

**PENGARUH KELEMBABAN UDARA SUPLAI
TERHADAP PEMBAKARAN SPONTAN
BATUBARA SUB-BITUMINOUS
DENGAN METODE OKSIDASI ADIABATIK**

SKRIPSI

Oleh

RUDY RUSTYADY RUSTAM

04 02 02 0552



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

**PENGARUH KELEMBABAN UDARA SUPLAI
TERHADAP PEMBAKARAN SPONTAN
BATUBARA SUB-BITUMINOUS
DENGAN METODE OKSIDASI ADIABATIK**

SKRIPSI

Oleh :

RUDY RUSTYADY RUSTAM

04 02 02 0552



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PENGARUH KELEMBABAN UDARA SUPLAI TERHADAP PEMBAKARAN SPONTAN BATUBARA SUB-BITUMINOUS DENGAN METODE OKSIDASI ADIABATIK

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin 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, 9 Januari 2008

RUDY RUSTYADY RUSTAM

NPM.0402020552

PERNYATAAN PUBLIKASI

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian jangka panjang mengenai “Pembakaran Spontan pada Batubara” dengan peneliti utama :

Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD.

Penggunaan data dan informasi yang tercantum dalam skripsi ini untuk maksud publikasi ilmiah dan populer hanya dapat dilakukan oleh peneliti utama atau atas ijin tertulis dari peneliti utama.

Depok, 9 Januari 2008

Peneliti Utama,

Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc., PhD.

NIP. 132 048 274

Rudy Rustyady Rustam

NPM 04 02 02 552

PENGESAHAN

Bahwa skripsi dengan judul:

PENGARUH KELEMBABAN UDARA SUPLAI TERHADAP PEMBAKARAN SPONTAN BATUBARA SUB-BITUMINOUS DENGAN METODE OKSIDASI ADIABATIK

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 3 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 9 Januari 2008

Dosen pembimbing.

Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc, PhD

NIP. 132 048274

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc.,PhD

Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Serta tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Kedua orang tua dan saudara tercinta yang selalu memberikan dukungan.
3. Ir. Hendri S. Budiono, M.Eng. sebagai kepala DTM FTUI.
4. Mas Yasin, Mas Syarief, Mas Suryadi, Mas Udiyono dan seluruh petugas piket yang selalu membantu saat penulis berada di lingkungan DTM.
5. Mas Iman, Caerul dan Dwi atas bantuannya dan rekan seperjuangan di lab.
6. Teman-teman M'02, terutama yang masih betah berada di DTM, yang banyak memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi.
7. Takin, Wahyu, Dafi, Zulfi, Nanto dan anak-anak kosan Widya lain yang selalu mendorong penulis agar segera menyelesaikan skripsi.
8. Dan seluruh pihak ,yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu.

DAFTAR ISI

Judul.....	i
Pernyataan Keaslian Skripsi	ii
Pernyataan Publikasi.....	iii
Pengesahan.....	iv
Ucapan Terimakasih.....	v
Abstrak.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. LATAR BELAKANG	1
I.2. TUJUAN PENULISAN.....	2
I.3. PEMBATAAN MASALAH.....	2
I.4. METODE PENULISAN.....	3
I.5. SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1. FAKTOR PENYEBAB TERJADINYA PEMBAKARAN SPONTAN.....	4
II.2. MEKANISME PEMBAKARAN SPONTAN	6
II.3. KELEMBABAN	7
II.4. PENGARUH KELEMBABAN TERHADAP PEMBAKARAN SPONTAN	9
II.5. METODE PENGUJIAN PEMBAKARAN SPONTAN BATUBARA....	15
II.6. KECENDERUNGAN PEMBAKARAN SPONTAN.....	19
II.7. THERMAL IGNITION THEORY.....	19
BAB III EKSPERIMENTAL.....	22
III.1. PENDAHULUAN.....	22
III.2. OKSIDASI ADIABATIK.....	23
III.3. PERPINDAHAN KALOR.....	25
III.3.1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi	25

III.3.2. Perpindahan Kalor Secara Konduksi Pada Sistem Radial-Silinder ..	26
III.3.3. Konveksi Pada Aliran Dalam Pipa.....	27
III.4. ALAT KONTROL	29
III.4.1. Oven Listrik Adiabatik.....	29
III.4.2. Termokopel	31
III.4.3. Modul ADAM 4018M dan 4520.....	31
III.4.4. PC Dengan Perangkat Lunak Advantech VisiDAQ.....	32
III.4.5. Solid-State Relay dan Relay Elektromekanik	32
III.4.6. Handy Board	33
III.4.7. Timbangan Elektronik.....	33
III.4.8. Pengatur Kelembaban	34
III.5. PROSEDUR EKSPERIMEN.....	35
III.6. ANALISIS KETIDAKPASTIAN.....	37
III.6.1. ADAM Module	37
III.6.2. Termokopel	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
IV.1. KARAKTERISTIK BATUBARA.....	39
IV.2. ANALISIS HASIL OKSIDASI ADIABATIK.....	39
IV.3. PENGUJIAN KELEMBABAN.....	40
IV.4. PENGARUH KELEMBABAN UDARA.....	41
IV.4.1. Kecenderungan Pembakaran Spontan.....	45
IV.4.2. Parameter Kinetik Oksidasi	47
IV.5. ANALISIS KETIDAKPASTIAN.....	50
BAB V KESIMPULAN.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram skematik stockpile batubara [Carras, J.N. et. Al, 1994].....	5
Gambar 2. 2 Reaksi Laju Pemanasan Batubara	6
Gambar 2. 3 Campuran udara kering dan uap air	8
Gambar 2. 4 Grafik Psikrometrik.....	8
Gambar 2. 5 Lapisan air (Chemically bound).....	9
Gambar 2. 6 Pengaruh temperatur terhadap kesetimbangan kandungan air pada satu partikel batubara (Monazam, 1998).....	10
Gambar 2. 7 Pengaruh kelembaban relative terhadap kesetimbangan kandungan air.....	10
Gambar 2. 8 Hasil penelitian kesetimbangan kandungan air dengan variasi kelembaban	11
Gambar 2. 9 Kesetimbangan kandungan air pada parikel batubara wyoming dengan beda kelembaban; [.] 30 % dan [+] 80 % kelembaban(Monazam, 1998)	11
Gambar 2. 10_Grafik oksidasi sub-bituminus dengan kandungan air berbeda (Nugroho,Muksin,2006).....	12
Gambar 2. 11 Grafik temperatur terhadap waktu dengan variasi kandungan air pada batubara BH9 (Boundary Hill-9), (Beamish,2005)	13
Gambar 2. 12_Grafik temperatur terhadap waktu dengan variasi kandungan air pada batubara BH1 (Boundary Hill-1), (Beamish,2005)	13
Gambar 2. 13 Kurva pemanasan mandiri untuk sampel BH9 dengan kandungan air 9,9% (Beamish,2005).....	14
Gambar 2. 14 Pengaruh persentasi kandungan air terhadap R_{70} (Nugroho, Muksin, 2006)	14
Gambar 2. 15 Pengaruh persentasi kandungan air terhadap R_{70} (Beamish, 2005)	15
Gambar 2. 16 Skema alat uji metode <i>Crossing Point</i>	16
Gambar 2. 17. Skema reaktor metode <i>Adiabatic Calorimetry</i> [Beamish, B.B. 2000]	18
Gambar 2. 18 Plot Pembentukan Kalor Dan Kehilangan Kalor Pada Pemantikan Spontan Campuran Bahan Bakar Dan Oksidan Dalam Bejana Tetap	21

Gambar 3. 1 Skema alat uji Oksidasi Adiabatik	23
Gambar 3. 2 Sistem adiabatik	24
Gambar 3. 3 Aliran kalor satu dimensi melalui silinder bolong [Holman, J.P., 1997].	27
Gambar 3. 4 Pipa tembaga yang diletakan di dalam oven	28
Gambar 3. 5 Oven Listrik Dan Sistem Didalamnya	30
Gambar 3. 6 Tabung Reaktor	30
Gambar 3. 7 Modul ADAM 4018M dan ADAM 4520	31
Gambar 3. 8 Solid state relay Opto 22	32
Gambar 3. 9 Relay elektronmekanik Autonics	33
Gambar 3. 10 Handy Board	33
Gambar 3. 11 Timbangan Elektronik.....	34
Gambar 3. 12 Kolom Air	34
Gambar 3. 13 Humidity meter dan kolom ukur	35
Gambar 3. 14 Rangkaian pengatur kelembaban	35
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Temperatur Sampel Dan Oven	40
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Kelembaban	41
Gambar 4. 3 Grafik temperatur terhadap waktu menggunakan 71% oksigen dengan variasi kelembaban	42
Gambar 4. 4 Grafik temperatur terhadap waktu menggunakan 44% oksigen dengan variasi kelembaban	43
Gambar 4. 5 Grafik temperatur terhadap waktu menggunakan 96% oksigen dengan variasi kelembaban	43
Gambar 4. 6 Grafik temperatur terhadap waktu untuk pengujian tanpa penambahan kelembaban	44
Gambar 4. 7 Grafik temperatur terhadap waktu untuk pengujian dengan RH 70%	44
Gambar 4. 8 Grafik temperatur terhadap waktu untuk pengujian dengan RH>95%	45
Gambar 4. 9 Plot R_{70} vs kelembaban udara	46
Gambar 4. 10 Plot $\ln(dT/dt)$ vs $(1000/T)$ untuk gas oksigen 71% kering.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel uji proksimasi dan ultimasi batubara sub-bituminous	39
Tabel 4. 2 Parameter Eksperimental	42
Tabel 4. 3 Nilai R_{70} dari 71% Oksigen dengan variasi kelembaban.....	46
Tabel 4. 4 Nilai R_{70} dari 44% Oksigen dengan variasi kelembaban.....	46
Tabel 4. 5 Nilai R_{70} dari 96% Oksigen dengan variasi kelembaban.....	46
Tabel 4. 6 Nilai A dan B	49
Tabel 4. 7 Energi aktivasi dan pre-eksponensial faktor	50

