketinggian *downjet* dan kecepatan *updraft*. Ketinggian *downjet* dilakukan pada tiga variasi, yaitu 15, 20, dan 25 cm. Kecepatan *updraft* dilakukan pada tiga variasi, yaitu 0,7, 0,5 dan 0,3 m/s. Suplai udara pada blower dan *downjet* dijalankan bergantian. Suplai udara *forced draft* dinyalakan dari awal pembakaran hingga temperatur pembakaran mencapai maksimum. Blower pada *downjet* baru dijalankan setelah temperatur maksimum dan blower *forced draft* dimatikan. Tujuan mematikan blower *forced draft* adalah untuk menghindari terjadinya pendinginan pada pembakaran briket. Pengambilan data temperatur dan konsentrasi CO dilakukan selama 240 menit.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Preparasi Briket

3.3.1 Briket Pemasakan

Briket pemasakan yang digunakan adalah briket batubara berbentuk bantal non-karbonisasi produksi PT Bukit Asam. Briket non-karbonisasi digunakan sebagai briket pemasakan karena briket tersebut murah dan mudah didapat dipasaran.

3.3.2 Briket Promotor

Briket promotor digunakan sebagai penyulut untuk menyalakan briket batubara pemasakan. Briket promotor yang digunakan merupakan briket batubara super karbonisasi produksi PT Bukit Asam. Hasil analisa *Proximate* yang dilakukan oleh Perusahaan yang bergerak dibidang jasa Analisa yaitu PT Sucofindo (Superintending Company of Indonesia) sebagai berikut :

1. <i>Inherent Moisture</i>	= 5,23 %
2. <i>Volatile Matter</i>	= 26,03 %
3. <i>Ash Content</i>	= 12,88 %
4. <i>Fixed Carbon</i>	= 55,86 %
5. <i>Calorific Value</i>	= 5801 Kcal/Kg

Komposisi briket promotor bola adalah :

- Briket batubara 70% dari berat total,
- etil asetat 15%,

Tujuan penambahan etil asetat adalah sebagai suplai oksigen internal dan sebagai bahan mudah terbakar.

- Larutan kanji 15%.

Tujuan penambahan larutan kanji adalah untuk merekatkan briket batubara dengan etil asetat dan mempermudah proses pencetakan

3.3.3 Alat-alat Pembuatan Briket Promotor

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan briket promotor adalah sebagai berikut:

- penggerus
- saringan teh
- Gelas kimia dan ukur
- Wadah pengadukan
- cetakan briket
- Penekan hidrolik

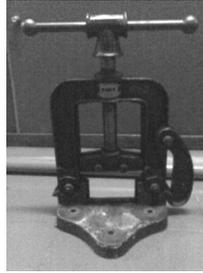
3.3.4 Prosedur Pembuatan Briket Promotor

Preparasi bahan dimulai dengan pembuatan briket promotor, dengan tahapan pengerjaan sebagai berikut:

- menggerus briket super hingga halus dan menyaringnya dengan saringan teh (berukuran 20% *mesh*).
- mencampurkan bahan-bahan, yaitu batubara super halus (70% dari berat total), etil asetat (15% dari berat total), dan larutan kanji 15% dari berat total). Campuran tersebut di aduk hingga membentuk adonan yang rata.
- Melapisi pencetak briket dengan plastik lentur agar briket mudah dilepaskan dari cetakan.
- Menaruh adonan briket pada cetakan bola yang terbuat dari besi baja yang berdiameter 4 cm dan mempunyai *dimples* 40% pada permukaan.
- Memadatkan briket dengan alat penekan hidrolik.
- Briket promotor berukuran 4% dan 40% *dimples* di keluarkan dan dikeringkan.



Gambar 3.3 Alat Cetakan Briket Promotor



Gambar 3.4 Alat Penekan Hidraulik yang Digunakan



Gambar 3.5 Briket Promotor Bola dengan 40 % *Dimples*

3.4 Kompor Briket

Kompor briket batubara yang digunakan dilapisi dengan dinding semen yang tahan api (jenis C-13), hingga $\pm 1000^{\circ}\text{C}$. Kompor briket dirancang berdasarkan rekomendasi dari penelitian sebelumnya yaitu menggunakan blower berdiameter 10 cm sebagai suplai *forced draft*. Modifikasi dari penelitian sebelumnya yaitu mengganti diameter blower *downjet* dari 10 cm menjadi 8 cm untuk memperkecil laju alir udara agar *quenching* bisa dihindarkan.



Gambar 3.6 Kompor Briket yang Digunakan

Tahapan dalam mempersiapkan kompor *downjet* adalah sebagai berikut:

1. Kompor disetel sesuai dengan variasi ketinggian *downjet*. Ketinggian *downjet* di pasang dengan mengukur jarak unggun briket terhadap

keluaran udara *downjet*. Perubahan ketinggian *downjet* di atur dengan merubah *grate*, yaitu kisi penahan unggun briket.

2. Variac disetel untuk mengeset blower agar sesuai dengan variasi kecepatan *updraft*

3.5 Instrumentasi Pengukuran

3.5.1 Termokopel

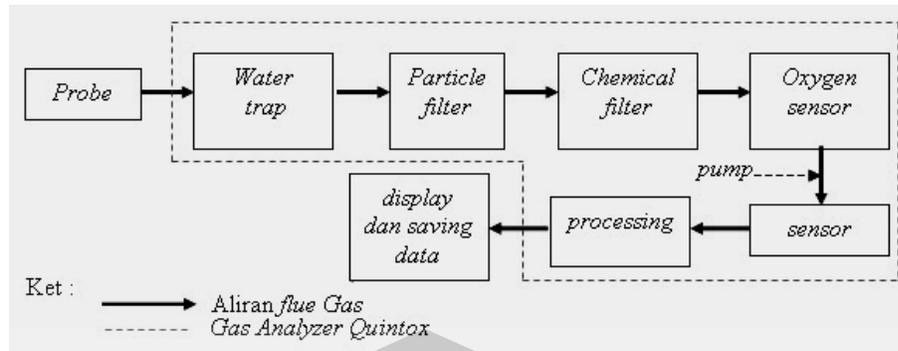
Termokopel yang digunakan adalah termokopel jenis K yang menggunakan *data logger temperature* merek ADAM. Termokopel digunakan untuk mengukur temperatur pembakaran dan ruang *chimney* pada kompor briket..

3.5.2 Gas Analyzer

Emisi CO diukur menggunakan Gas Analyzer *Quintox* model KM9006 (Gambar 3.6). Alat ini terdiri dari *gas analyzer*, *handset data logger* dan *probe*. *Probe* berfungsi untuk pengambilan sampel gas yang langsung terhubung dengan sistem pembuangan gas. Pompa yang terdapat dalam *gas analyzer* akan menarik gas buang yang melewati kolom *water trap* (untuk memisahkan air atau uap air yang ada dalam sampel gas), *particle filter* (membersihkan sampel gas agar bebas dari partikel padat), *oxygen sensor* (sensor oksigen). Alat ini dapat mengukur kandungan hasil gas buang CO, sehingga alat dipasang pada saluran buang pada kompor briket.



Gambar 3.7 Quintox Gas Analyzer



Gambar 3.8 Skema Pengambilan Sampel Emisi

Spesifikasi instrumen *Quintox* KM9106:

Pengukuran Temperatur

- Gas buang:
 - Resolusi : 0,1° (C/F)
 - Akurasi: 1,0°C ± 0,3% pembacaan
 - Range: 0-1.100°C, 32-2140°F
- Temperatur masuk:
 - Resolusi : 0,1° (C/F)
 - Akurasi: 1,0°C ± 0,3% pembacaan
 - Range: 0-600°C, 0-999°F

Pengukuran Gas

- Oksigen (O₂):
 - Resolusi : 0,1%
 - Akurasi: -0,1% +0,2%
 - Range: 0-25%
- Karbon monoksida (CO):
 - Resolusi : 1 ppm
 - Akurasi: ± 20 ppm < 400 ppm ; 5% pembacaan < 2000 ppm
 - Range: 0-10.000 ppm
- Karbon dioksida (CO₂):
 - Resolusi : 0,1%
 - Akurasi: ± 0,3%
 - Range: ± 5% pembacaan

3.6 Prosedur Percobaan

3.6.1 Kalibrasi Alat Instrumen

- Kalibrasi Quintox Gas Analyzer
 - Automatic Calibration
 1. Memasang instalasi peralatan pada *Quintox*, kemudian ur menyalakannya.
 2. Memilih menu ON
 3. Proses kalibrasi otomatis akan berlangsung selama 5 menit.
 4. Setelah itu menekan *ENTER* dengan *display mode* untuk batubara (*COAL*).
 - Kalibrasi Oksigen
 1. Setelah kalibrasi otomatis selesai, akan muncul display utama. Kemudian menekan O_2 saat muncul *display SET*. Mengikuti perintahnya (*setting* $O_2 = 20,9\%$)
 2. *Display* akan kembali ke awal.
 - Kalibrasi CO
 1. Menekan *ENTER* saat *display SET*, kemudian akan muncul *input kode*.
 2. Menekan *enter* empat kali, akan muncul *display Calibrate Sensor*.
 3. Memilih pilihan *YES*, dan melakukan *setting CO* menjadi nol (*SET ZERO*).
 4. Menekan *YES* saat *instability* menunjukkan angka nol.

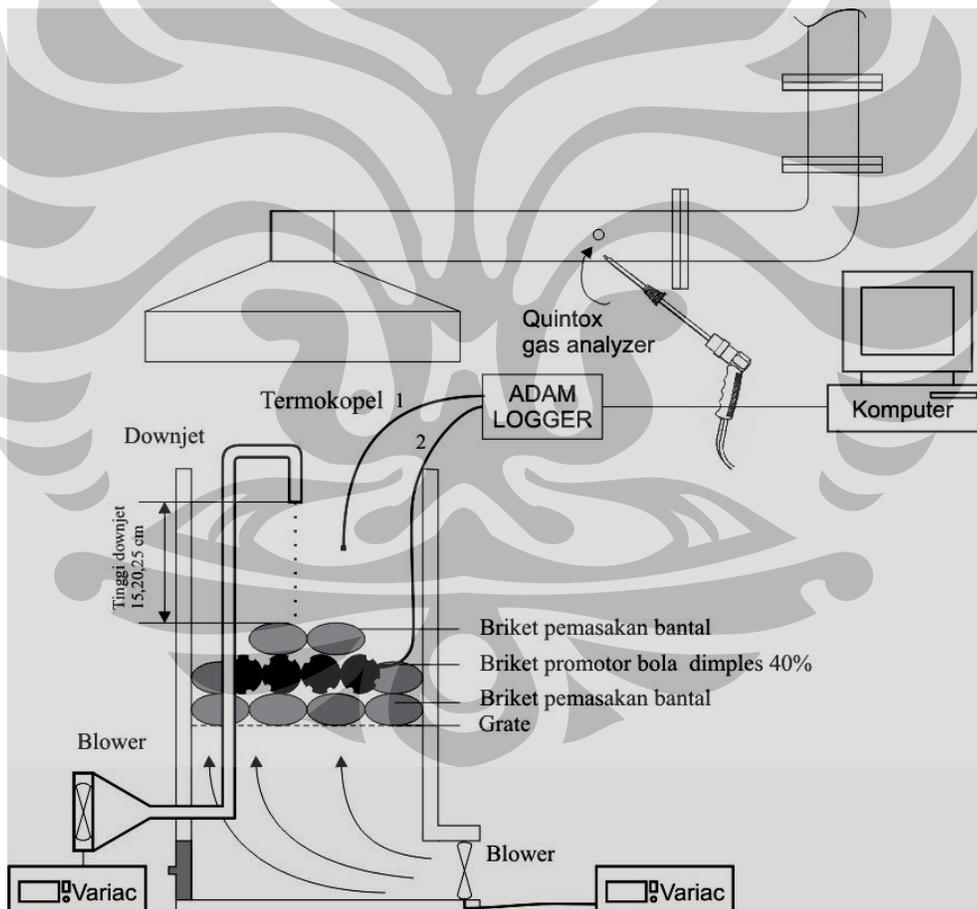
Catatan : untuk halaman utama, menekan *ENTER* harus pada keadaan *instability* nol.
- Kecepatan *Forced draft*
 1. Mengukur kecepatan *superficial* aliran udara *forced draft* dengan menggunakan anemometer, dengan bervariasi frekuensi variac yang berfungsi mengatur rpm blower.
 2. Mengukur dengan anemometer pada beberapa posisi.
 3. Hasil data dirata-ratakan. Melakukan langkah di atas, pada beberapa frekuensi *variac blower* bawah.



Gambar 3.9 Cara Kalibrasi Kecepatan *Forced draft*

- Kecepatan *Downjet*
 1. bervariasi frekuensi variac yang berfungsi mengatur rpm blower.
 2. Mengukur dengan anemometer.

3.6.2 Proses Pembakaran

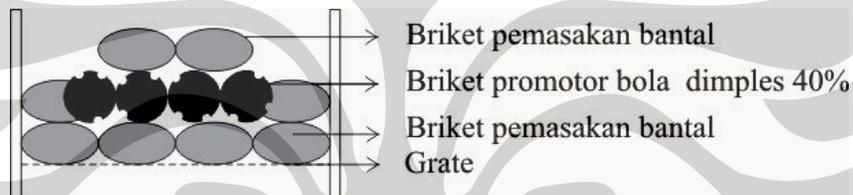


Gambar 3.10 Skema Peralatan Penelitian

Gambar 3.10 merupakan skema peralatan yang digunakan pada penelitian. Pengambilan data menggunakan alat termokopel dan software adam logger sehingga profil temperatur dapat ditransfer sebagai data di komputer.

Langkah-langkah percobaan dan pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Menyusun briket pemasakan pada kompor briket yang telah dipasang blower dan *downjet*. Briket pemasakan yang digunakan sebanyak 13 buah. Pada lapis pertama terdapat 6 briket pemasakan, pada lapis tengah ada 4 briket pemasakan dan pada lapis atas diletakkan 3 briket pemasakan setelah briket promotor diletakkan. Tujuan meletakkan briket promotor pada lapisan kedua adalah untuk mempercepat waktu penyalaan. Briket promotor memberikan panas ke segala arah, sehingga jika diletakkan lapisan kedua maka panas akan tersebar ke arah lapisan pertama dan kedua.



Gambar 3.11 Susunan Briket pada Kompor

2. Memasang termokopel, data akan ditampung oleh data logger ADAM. Termokopel dipasang di dua tempat, yaitu pada ruang chimney dan ruang unggun briket.
3. Memasang probe pada gas keluaran dan pembacaan data dilihat dari *display Quintox Analyzer*.
4. Membakar promotor bola dengan *dimples* 40% sebanyak 4 buah dengan nyala spirtus hingga terbentuk bara (± 10 menit).



Gambar 3.12 Pembakaran promotor

5. Menekan tombol *start recording* pada *software adam logger* di komputer
6. Memasukkan promotor ke dalam kompor briket dan memasukkan briket pemasakan sebanyak 3 buah pada lapis atas.
7. Memulai pengamatan data.

3.7 Pengambilan Data

Tabel 3.1 Pengambilan Data Penelitian

Data	$V_j = 0,3 \text{ m/s}$ $h_j = 15 \text{ cm}$			$V_j = 0,3 \text{ m/s}$ $h_j = 20 \text{ cm}$			$V_j = 0,3 \text{ m/s}$ $h_j = 25 \text{ cm}$		
	$V_u \text{ (m/s)}$			$V_u \text{ (m/s)}$			$V_u \text{ (m/s)}$		
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
CO (ppm)									
$T_{\text{ruang briket}} \text{ (}^\circ\text{C)}$									
$T_{\text{ruang chimney}} \text{ (}^\circ\text{C)}$									

Tabel 3.1 merupakan data yang akan diambil pada setiap variasi kecepatan updraft dan ketinggian downjet. Konsentrasi CO diukur pada saluran gas buang. Temperatur diukur di dua titik di dalam kompor.

Keterangan :

V_j adalah kecepatan *downjet*

V_u adalah kecepatan *updraft*

CO adalah konsentrasi gas CO dalam gas buang

$T_{\text{ruang chimney}}$ adalah temperatur ruang *chimney*

$T_{\text{ruang briket}}$ adalah temperatur ruang unggun briket

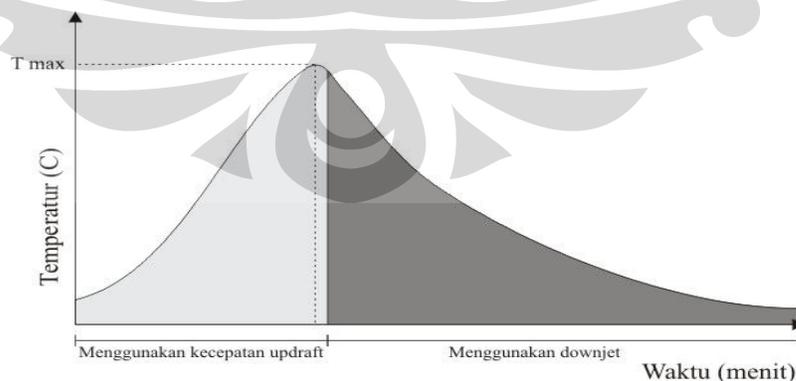
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Merujuk pada hasil penelitian sebelumnya (Yessay Setiawan dan Dian Nurlita) maka proses pembakaran pada penelitian menggunakan dua blower sebagai suplai udara. *Downjet* digunakan sebagai suplai udara dari atas dan blower digunakan sebagai suplai udara bawah atau *updraft*. Blower pada *forced draft* tetap menggunakan blower berukuran 10 cm. Variasi kecepatan *updraft* yang digunakan tidak lebih besar dari 0,7 m/s. Blower pada bagian *downjet* akan diganti menjadi berdiameter 8 cm agar kecepatan *downjet* dapat disetel menjadi 0,3 m/s.

Perbedaannya dengan penelitian sebelumnya adalah blower dijalankan secara bergantian. Jika kedua blower tersebut dijalankan akan terjadi quenching sehingga waktu penyalaan lambat, sehingga blower yang dinyalakan terlebih dahulu adalah *forced draft* kemudian *downjet*. Gambar 4.1 menjelaskan aliran udara yang digunakan selama proses pembakaran. Pada awal pembakaran menggunakan blower sebagai *forced draft* dan ketika pembakaran mencapai temperatur maksimum blower dimatikan. Hal ini bertujuan untuk menghindari efek *quenching* atau kehilangan kalor pembakaran karena suplai udara berlebih. Selanjutnya blower pada *downjet* baru dijalankan dan hanya menggunakan natural draft sebagai pengganti *forced draft*.



Gambar 4.1 Skema Aliran Udara yang Digunakan

Tujuan dari penggunaan kecepatan *updraft* terlebih dahulu adalah untuk mempercepat waktu penyalaan pada pembakaran briket. Pada saat temperatur telah mencapai maksimum maka sebagian besar briket telah terbakar dan menghasilkan gas emisi, pada saat inilah diperlukan aliran udara *downjet*. Aliran udara pada *downjet* turun secara vertikal dan memiliki tekanan yang lebih rendah dari tekanan gas emisi, sehingga terjadi *entrainment* seperti yang dijelaskan pada metodologi penelitian. *Entrainment* menyebabkan gas hasil pembakaran akan mengalami resirkulasi di dalam *chimney*. Resirkulasi gas emisi memberikan waktu tinggal semakin lama yang menyebabkan konversi CO menjadi CO₂ lebih tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia, sedangkan penelitian sebelumnya dilakukan di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Sehingga nilai konsentrasi CO pada penelitian ini tidak dapat dibandingkan secara kuantitas pada penelitian sebelumnya. Hal ini disebabkan karena alat pendeteksi konsentrasi CO yang digunakan berbeda dan penelitian dilakukan pada tempat berbeda. Saluran gas buang yang digunakan berbeda sehingga pengukuran gas CO tidak pada kondisi pembakaran yang sama.

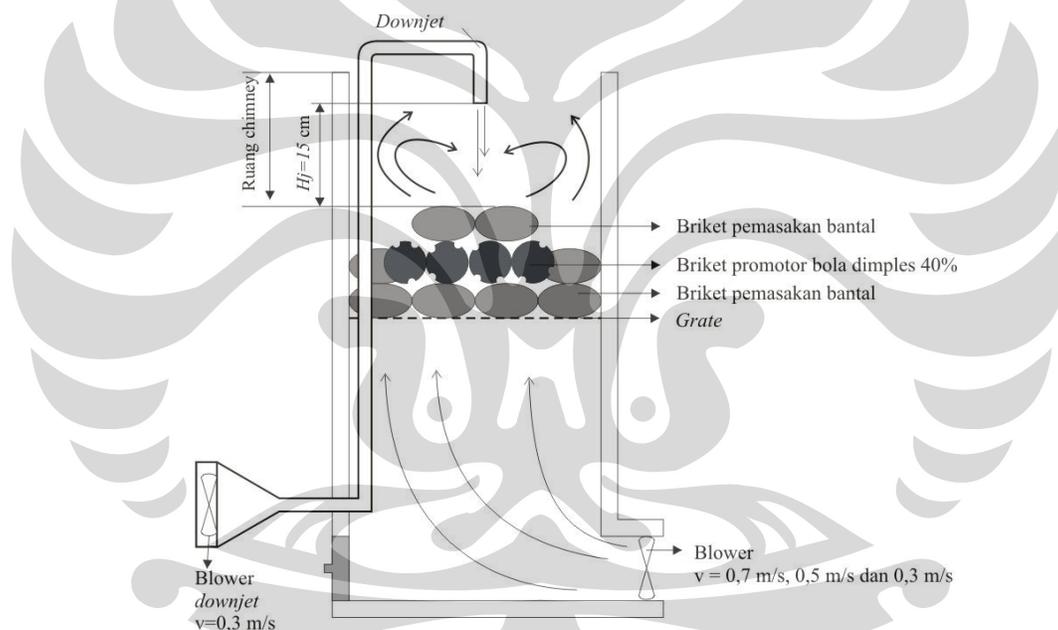
4.2 Variasi Kecepatan *Updraft*

Pengamatan dilakukan selama 240 menit karena nilai konsentrasi CO pada pembakaran telah mencapai angka nol dan temperatur pembakaran menurun secara landai. Data temperatur diambil setiap 2 menit sedangkan data emisi CO diambil setiap 5 menit. Setiap pembakaran menggunakan satu kilogram briket, yang terdiri dari 4 buah briket promotor dan 13 buah briket pemasakan. Variasi kecepatan *updraft* dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan *updraft* terhadap emisi CO pada proses pembakaran briket. Pada setiap ketinggian *downjet*, yaitu 15 cm, 20 cm, dan 25 cm dilakukan variasi kecepatan *updraft* 0,7 m/s, 0,5 m/s dan 0,3 m/s.

Pengambilan data temperatur dilakukan di daerah pembakaran ruang briket dan ruang *chimney*. Temperatur pada ruang *chimney* menggambarkan temperatur yang terjadi di ruang sirkulasi. Temperatur unggun briket menggambarkan temperatur penyalaan dari setiap variasi.

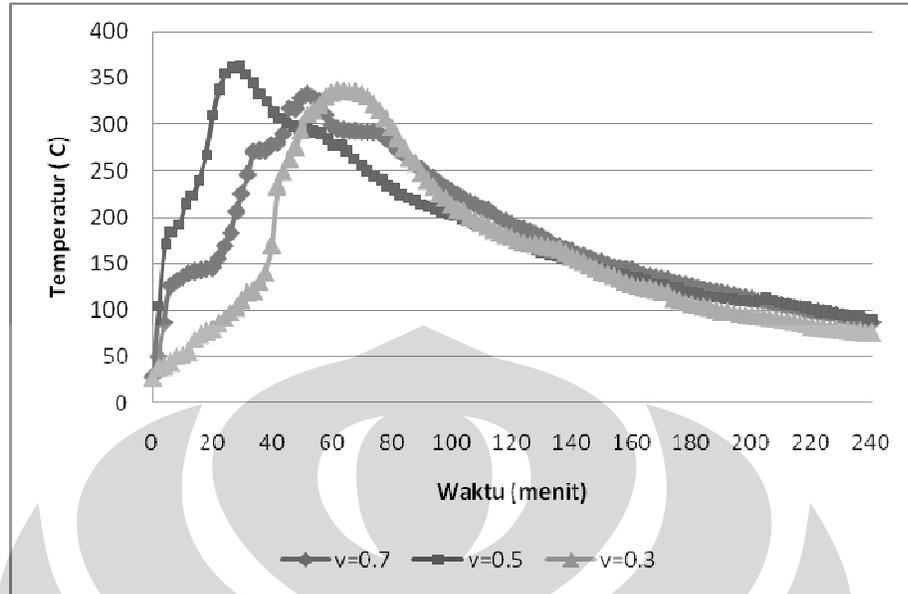
4.2.1 Ketinggian *Downjet* 15 cm

Ketinggian *downjet* diatur 15 cm jaraknya dari permukaan unggun briket. Gambar 4.2 merupakan ilustrasi pembakaran pada ketinggian 15 cm. Pembakaran dilakukan pada ketinggian *downjet* 15 cm dengan kecepatan *downjet* 0,3 m/s dan kecepatan *updraft* pada 0,7 m/s, 0,5 m/s dan 0,3 m/s. Pada ketinggian *downjet* 15 cm memiliki kedalaman ruang *chimney* yang lebih pendek dan jarak unggun terhadap suplai *forced draft* lebih jauh bila dibandingkan dengan ketinggian 20 cm dan 25 cm. Ruang *chimney* yang lebih pendek menyebabkan emisi gas lebih cepat keluar menuju saluran buang.

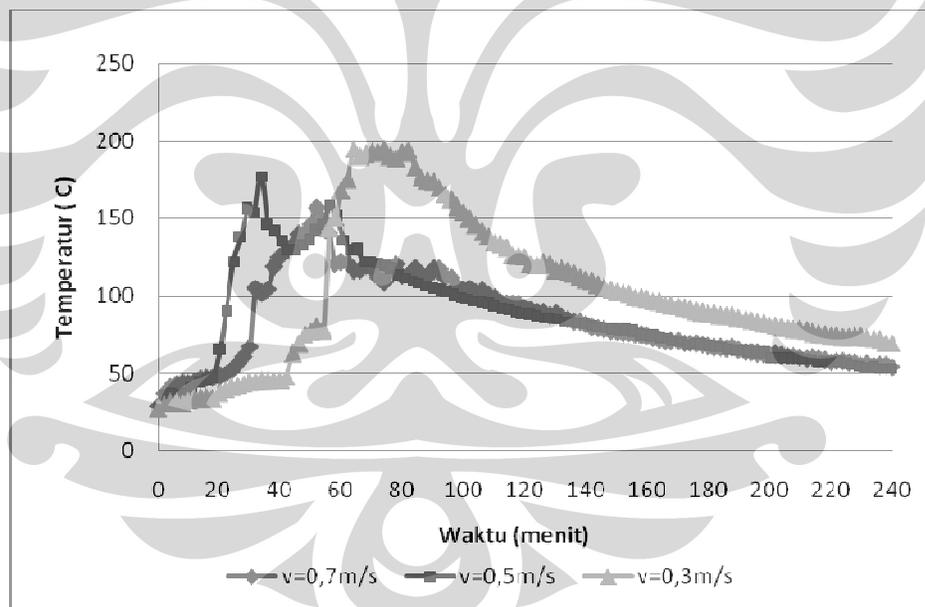


Gambar 4.2 Pembakaran pada Ketinggian *Downjet* 15 cm

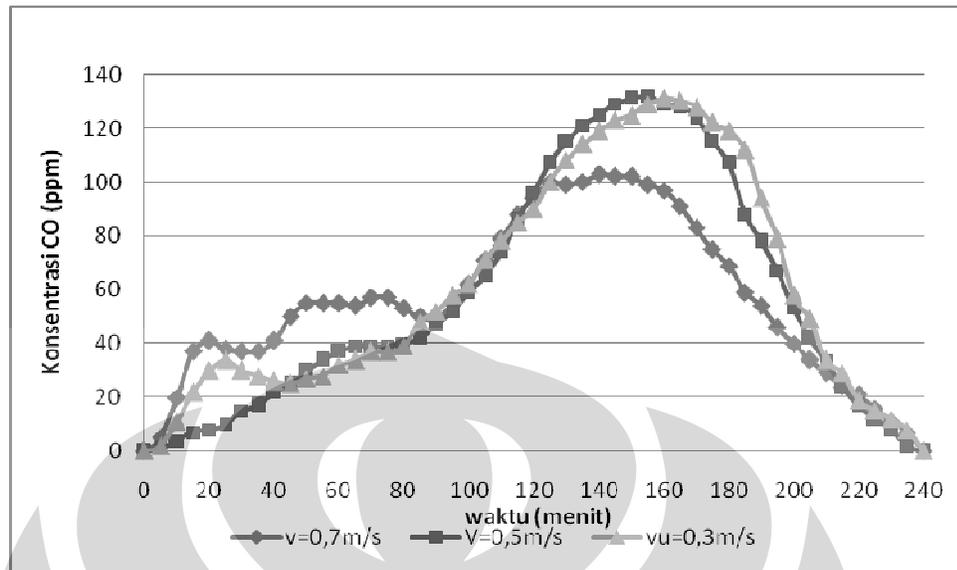
Gambar 4.3 merupakan profil temperatur pada ruang unggun briket. Pada kecepatan *updraft* 0,5 m/s terjadi waktu ignisi yang lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan *updraft* 0,7 m/s. Pada kecepatan 0,3 m/s terjadi waktu ignisi yang lama (40 menit). Gambar 4.4 merupakan profil temperatur pada ruang *chimney*, dimana temperatur ruang *chimney* yang tertinggi terjadi pada variasi kecepatan *updraft* 0,3 m/s, walaupun pada kecepatan *updraft* 0,3 memiliki waktu ignisi yang paling lama.



Gambar 4.3 Temperatur Unggun pada Ketinggian *Downjet* 15 cm



Gambar 4.4 Temperatur *Chimney* pada Ketinggian *Downjet* 15 cm



Gambar 4.5 Efek Ketinggian *Downjet* 15 cm terhadap Konsentrasi CO

Gambar 4.5 menunjukkan nilai konsentrasi emisi gas CO yang terukur pada saluran gas buang. Pada gambar tersebut menunjukkan konsentrasi CO minimum yang terjadi pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s. Konsentrasi CO pada kecepatan 0,5m/s dan 0,3 m/s tidak berbeda jauh.

Tabel 4.1 Data pada Ketinggian *Downjet* 15 cm

$V_{updraft}$ (m/s)	Konsentrasi CO Rata- rata (ppm)	Konsentrasi CO Maksimum (ppm)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Maksimum (°C)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Rata-rata (°C)	Temperatur Unggun Maksimum (°C)	Temperatur Unggun Rata-rata (°C)
0.7	59.53	103	156.9	84.14	332.4	180.67
0.5	63.84	132	177.1	88.54	361.5	182.87
0.3	66.14	131	195.1	104.38	336.7	165.49

Untuk menganalisa pengaruh kecepatan *updraft* terhadap temperatur pembakaran dan emisi gas CO maka dari Gambar 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 dibuat dalam sebuah tabel. Tabel 4.1 merupakan nilai rata-rata dari emisi CO, temperatur ruang briket dan temperatur ruang *chimney* pada setiap variasi kecepatan *updraft*. Pada kecepatan *updraft* 0,3 m/s dan 0,5 m/s

terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan maka semakin tinggi temperatur unggun briket dan *chimney*. Pada kecepatan *updraft* 0,3 m/s terjadi turbulensi yang rendah, hal ini dapat dilihat dari lambatnya kenaikan temperatur pada awal pembakaran. Semakin tinggi temperatur maka semakin rendah emisi CO yang dihasilkan.

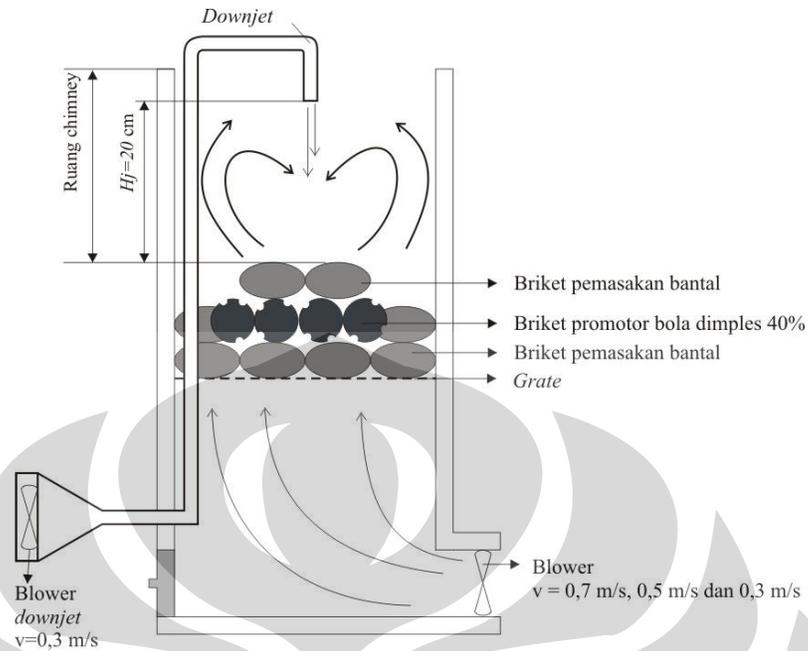
Menurut Michael Biarnes jika semakin besar suplai udara yang diberikan pada proses pembakaran akan meningkatkan turbulensi sehingga temperatur pembakaran semakin homogen. Namun semakin tinggi suplai udara menyebabkan semakin besar panas yang hilang. Hal ini terjadi pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s, turbulensi yang semakin tinggi menyebabkan semakin banyak panas yang terbuang. Temperatur pada kecepatan *updraft* 0,7 lebih rendah dari temperatur pada kecepatan 0,5 m/s, namun konsentrasi CO pada kecepatan *updraft* 0,7 lebih rendah. Suplai udara berlebih menyebabkan semakin banyak CO yang berkontak dengan O₂ dan menghasilkan CO₂.

4.2.2 Ketinggian *Downjet* 20 cm

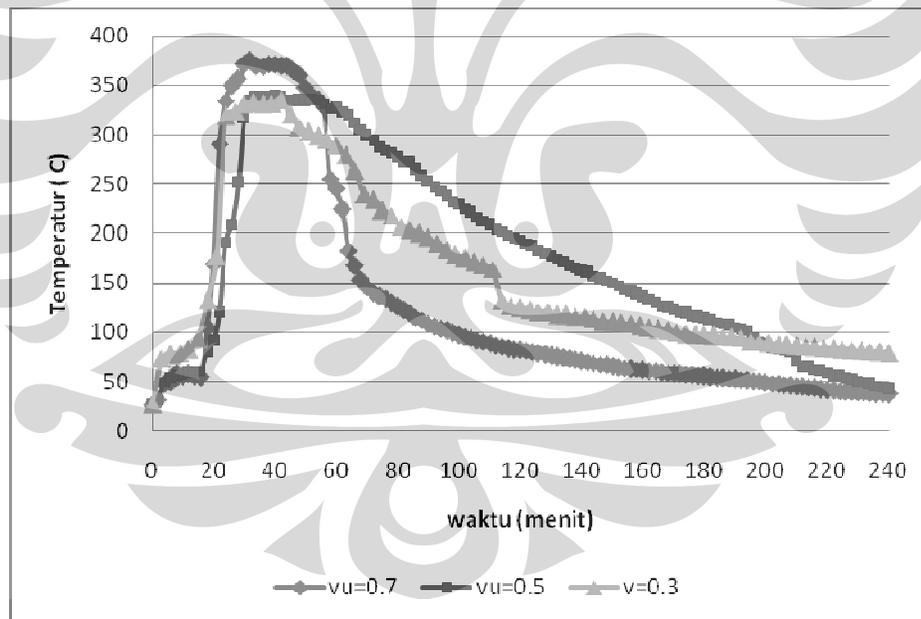
Ketinggian *downjet* diatur 20 cm jaraknya dari permukaan unggun briket. Gambar 4.6 merupakan ilustrasi pembakaran pada ketinggian 20 cm. Pembakaran dilakukan pada ketinggian *downjet* 15 cm dengan kecepatan *downjet* 0,3 m/s dan kecepatan *updraft* pada 0,7 m/s, 0,5 m/s dan 0,3 m/s. Pada ketinggian *downjet* 20 cm memiliki kedalaman ruang *chimney* yang lebih panjang dari ketinggian *downjet* 15 cm dan jarak unggun terhadap suplai *forced draft* jauh bila dibandingkan dengan ketinggian 25 cm.

Gambar 4.7 merupakan profil temperatur pada ruang unggun briket. Pembakaran pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s memiliki temperatur pembakaran yang lebih tinggi, terjadi penurunan temperatur yang drastis. Pembakaran pada kecepatan *updraft* 0,5 lebih mampu mempertahankan temperatur sehingga penurunan temperatur terjadi secara lambat.

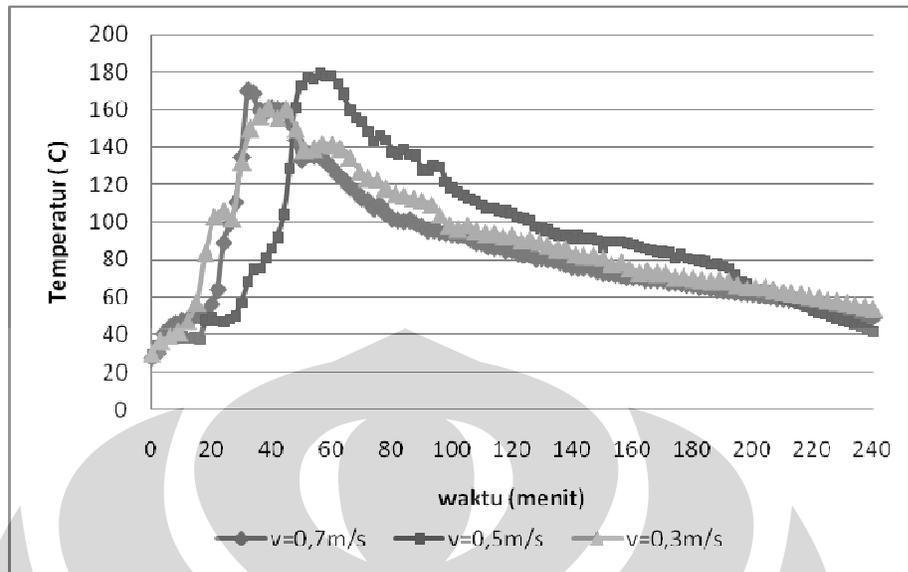
Gambar 4.8 merupakan profil temperatur pada ruang *chimney*. Temperatur ruang *chimney* yang tertinggi terjadi pada variasi kecepatan *updraft* 0,5 m/s, walaupun pada kecepatan *updraft* 0,5 memiliki waktu ignisi yang paling lama



Gambar 4.6 Pembakaran pada Ketinggian *Downjet* 20 cm

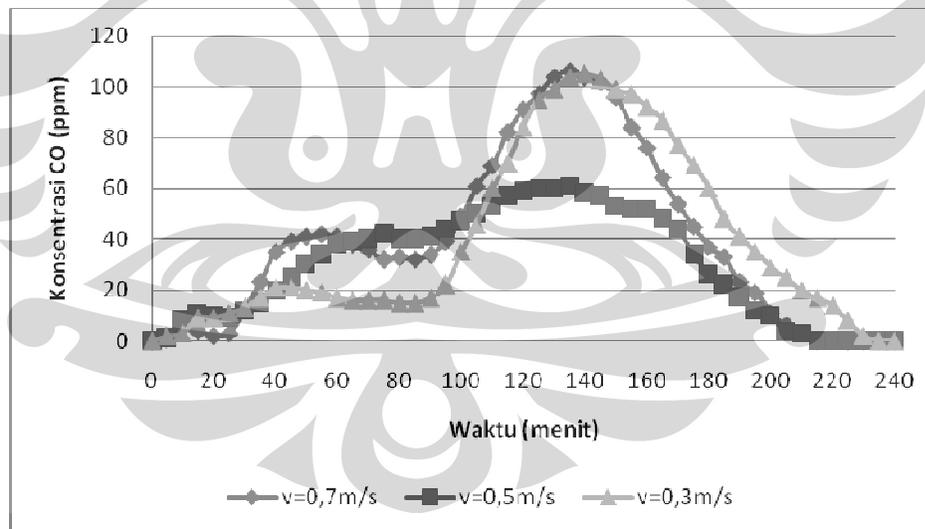


Gambar 4.7 Temperatur Unggun pada Ketinggian *Downjet* 20 cm



Gambar 4.8 Temperatur *Chimney* pada Ketinggian *Downjet* 20 cm

. Gambar 4.9 merupakan profil konsentrasi CO pada ketinggian *downjet* 20 cm. Konsentrasi CO minimum terjadi pada kecepatan *updraft* 0,5 m/s dan konsentrasi CO maksimum terjadi pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s.



Gambar 4.9 Efek Ketinggian *Downjet* 20 cm terhadap Konsentrasi CO

Tabel 4.2 Data pada Ketinggian *Downjet* 20 cm

$V_{updraft}$ (m/s)	Konsentrasi CO Rata-rata (ppm)	Konsentrasi CO Maksimum (ppm)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Maksimum (°C)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Rata-rata (°C)	Temperatur Unggun Maksimum (°C)	Temperatur Unggun Rata-rata (°C)
0,7	38,94	106	169.6	84.04	374.7	119,43
0,5	29,35	61	178.5	91,07	338.6	173,39
0,3	38,8	105	160.7	90,05	331.9	156,39

Untuk menganalisa pengaruh kecepatan *updraft* terhadap temperatur pembakaran dan emisi gas CO maka dari Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dibuat dalam sebuah tabel. Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan konsentrasi CO, temperatur ruang *chimney*, temperatur ruang briket yang dilakukan pada ketinggian 20 cm.

Menurut Michael Biarnes jika semakin besar suplai udara yang diberikan pada proses pembakaran akan meningkatkan turbulensi sehingga temperatur pembakaran semakin homogen. Namun semakin tinggi suplai udara menyebabkan semakin besar panas yang hilang. Hal ini terjadi pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s, turbulensi yang semakin tinggi menyebabkan pembakaran akan semakin merata. Temperatur pada 0,7 m/s mula-mula naik dengan cepat kemudian menurun dengan landai. Suplai udara berlebih menyebabkan semakin banyak panas yang terbangun sehingga menurunkan temperatur pembakaran. Temperatur yang turun akan menurunkan laju reaksi pembentukan CO₂. Menurut Smoot (1991) konversi CO menjadi CO₂ akan menjadi lebih tinggi jika temperatur reaksi dan konsentrasi oksigen lebih tinggi. Hubungan CO₂ terhadap temperatur adalah :

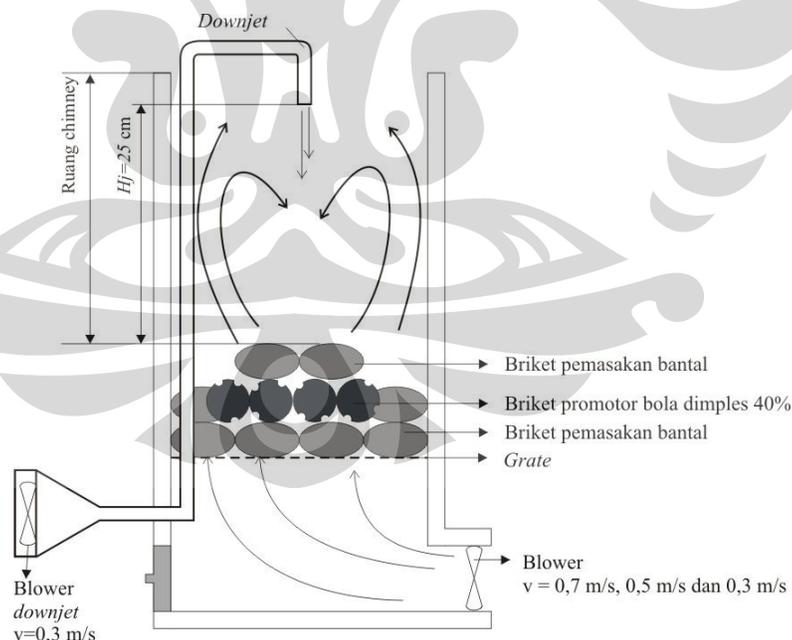
$$\frac{d[\text{CO}]}{dt} = \left\{ -10^{14.6} \exp\left(-\frac{40,000}{RT_g}\right) \right\} [\text{CO}]^{1.0} [\text{O}_2]^{0.25} [\text{H}_2\text{O}]^{0.50} \quad (4.1)$$

Dimana R merupakan konstanta gas dan T_g adalah temperatur gas dalam Kelvin.

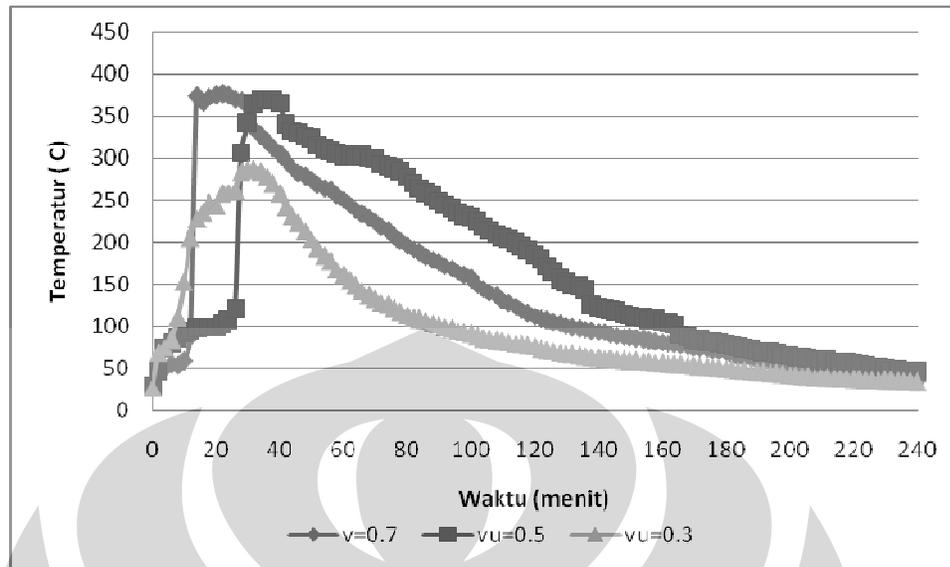
Pada kecepatan *updraft* 0,5 m/s terjadi turbulensi yang cukup tinggi namun tidak terjadi penurunan temperatur secara drastis. Turbulensi yang tinggi menyebabkan kontak CO dengan oksigen cukup besar sehingga emisi CO yang dihasilkan rendah. Pada kecepatan *updraft* 0,3 m/s turbulensi yang terjadi lebih kecil sehingga kontak antara partikel oksigen dan CO lebih lambat.

4.2.3 Ketinggian *Downjet* 25 cm

Ketinggian *downjet* diatur 25 cm jaraknya dari permukaan unggun briket. Gambar 4.10 merupakan ilustrasi pembakaran pada ketinggian 25 cm. Pembakaran dilakukan pada ketinggian *downjet* 25 cm dengan kecepatan *downjet* 0,3 m/s dan kecepatan *updraft* pada 0,7 m/s, 0,5 m/s dan 0,3 m/s. Pada ketinggian *downjet* 25 cm memiliki kedalaman ruang *chimney* yang lebih panjang dan jarak permukaan briket terhadap *downjet* lebih jauh bila dibandingkan dengan ketinggian 15 cm dan 20 cm. Ruang *chimney* yang lebih panjang menyebabkan emisi gas lebih lama bersirkulasi sehingga mempunyai waktu tinggal yang lama.

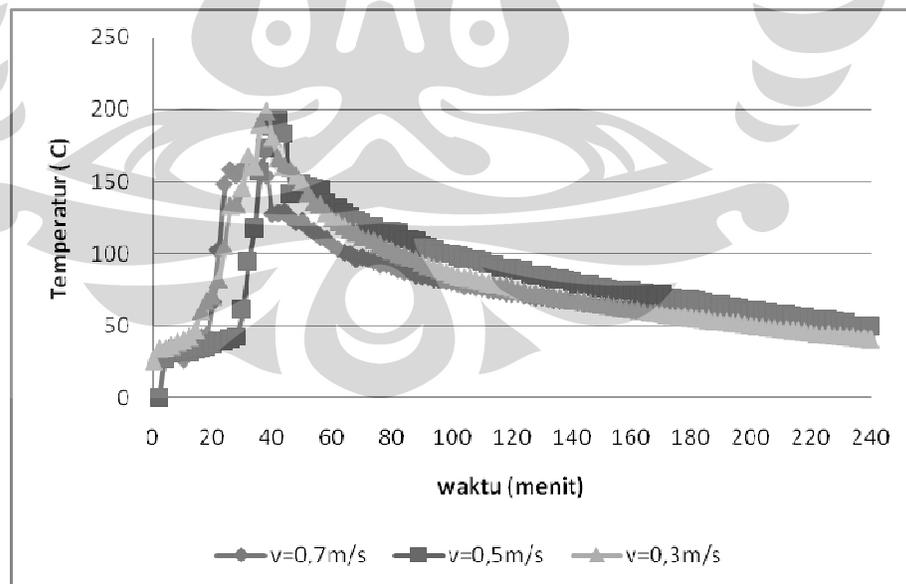


Gambar 4.10 Pembakaran pada Ketinggian *Downjet* 25 cm



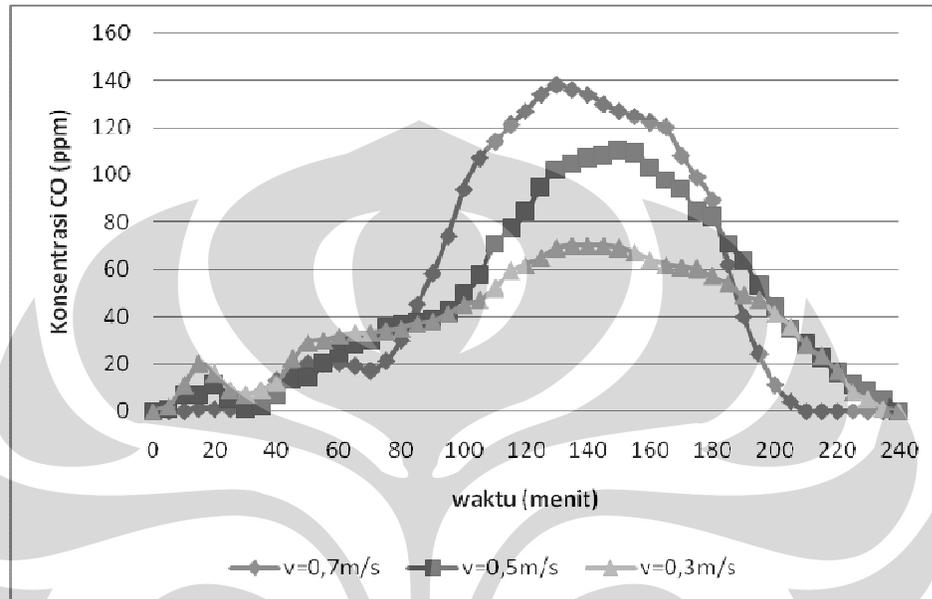
Gambar 4.11 Temperatur Unggun pada Ketinggian *Downjet* 25 cm

Gambar 4.11 merupakan profil temperatur unggun briket. Pembakaran pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s memiliki waktu penyalaan dan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan *updraft* 0,5 m/s dan 0,3 m/s. Pembakaran pada kecepatan *updraft* 0,3 m/s memiliki temperatur pembakaran yang paling rendah.



Gambar 4.12 Temperatur *Chimney* pada Ketinggian *Downjet* 25 cm

Gambar 4.12 merupakan profil temperatur pada ruang *chimney*. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa temperatur ruang *chimney* pada ketinggian *downjet* 25 cm tidak jauh berbeda.



Gambar 4.13 Efek Ketinggian *Downjet* 25 cm terhadap Konsentrasi CO

Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan konsentrasi CO pada ketinggian *downjet* 25 cm. Konsentrasi CO pada kecepatan *updraft* 0,3 m/s memiliki konsentrasi minimum diantara variasi kecepatan yang lain. Gambar 4.13 menunjukkan bahwa konsentrasi CO maksimum terjadi pada kecepatan 0,7 m/s.

Tabel 4.1 merupakan perbandingan nilai emisi CO, temperatur ruang *chimney* dan ruang briket pada setiap variasi kecepatan *updraft*. Konsentrasi CO rata-rata terjadi pada pembakaran dengan variasi kecepatan *updraft* 0,3 m/s.

Untuk menganalisa pengaruh kecepatan *updraft* terhadap temperatur pembakaran dan emisi gas CO maka dari Gambar 4.11, Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 dibuat dalam sebuah tabel. Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan konsentrasi CO, temperatur ruang *chimney*, temperatur ruang briket yang dilakukan pada ketinggian 25 cm.

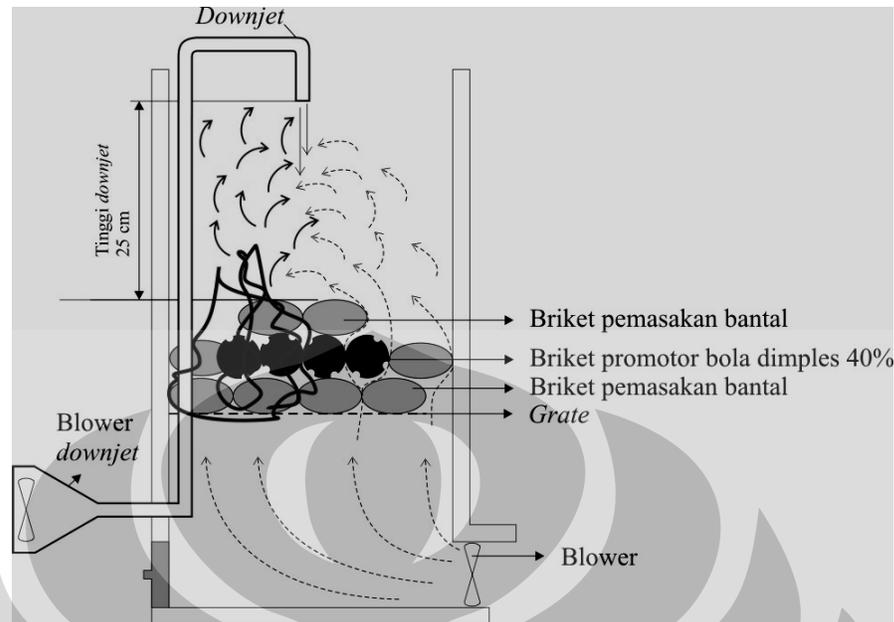
Tabel 4.3 Data pada Ketinggian *Downjet* 25 cm

$V_{updraft}$ (m/s)	Konsentrasi CO Rata- rata (ppm)	Konsentrasi CO Maksimum (ppm)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Maksimum (°C)	Temperatur Ruang <i>Chimney</i> Rata-rata (°C)	Temperatur Ruang Briket Maksimum (°C)	Temperatur Pembakaran Rata-rata (°C)
0,7	51,67	138	160.2	75,99	376.80	142.57
0,5	46,02	110	192	83,45	370.20	162.00
0,3	36,90	70	199.20	80,01	286.90	103.33

Pengambilan data dilakukan selama 240 menit. Data temperatur diambil setiap 2 menit sedangkan data emisi CO diambil setiap 5 menit. Pada ketinggian *downjet* 25 cm terjadi perubahan yang *significant* dari setiap variasi kecepatan *updraft*. Hal ini disebabkan karena pada ketinggian *downjet* 25 cm memiliki ruang *chimney* lebih panjang dan jarak ungun briket lebih dekat dengan suplai *forced draft* bila dibandingkan dengan ketinggian *downjet* 15 cm dan 20 cm.

Semakin tinggi kecepatan *updraft* maka semakin tinggi turbulensi yang terjadi. Turbulensi yang tinggi menyebabkan pembakaran terjadi lebih merata, namun disisi lain jika turbulensi terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya *quenching*, seperti yang terjadi pada kecepatan 0,7 m/s. *Quenching* menyebabkan temperatur turun sehingga konsentrasi CO mejadi tinggi.

Pada kecepatan 0,3 m/s terjadi pembakaran yang tidak merata akibat turbulensi yang rendah. Pembakaran yang terjadi hanya di sebagian sisi kompor sehingga hanya sebagian briket yang terbakar. Gambar 4.14 menunjukkan pembakaran yang terjadi pada kecepatan *updraft* 0.3 m/s. Udara *forced draft* digambarkan dengan garis panah yang tipis dan putus-putus sedangkan emisi gas hasil pembakaran digambarkan dengan garis panah yang tebal. Udara *forced draft* yang melewati sisi briket yang belum terbakar akan mengencerkan emisi gas hasil pembakaran sehingga emisi gas CO menjadi rendah.



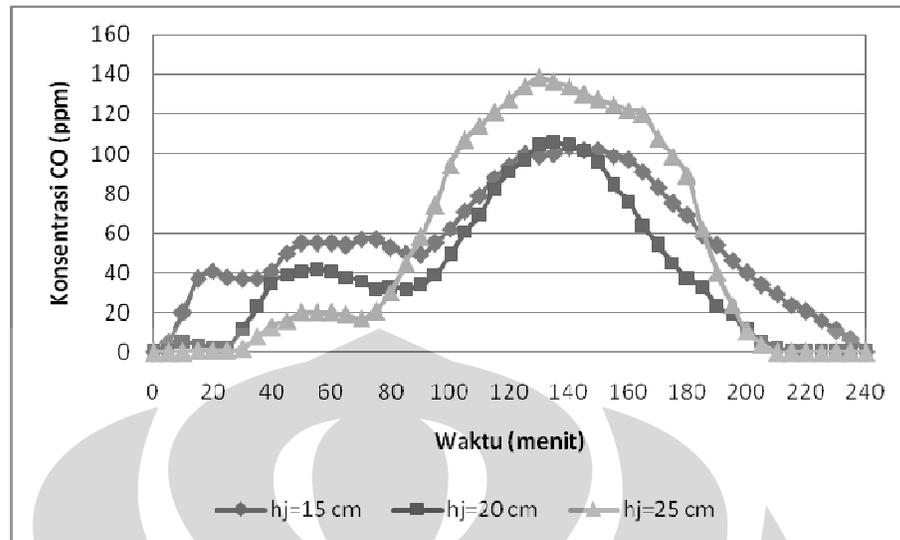
Gambar 4.14 Pembakaran pada Ketinggian *Downjet* 25 cm dan Kecepatan *Updraft* 0.3 m/s.

4.3 Variasi Ketinggian *Downjet*

Pengukuran ketinggian *downjet* dihitung dari ujung *downjet* hingga permukaan briket di lapisan atas. Perubahan ketinggian *downjet* terhadap unggun briket dilakukan dengan merubah posisi *grate* atau lempengan penyangga briket. Perubahan ketinggian *downjet* mempengaruhi ketinggian ruang *chimney*, contohnya pada ketinggian *downjet* 25 cm memiliki panjang ruang *chimney* yang lebih dalam dari ketinggian *downjet* 20 cm dan 15 cm. Semakin dalam *chimney* maka semakin panjang ruang sirkulasi fluida.

4.3.4. Kecepatan *Updraft* 0,7 m/s

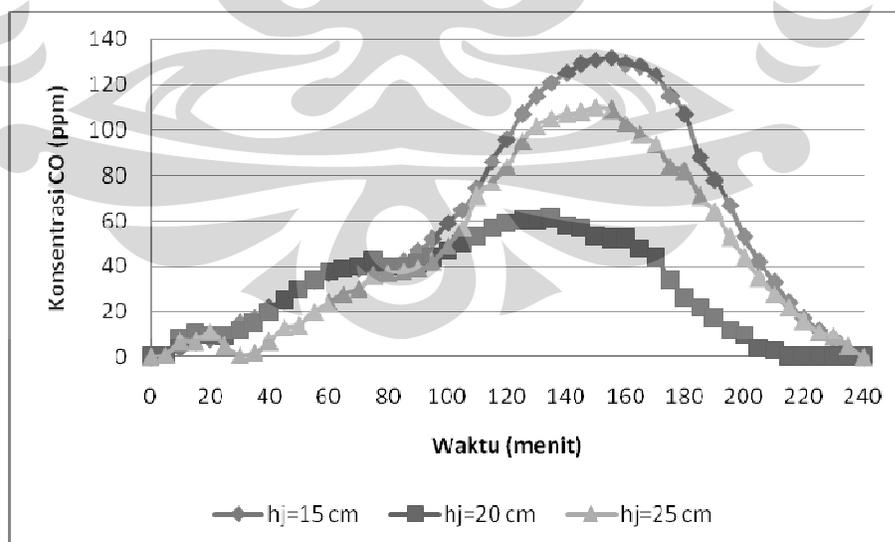
Pada variasi ketinggian *downjet* menggunakan data pada variasi kecepatan *updraft*, namun dibuat dalam grafik yang berbeda. Gambar 4.15 merupakan grafik konsentrasi CO pada setiap ketinggian *downjet* pada kecepatan *updraft* 0,7 m/s.



Gambar 4.15 Pembakaran pada kecepatan *Updraft* 0,7 m/s

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa pada emisi CO minimum terjadi pada ketinggian *downjet* 20 cm. Pada ketinggian *downjet* 15 cm memiliki ruang *chimney* yang pendek sehingga waktu tinggal pada ketinggian *downjet* 15 cm lebih pendek. Sedangkan pada posisi ketinggian *downjet* 25 cm, jarak unggun terhadap suplai udara terlalu dekat sehingga pembakaran mempunyai waktu penyalaan yang cepat namun temperatur cepat turun.

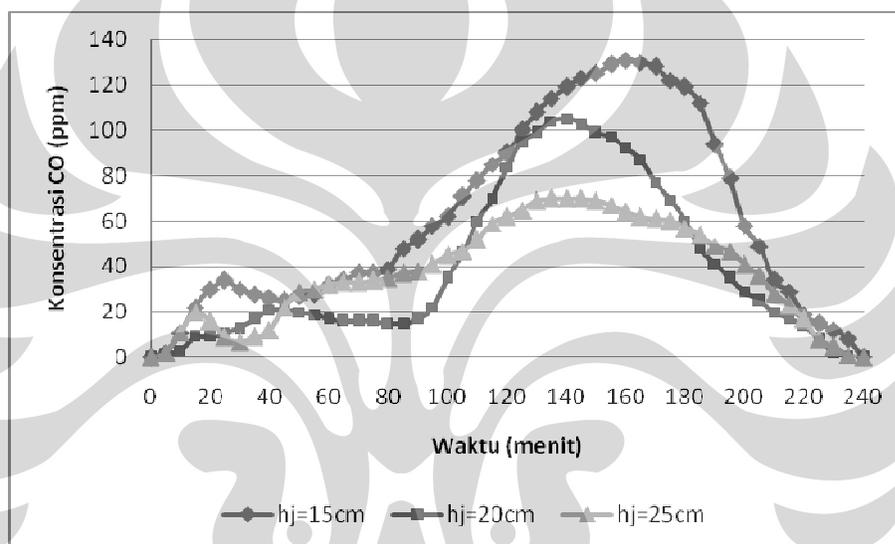
4.3.5. Kecepatan *Updraft* 0,5 m/s



Gambar 4.16 Pembakaran pada kecepatan *Updraft* 0,5 m/s

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa pada kecepatan 0,5 m/s semakin tinggi *downjet* maka konsentrasi CO semakin tinggi. Pada ketinggian *downjet* 15 cm memiliki ruang *chimney* yang pendek sehingga waktu tinggal pada ketinggian *downjet* 15 cm lebih pendek. Sedangkan pada posisi ketinggian *downjet* 25 cm, jarak unggun terhadap suplai udara terlalu dekat sehingga pembakaran mempunyai waktu penyalaan yang cepat namun temperatur cepat turun. Konsentrasi CO mula-mula turun kemudian naik.

4.3.6. Kecepatan *Updraft* 0,3 m/s



Gambar 4.17 Pembakaran pada kecepatan *Updraft* 0,3 m/s

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa pada kecepatan 0,3 m/s semakin tinggi *downjet* maka konsentrasi CO semakin rendah. Semakin tinggi *downjet* maka semakin panjang ruang sirkulasi dan semakin rendah kecepatan maka waktu tinggal menjadi lama. Sehingga emisi CO yang di hasilkan pada ketinggian 25 cm lebih rendah jika dibandingkan dengan emisi CO pada variasi 0,3 m/s dengan berbagai ketinggian *downjet*.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan menggunakan *downjet* kecepatan tetap yaitu 0,3 m/s dengan memvariasikan kecepatan *updraft* 0,7 m/s, 0,5 m/s, dan 0,3 m/s serta memvariasikan ketinggian *downjet* 15 cm, 20 cm, dan 25 cm maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Semakin tinggi kecepatan *updraft* maka semakin tinggi turbulensi. Turbulensi dapat membuat pembakaran terjadi lebih merata. Namun efek turbulensi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *quenching*.
2. Pada ketinggian *downjet* 25 cm, semakin tinggi kecepatan *updraft* maka semakin tinggi konsentrasi CO.
3. Emisi CO yang minimum diperoleh pada ketinggian *downjet* 20 cm dan kecepatan *updraft* 0.5 m/s. Emisi CO rata-rata minimum yang diperoleh adalah 29,35 ppm.

5.2 Saran

Memodifikasi *variac* (alat untuk mengeset kecepatan *updraft*) agar memperoleh kecepatan *updraft* yang konsisten sepanjang waktu pengambilan data.

DAFTAR REFERENSI

- 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*, 1972, vol. 18, pp.173-184
- Balia, L., *Penelitian Dan Pengembangan Briket Batubara Di Indonesia*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, 1996
- Bartok, W. and Sarofim, A.F., *Fossil fuel combustion: A source Book*, Wiley-Interscience, 1991
- Beck, N.C., and Hayhurst, A.N., The early stages of the combustion of pulverised coal at high temperatures I: The kinetics of devolatilisation, *Combustion and Flame*, vol. 79, pp. 47-74, 1990.
- Biarnes, Michael, E Instruments Group LLC, <http://www.einstruments.com>
- Evans, D.G., Downjet combustion of coal at low burning rates, Inst. Fuel Conf., Newcastle, N.S.W., 1966, pp. 17-20.
- Makino, A. Drag coefficient of a slowly moving carbon particle undergoing combustion, *Combustion Science and Technology*, vol. 81, pp. 169-192, 1992.
- Muliana, Afif, Pengaruh Ketinggian Downjet Terhadap Pembentukan Polutan CO Pada Kompor Briket Batubara. *Laporan Skripsi Teknik Kimia Universitas Indonesia*, 2008
- Nurlita, Dian. Efek Tinggi Chimney dan Downjet terhadap Pembentukan Emisi CO dari Kompor Briket, *Laporan Skripsi Teknik Kimia Universitas Indonesia*, 2007
- Purwanto, W.W., Nugroho, Y.S., Supramono, D., Indonesia energy outlook and statistics 2006, *Pengkajian Energi UI*, 2006.
- Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara , www.tekmira.esdm.go.id
- Sari, S. D., Efek Kecepatan Superfisial Udara Pembakaran Dan Tinggi Chimney Terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara. *Laporan Skripsi Teknik Kimia Universitas Indonesia*, 2007

- Setiawan, B., *Kebijaksanaan Umum Pemanfaatan Batubara Dan Rancangan Undang-Undang Mineral Dan Batubara*. Jakarta: Direktorat Jenderal Mineral, Batubara dan Gas bumi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, 1996
- Setiawan, Yesay. Pengurangan Emisi CO pada Kompor Briket dengan Menggunakan Metode Downjet, *Laporan Skripsi Teknik Kimia Universitas Indonesia*, 2008
- Smith, Leigh S., *Wilderness and Environmental Medicine*. McGraw-Hill, 2004.
- Smoot, L.D., Coal and char combustion, in *Fossil fuel combustion: A source book*, edited by Bartok, W., and Sarofim, A.F., 1991
- Supramono, D. *Proposal RUUI Program Unggulan 2007: Pengurangan Emisi Polutan Gas CO pada Kompor Briket Batubara dengan Mengintroduksi Downjet*, Depok: Fakultas Teknik UI, 2007.
- Thurgood, J.R., and Smoot, L.D., in *Pulverised Coal Combustion and Gasification* (L.D. Smoot and D.T. Pratt), Plenum, New York, p. 168, 1979.
- Turns, Stephen R., *An Introduction to combustion*, concepts and applications, McGraw-Hill, New York, 2nd edition, 2000
- Waters, B.J., Squires, R.G., Laurendeau, N.M., Evidence for formation of CO₂ in the vicinity of burning pulverised carbon particles, *Combustion and Flame*, vol. 74, pp. 91-106, 1988
- Wibowo, T. and Supramono, D., Effects of shape, size and carbonisation of coal briquettes on the ignition time, heat release and pollutant emissions, *Student Final Project*, 2007.
- Zeng, T., and Fu, W.B., *Combustion and Flame*, vol. 197, p. 107, 1996.
- Zhang, J., Smith, K.R., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Liu, W. Q, 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, pp 4537-4549, 2000

LAMPIRAN

Tabel L.1 Analisis Proksimasi & Ultimasi Briket Batubara

<i>Parameters</i>	<i>Units</i>	<i>Results</i>
<i>Proximate</i>		
- <i>Inherent Moisture</i>	ADB (%)	5,23 %
- <i>Ash Content</i>	ADB (%)	12,88 %
- <i>Volatile Matter</i>	ADB (%)	26,03 %
- <i>Fixed Carbon</i>	ADB (%)	55,86 %
- <i>Cross Calorific Value</i>	ADB (%)	5801
<i>Ultimate</i>		
- <i>Total Sulfur</i>	AR (%)	0,41
- <i>Nitrogen</i>	AR (%)	1,00
- <i>Carbon</i>	AR (%)	64,7
- <i>Hydrogen</i>	AR (%)	4,31
- <i>Oksygen</i>	AR (%)	11,12

Sumber : PT. Bukit Asam, Hasil Laporan Sucofindo.