



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENINGKATAN MUTU  
BATUBARA PERINGKAT RENDAH INDONESIA  
MELALUI TEKNIK *SLURRY DEWATERING***

**SKRIPSI**

**NANI ASWATI**

**0806368080**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENINGKATAN MUTU  
BATUBARA PERINGKAT RENDAH INDONESIA  
MELALUI TEKNIK *SLURRY DEWATERING***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana**

**NANI ASWATI**

**0806368080**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

**Nama : Nani Aswati**  
**NPM : 0806368080**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : Juni 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Nani Aswati  
NPM : 0806368080  
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia  
Melalui Teknik *Slurry Dewatering*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dijan Supramono M.Sc ( )  
Pembimbing : Ir. Hartiniati M.Eng ( )  
Penguji : Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam, MT ( )  
Penguji : Prof.Dr.Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA ( )  
Penguji : Elsa Krisanti, PhD ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi merupakan syarat kelulusan yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa Program S1 Departemen Teknik Kimia. Judul skripsi yang penulis pilih adalah *Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia Dengan Teknik Slurry Dewatering*.

Penyusunan skripsi ini tak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak, dan sekiranya pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada :

1. Ir. Dijan Supramono, M.Sc. selaku dosen pembimbing I dari Departemen Teknik Kimia FT UI.
2. Ir. Hartiniati, M.Eng. selaku pembimbing II yang sangat membantu dari pihak BPPT.
3. Ir. Yuliusman, M.Eng. selaku Koordinator Seminar Jurusan Teknik Kimia FTUI.
4. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
5. Seluruh pihak Departemen Teknik Kimia dan Fakultas Teknik UI.
6. Ir. Lambok H Silalahi, M.Eng. selaku Kepala Bidang Sumber Daya Energi Fosil, PTPSE-BPPT.
7. Septina Is Heriyanti, S.Si selaku Ketua Koordinator Laboratorium Pencairan Batubara.
8. Bapak Soleh selaku “ketua suku” dan Tuter sebagai tim teknis Laboratorium Pencairan Batubara yang setia membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.
9. Seluruh personil dan pihak manajemen Laboratorium Pencairan Batubara yang telah membantu memperlancar pelaksanaan penelitian ini.
10. Dr.SD Sumbogo Murti dan seluruh staf Lab.Karakterisasi Batubara B2TE-BPPT atas semua bantuan analisisnya dalam memperlancar pelaksanaan penelitian ini.
11. Orang tua, saudara, seluruh kerabat dan keluarga besar yang telah memberikan bantuan, doa, semangat dan dukungannya.
12. Teman-teman Ekstensi Teknik Kimia 2008 yang kompak, khususnya teman satu bimbingan dan para sahabat yang telah banyak memberikan inspirasi dan motivasi.

Penulis menyadari masih adanya kekurangsempurnaan dalam skripsi ini, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi kebaikan bersama. Akhir kata penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya.

Penulis

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

---

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

Nama : Nani Aswati

NPM : 0806368080

Program Studi : Ekstensi 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 :

**Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia  
Melalui Teknik *Slurry Dewatering***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan 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 : Juni 2011

Yang menyatakan,

( Nani Aswati )

## ABSTRAK

Nama : Nani Aswati  
Program studi : Ekstensi Teknik Kimia  
Judul : Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia  
Melalui Teknik *Slurry Dewatering*

Proses peningkatan mutu batubara peringkat rendah dengan *slurry dewatering* merupakan pengembangan dari proses UBC (*Upgrading Brown Coal*). Proses tersebut memanfaatkan pelarut limbah CPO parit dan minyak jelantah, menggantikan kerosin dan residu minyak bumi yang digunakan dalam proses UBC. *Slurry dewatering* dioperasikan pada temperatur dan tekanan rendah, sekitar 150°C dan 1 atmosfer. Proses ini dimaksudkan hanya untuk mengurangi sebagian besar kandungan air dalam batubara, jadi hanya melibatkan proses fisika (*dewatering*) tanpa melibatkan proses kimia atau pirolisis sehingga limbah cair dan emisi gas yang dihasilkan tidak berbahaya. Batubara dengan ukuran partikel < 3mm dan pelarut dimasukkan ke dalam reaktor tertutup (*autoclave*) berpengaduk, dengan rasio berat pelarut dan batubara bebas air 1; 1,5 dan 2. *Slurry* batubara dan pelarut dipanaskan dalam reaktor hingga mencapai temperatur 150°C selama sekitar 2 jam. Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis pelarut : CPO parit, jelantah dan campuran 50/50 CPO parit dan jelantah. Uap air batubara dikondensasi dan dikumpulkan untuk dianalisa kadar BOD dan pH-nya. Pelarut yang telah dipisahkan dari batubara dengan menggunakan separator sentrifugal, *direct cycle* dengan *make-up* sekitar 20%. Batubara yang sudah kering selanjutnya dibriket untuk memudahkan dalam transportasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *slurry dewatering* dengan menggunakan ketiga jenis pelarut tersebut mampu menurunkan kadar air batubara rata-rata 90% dan peningkatan nilai kalor hingga > 40%, serta meningkatkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 50%. Rasio pelarut dan batubara bebas air 1,5 memberikan hasil *dewatering* terbaik, sedangkan dari ketiga jenis pelarut yang digunakan, pelarut campuran mampu menurunkan kadar air tertinggi dibandingkan jelantah dan CPO parit. Limbah cair yang dihasilkan memiliki nilai BOD yang memenuhi syarat baku mutu lingkungan dan aman dibuang ke lingkungan setelah dilakukan pengolahan dengan bahan penetral yang murah dan efektif.

Kata kunci : *slurry dewatering*, batubara peringkat rendah, nilai kalor, minyak jelantah, CPO parit.

## ABSTRACT

Name : Nani Aswati  
Study Program : Extension of Chemical Engineering  
Title : Indonesian Low Rank Coal Upgrading with Slurry Dewatering Process

The process of improving the quality of low rank coal by slurry dewatering process is the development of UBC (Upgrading of Brown Coal). The process utilizes a solvent trenches CPO and waste cooking oil, replacing kerosene and petroleum residue used in the UBC. Slurry dewatering operated at temperatures and low pressures, approximately 150°C and 1 atmosphere. This process is intended only to reduce most of the moisture content in coal, so it only involves physical processes (dewatering) without involving chemical processes or pirolisa so that liquid waste and gas emissions are produced is not harmful. Coal with particle size < 3mm and the solvent incorporated into a closed reactor (autoclave) stirred, with a weight ratio of solvent and water-free coal 1, 1.5 and 2. Slurry mixture of coal and solvent is heated in the reactor until the temperature reaches 150°C for about 2 hours. This study used three types of solvents : CPO trenches, waste cooking oil and 50/50 mixture of CPO trenches and waste cooking oil. Coal water vapor is condensed and collected for analysis levels of BOD and pH value. Solvents which have been separated from the coal by using centrifugal separator, in recycle with make-up around 20%. Coal was dried further brequetting process for ease in transportation. The results showed that the slurry dewatering process by using three types of solvents are able to lower the moisture content of coal on average 90% and an increase in calorific value of up to > 40%, and increasing the maximum combustion temperature by 50%. The ratio of solvent and water-free coal dewatering 1.5 gives the best results, while of the three types of solvent used, solvent mixtures can reduce the water content of the highest compared to cooking and CPO trenches. Liquid waste generated has a value of BOD qualified environmental quality standards and safe disposal into the environment after treatment with a neutralizing agent is cheap and effective.

Key words: slurry dewatering, low rank coal, calorific value, cooking oil, palm oil trenches.

## DAFTAR ISI SKRIPSI

Halaman Sampul.....	i
Halaman Judul .....	ii
Halaman Pernyataan Orisinilitas .....	iii
Halaman Pengesahan.....	iv
Kata Pengantar.....	v
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi Tugas Akhir .....	vi
Abstrak.....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xv
Daftar Lampiran .....	xvi
Bab I Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Metode Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
Bab II Tinjauan Pustaka.....	7
2.1 Batubara.....	7
2.2 Struktur Batubara.....	8
2.3 Parameter Analisis Batubara .....	11
2.3.1 <i>Moisture</i> .....	11
2.3.2 <i>Ash Content</i> .....	13
2.3.3 <i>Volatile Matter</i> .....	14
2.3.4 Fixed Carbon.....	15
2.3.5 Nilai Kalori .....	15
2.3.6 HGI.....	16

2.4	Karakteristik Batubara pada Tiap Klasifikasi Batubara .....	16
2.5	Pemanfaatan Batubara Peringkat Rendah .....	18
2.6	Mekanisme Penurunan Kadar Air dalam Peningkatan Mutu Batubara.....	19
2.7	Pemanfaatan Limbah sebagai Bahan Penstabil dalam Proses <i>Dewatering</i> .....	22
	2.7.1 Minyak Goreng Bekas (jelantah).....	22
	2.7.2 CPO parit.....	23
2.8	Karakter <i>Hydrophobic</i> Batubara.....	24
2.9	Pembriketan Batubara .....	27
	2.9.1 Kekuatan Mekanik Briket Batubara .....	26
	2.9.2 Bahan Aditif Briket Batubara .....	27
	2.9.3 Bahan Aditif Briket Batubara untuk Mempercepat Proses Penyalaan .....	28
2.10	Mekanisme Penyalaan Briket Batubara .....	28
2.11	Pembakaran Batubara.....	34
	2.11.1 Pembakaran Sempurna .....	34
	2.11.2 Pembakaran Tidak Sempurna .....	35
	2.11.3 Pembakaran Sempurna .....	35
2.12	Proses Pembakaran Bahan Bakar Padat.....	36
	2.12.1 Pengeringan .....	36
	2.12.2 Devolatilisasi.....	37
	2.12.3 Pembakaran Arang .....	38
2.13	Emisi CO.....	39
2.14	Penanganan Air Limbah Proses Pengolahan Batubara .....	40
	2.14.1 Air Limbah Pengolahan Batubara.....	41
	2.14.2 Air Limbah Pengolahan CPO parit.....	41
2.15	Teknologi Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah.....	42
	2.15.1 Penelitian Sebelumnya .....	45
	2.15.2 Pengembangan dari Penelitian Sebelumnya .....	46
Bab III Metode Penelitian.....		48
3.1	Diagram Alir Proses.....	48
3.2	Bahan Baku Penelitian .....	49

3.2.1	Karakteristik Batubara.....	49
3.2.2	Karakteristik Pelarut .....	51
3.3	Peralatan .....	52
3.3.1	Peralatan Preparasi Batubara.....	52
3.3.2	Peralatan <i>Slurry Dewatering</i> .....	53
3.3.3	Peralatan Pemisahan <i>Slurry Dewatering</i> .....	53
3.3.4	Peralatan Analisis <i>Solvent Recovery</i> .....	53
3.3.5	Peralatan Pembriketan Batubara.....	53
3.4	Prosedur Penelitian .....	54
3.4.1	Persiapan Bahan dan Alat .....	54
3.4.2	Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	54
3.4.3	Proses Pemisahan <i>Slurry</i> .....	55
3.4.4	Pembriketan Batubara.....	56
3.4.5	Uji Karakteristik Pembriketan Batubara .....	57
3.4.6	Analisis.....	58
3.5	Variabel Pengujian.....	58
Bab IV	Pembahasan .....	60
4.1	Peningkatan Mutu Batubara Muda dengan Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	61
4.2	Kestabilan Batubara Produk <i>Slurry Dewatering</i> .....	62
4.3	Kinerja Solvent dalam Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	63
4.4	Kinerja Solvent dalam Meningkatkan Nilai Kalor.....	67
4.5	Uji Pembakaran Briket Batubara Produk <i>Slurry Dewatering</i> .....	69
4.6	Uji Kualitas Produk <i>Slurry Dewatering</i> dengan Recycle Solvent .....	71
4.7	Pengaruh Penambahan <i>Binder</i> pada Uji Pembakaran .....	73
4.8	Pengaruh Kecepatan Udara pada Uji Pembakaran Briket.....	75
4.9	Emisi CO dari Proses Pembakaran Briket.....	76
4.10	Karakterisasi Limbah Cair Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	77
Bab V	Kesimpulan dan Saran .....	79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	80

Daftar Referensi .....	81
Lampiran .....	82



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Terbentuknya Batubara.....	8
Gambar 2.2	Derajat Pematangan Batubara.....	8
Gambar 2.3	Struktur Dasar Batubara dari Berbagai Peringkat.....	9
Gambar 2.4	Batubara Lignit .....	10
Gambar 2.5	Batubara Bituminus .....	11
Gambar 2.6	Batubara Antrasit .....	11
Gambar 2.7	Analisa Proksimat dan Nilai Kalor Berbagai Peringkat Batubara .....	17
Gambar 2.8	Nilai Kalori dan Komposisi Karbon Tiap Peringkat Batubara .....	17
Gambar 2.9	Diagram dari Unsur Pokok Batubara .....	25
Gambar 2.10	Efek Kerja Kohesi dan Adhesi <i>Liquid</i> ke Padatan.....	26
Gambar 2.11	Terbentuknya Lapisan Batas Laminar pada Permukaan Briket.....	30
Gambar 2.12	Terbentuknya Awan <i>Volatile Matter</i> pada Permukaan Briket.....	30
Gambar 2.13	Proses Pembakaran pada Awan <i>Volatile Matter</i> .....	31
Gambar 2.14	Ilustrasi Pembakaran Sempurna, Pembakaran Tidak Sempurna dan Pembakaran Spontan.....	33
Gambar 2.15	Ilustrasi Proses Pengeluaran Air dari Partikel Batubara pada Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	47
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	48
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengujian Kualitas Batubara .....	50
Gambar 3.3	Uji Penyalaan Batubara .....	51
Gambar 3.4	Skema Alat Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	55
Gambar 3.5	Rangkaian Alat Proses <i>Slurry Dewatering</i> dengan <i>Autoclave 5L</i> , dengan Kontrol Panel dan Proses Pengambilan <i>Slurry</i> dari <i>Autoclave 5L</i> .....	55
Gambar 3.6	Skema Alat Proses Pemisahan <i>Slurry Dewatered</i> .....	56
Gambar 3.7	Alat Proses Pemisahan <i>Slurry Dewatered</i> , batubara dan minyak yang terpisahkan.....	56
Gambar 3.8	Alat Cetakan dan Pengepres Briket Batubara.....	57
Gambar 3.9	Produk Briket Batubara.....	57

Gambar 3.10	Rangkaian Alat Uji Pembakaran Batubara.....	58
Gambar 4.1	Perbandingan Profil <i>Moisture</i> Antara Batubara Sebelum dan Sesudah Proses <i>Slurry Dewatering</i> dan Setelah Pembriketan.....	62
Gambar 4.2	Perbandingan Kinerja <i>Solvent</i> pada Proses Penurunan <i>Moisture</i> .....	64
Gambar 4.3	Ilustrasi Volume <i>Slurry</i> pada Variasi Rasio <i>Solvent/Coal</i> .....	67
Gambar 4.4	Perbandingan Kinerja <i>Solvent</i> pada Proses Peningkatan Kalori.....	67
Gambar 4.5	Profil Uji Pembakaran Briket Batubara.....	69
Gambar 4.6	Ilustrasi Proses Pembakaran Bahan Bakar .....	70
Gambar 4.7	Uji Pembakaran Briket Batubara dengan <i>Recycle Solvent</i> .....	73
Gambar 4.8	Pengaruh Pemakaian <i>Binder</i> pada Uji Pembakaran Briket.....	74
Gambar 4.9	Profil Uji Pembakaran dengan Pengaruh Kecepatan Udara.....	76



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Batubara Berdasarkan Analisis Ultimat pada Tiap Peringkat.....	18
Tabel 2.2	Temperatur Penyalaan Beberapa Bahan Bakar .....	29
Tabel 2.3	Pengaruh Beberapa Parameter terhadap Temperatur dan Waktu Penyalaan .....	29
Tabel 2.4	Karakteristik Air Limbah Industri.....	42
Tabel 2.5	Pemilihan Aplikasi Teknologi yang akan digunakan dalam Penelitian .....	42
Tabel 3.1	Analisis Karakteristik Batubara .....	49
Tabel 3.2	Perbandingan Viskositas Pelarut .....	51
Tabel 3.3	Tabulasi Variabel Pengujian .....	59
Tabel 4.1	Perbandingan Karakteristik Batubara Sebelum dan Sesudah Proses <i>Slurry Dewatering</i> melalui Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalori .....	61
Tabel 4.2	Temperatur Pembakaran Maksimum dan Nilai Kalori Batubara dalam Briket....	70
Tabel 4.3	Data Analisis Proksimat dan Nilai Kalori Batubara Produk <i>Slurry Dewatering</i> dengan <i>Recycle Solvent</i> .....	72
Tabel 4.4	Analisis Proksimat Briket Batubara Produk <i>Slurry Dewatering</i> .....	74
Tabel 4.5	Emisi CO dari Proses Pembakaran Briket Batubara.....	77
Tabel 4.6	Analisis Air Limbah Cair dari Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	77

## DAFTAR LAMPIRAN

Data Perhitungan Neraca Massa pada Proses <i>Slurry Dewatering</i> .....	83
Data Perhitungan Suplai Udara pada Uji Pembakaran Briket.....	97



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sebagai usaha meningkatkan daya saing ekonomi, khususnya sektor industri sebagai tulang punggung kegiatan ekonomi, usaha ini memerlukan dukungan dari semua pihak agar dapat berjalan lancar. Bahan bakar migas mempunyai fungsi yang sangat strategis dalam mendukung pembangunan nasional terutama dalam sektor industri, transportasi serta sektor lain pada umumnya.

Untuk memperlancar produksi migas telah banyak dilakukan eksploitasi besar-besaran. Namun jika konsumsi migas tersebut meningkat dari tahun ke tahun maka persediaannya akan semakin menipis, dan cadangan migas Indonesia akan habis jika tidak ditemukan cadangan baru. ESDM pada pertengahan tahun 2010 mendata potensi minyak bumi masih tersisa sekitar 7,99 miliar barrel untuk rasio cadangan selama 23 tahun. Oleh karena itulah diperlukan usaha diversifikasi energi untuk kebutuhan di masa mendatang. Walaupun dewasa ini penelitian mengenai bahan bakar terbarukan terus digalakkan dan pemanfaatannya mulai mendapatkan perhatian publik, namun bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam, dan batubara) tetap dipercaya sebagai sumber energi dunia, setidaknya lebih dari 50 tahun ke depan. Untuk itu, peningkatan efisiensi utilisasi bahan bakar fosil harus dilakukan dengan terus memperhatikan faktor lingkungan.

Dalam usaha diversifikasi energi ini, batubara sebagai salah satu energi non-migas primer alternatif, mempunyai peluang cukup besar sebagai pengganti minyak bumi dalam pemenuhan kebutuhan energi guna menunjang pertumbuhan ekonomi. Hal tersebut didukung oleh cadangan batubara Indonesia yang masih tersimpan sekitar 20,98 miliar ton untuk rasio cadangan 83 tahun. Potensi batubara tersebut tersebar di berbagai pulau di Indonesia, terutama di pulau Sumatera dan Kalimantan. Berdasarkan data tersebut, terlihat masih terdapat potensi besar untuk mengembangkan batubara sebagai sumber bahan bakar komersial. Berdasarkan data

*International Energy Agency 2009*, Indonesia merupakan penghasil batubara terbesar ke -6 di dunia setelah RRC,AS,India,Australia,dan Rusia .

Sekitar 60% dari total sumberdaya batubara tersebut adalah batubara muda, peringkat rendah. Selain nilai kalornya rendah (<4000 kkal/kg) batubara ini juga umumnya mudah terbakar pada saat pengangkutan maupun di *stock-pile*, sehingga tidak mudah menanganinya. Akibatnya batubara jenis *lignite* ini tidak dapat dijual atau harus dijual dengan harga yang sangat rendah. Untuk dapat memanfaatkan seluruh potensi batubara muda tersebut secara maksimal diperlukan bantuan teknologi yang dapat menjadikan komoditi yang kurang menarik tersebut menjadi suatu komoditi andalan yang mempunyai nilai ekonomi yang tinggi.

Pengembangan pemanfaatan batubara dapat dilakukan dengan berbagai proses, seperti proses pembakaran (*combustion*), gasifikasi (*gasification*), pencairan (*liquefaction*), dan karbonisasi (*carbonitiation*). Selain itu terdapat juga proses pirolisis dan pembuatan briket.

Teknologi yang telah diterapkan dalam meningkatkan mutu batubara peringkat rendah di Indonesia antara lain *Brown Coal Liquefaction (BCL)* dalam proses pencairan batubara, hasil kerjasama Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dengan NEDO yang telah dibangun dan dioperasikan dalam bentuk Bench Scale Unit di Laboratorium Pencairan Batubara, Puspiptek Serpong (*Feasibility Coal Liquefaction, 1999*). Sedangkan untuk proses pembakaran batubara telah dikembangkan *Upgraded Brown Coal (UBC)*, hasil kerjasama Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (Puslitbang tekMIRA), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dengan Japan Energy Coal Centre (JCOAL), Kobe Steel Ltd., dan Sojitz Corporation yang telah dibangun dan dioperasikan dalam bentuk pilot plant di Palimanan, Cirebon (*UBC Palimanan Project Document, 2003*).

Penelitian ini akan mengaplikasikan teknologi peningkatan mutu batubara peringkat rendah untuk proses pembakaran dengan upaya menurunkan kadar air dan kandungan oksigen batubara namun mempunyai nilai kalori tinggi sehingga nantinya akan dapat meningkatkan efisiensi sumber energi padat (*solid fuel*) sebagai

bahan bakar industri ataupun pembangkit tenaga listrik. Hal ini dapat membantu meningkatkan suplai energi di sektor ekonomi strategis.

Metode peningkatan mutu batubara meliputi 3 prinsip, yaitu pirolisis, evaporasi, dan non evaporasi (J.A, David., C.Y, Young., *Utilization of Low Rank Coals*). Penelitian ini akan mengaplikasikan teknologi peningkatan mutu batubara peringkat rendah dengan metode *slurry dewatering* yang telah menunjukkan hasil dengan efisiensi cukup tinggi berdasarkan data studi awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Pencairan Batubara, Puspiptek Serpong. Hasil dan profil kondisi operasi dengan metode *slurry dewatering* ini juga merupakan bagian dari uji performansi fasilitas peralatan peningkatan mutu batubara di Laboratorium Pencairan Batubara, PTPSE-BPPT, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang. Hasil studi menunjukkan bahwa proses *slurry dewatering* dapat diaplikasikan secara efektif untuk batubara muda Indonesia.

Metode *slurry dewatering* memerlukan bahan penstabil (*coating agent*). Penstabil ini digunakan untuk mengisi pori-pori batubara setelah terbuka dan kosong serta menutup permukaan batubara untuk mencegah terserapnya air yang telah teruapkan kembali ke batubara. Proses cukup beroperasi pada temperatur dan tekanan rendah sehingga diharapkan tidak memerlukan biaya operasi yang tinggi. Melihat keuntungan tersebut, maka metode *slurry dewatering* pantas dipilih untuk mendapatkan suatu proses yang lebih efisien dan ekonomis sehingga memungkinkan penerapan ke arah komersial.

Batubara yang digunakan adalah batubara peringkat rendah, *Lignite*. Batubara muda ini dipilih karena tersedia banyak, yaitu sekitar 60% dari batubara Indonesia yang belum banyak dieksploitasi. Selain itu batubara ini paling mudah terkonversi di antara peringkat batubara lainnya oleh karena memiliki porositas yang lebih besar sehingga kandungan air, metana dan zat mudah menguap lainnya, mudah terdifusi keluar selama proses pemanasan (Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, 2010).

Sedangkan bahan penstabil yang digunakan adalah minyak jelantah (minyak goreng bekas pakai) yang merupakan limbah yang tak termanfaatkan karena telah mengalami perubahan struktur sehingga sudah kurang aman bagi kesehatan untuk digunakan memasak makanan kembali dan riskan terhadap penyakit kanker jika

dikonsumsi dalam jumlah banyak secara terus-menerus. Minyak jelantah memiliki titik didih sekitar 300-420<sup>0</sup>C Di sisi lain minyak goreng bekas (jelantah) yang merupakan buangan berbagai macam proses ini memiliki potensi yang tinggi untuk dijadikan bahan bakar karena memiliki kandungan atom karbon dan hidrogennya yang tinggi, setara dengan minyak residu yang digunakan dalam *Upgraded Brown Coal (UBC)*. Di Indonesia khususnya Kalimantan Selatan, potensi untuk mendapatkan CPO parit dan minyak jelantah diperkirakan cukup mudah karena tingginya penggunaan minyak goreng dan produksi minyak CPO yang besar dengan sebaran lahan yang menunjang ketersediaan bahan baku minyak goreng.

Pada studi awal, aplikasi metode *slurry dewatering* dengan menggunakan batubara peringkat rendah dan bahan penstabil berupa minyak kerosin dan zat additive berupa residu yang dioperasikan pada reaktor berpengaduk, autoclave berkapasitas 5 liter dengan temperatur operasi 150°C dan tekanan 350 kPa telah menunjukkan hasil dengan efisiensi lebih dari 80% dan meningkatkan nilai kalori hingga 50%, sesuai sifat asal batubara yang digunakan (Laporan Akhir Insentif BPPT, 2010). Pada penelitian kali ini, metode tersebut akan dikembangkan dengan pemanfaatan limbah minyak goreng bekas (minyak jelantah) dan CPO parit sebagai *coating agent*. Pemakaian minyak jelantah dan CPO parit ini selain sebagai pemanfaatan limbah juga efisiensi operasionalnya, karena dengan titik didih kedua bahan tersebut yang lebih tinggi sehingga tidak mudah menguap pada rentang temperatur 150-200°C , maka diharapkan kondisi operasinya cukup memerlukan tekanan atmosferik saja. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan diuji karakteristik produk batubara peringkat rendah Indonesia yang ditingkatkan mutunya melalui metode *slurry dewatering* dengan variasi limbah CPO parit dan minyak jelantah.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Seberapa efektif teknik *slurry dewatering* terhadap peningkatan mutu batubara peringkat rendah Indonesia?
2. Apakah minyak jelantah dan CPO parit merupakan bahan penstabil yang cocok dalam proses peningkatan mutu batubara peringkat rendah Indonesia?
3. Bagaimana karakteristik produk dan limbah proses *slurry dewatering*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menguji karakteristik batubara peringkat rendah Indonesia melalui proses *slurry dewatering* untuk meningkatkan mutu dan nilai jualnya sehingga dapat dipasarkan dengan harga yang kompetitif dengan potensi cadangannya yang melimpah dan tersebar di berbagai lokasi tambang di Indonesia.
2. Memanfaatkan limbah rumah tangga, restoran dan industri makanan berupa minyak goreng bekas (jelantah) dan CPO parit sebagai bahan pelarut sekaligus bahan penstabil dalam proses *slurry dewatering* untuk diuji karakteristiknya berkaitan dengan aktivitasnya dalam proses dan produk hasil uji dalam paparan udara pada temperatur ruang.
3. Menghasilkan bahan baku batubara untuk rumah tangga, industri kecil dan pembangkit listrik serta memungkinkan juga untuk diekspor dengan kualitas yang setara dengan batubara bituminous ataupun sub-bituminous, yang dicirikan dengan nilai kalor tinggi, namun mempunyai kandungan sulfur dan abu yang tetap rendah sehingga efek polusinya juga relatif lebih rendah.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Batubara yang digunakan adalah batubara jenis *Lignite*, Eco yang diperoleh dari penambangan PT. Arutmin, Kalimantan Selatan.
2. Bahan penstabil yang digunakan dalam proses *slurry dewatering* adalah minyak goreng bekas atau minyak jelantah dan CPO parit.
3. Proses *slurry dewatering* dioperasikan pada reaktor *autoclave* berkapasitas 5 liter yang dilengkapi dengan sistem kondensasi uap air, sedangkan pemisahan produk dari *slurry dewatered* dilakukan pada separator sentrifugal dengan kecepatan putar yang mencapai 3000 rpm.
4. Perbandingan kualitas batubara sebelum dengan sesudah proses peningkatan mutunya melalui analisis proksimat, ultimat, nilai kalori, temperatur pembakarannya dan emisi CO dari proses pembakaran tersebut.

### 1.5 Metode Penelitian

1. Penelitian difokuskan pada proses *slurry dewatering* serta faktor-faktor yang mempengaruhi proses dan produk.
2. Melakukan pengujian tentang efisiensi *dewatering* dengan variasi jenis dan ratio pelarut terhadap batubara dalam proses *slurry dewatering* dengan menggunakan reaktor autoclave 5 liter tipe *batch* berpengaduk.
3. Melakukan perbandingan analisis batubara sebelum dan sesudah proses peningkatan mutunya.
4. Melakukan analisis kualitas limbah cair dari proses tersebut.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

#### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

#### BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat penjelasan mengenai batubara, mekanisme penurunan kadar air batubara, teknologi *slurry dewatering* dan perbandingannya dengan metode yang lain, pemanfaatan limbah sebagai bahan penstabil dalam *slurry dewatering*, proses pembakaran dan baku mutu emisi batubara di PLTU terhadap lingkungan.

#### BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini memuat diagram alir proses, bahan dan peralatan yang digunakan, prosedur penelitian beserta variable pengujian yang dilakukan.

#### BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat hasil percobaan dalam penelitian serta pembahasannya.

#### BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk perbaikan dalam pengkajian selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

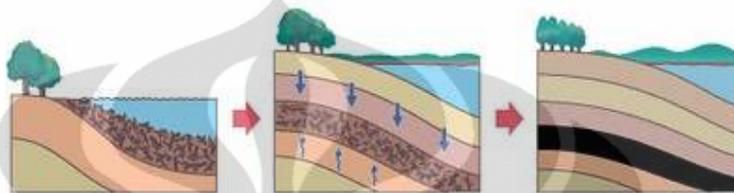
Batubara merupakan bahan bakar padat dari energi fosil, terbentuk dari akumulasi endapan organik dan sisa-sisa tumbuhan yang mengalami proses pembatubaraan selama jutaan tahun.

### 2.1 Proses Pembentukan Batubara

Batubara berasal dari sisa-sisa tumbuhan mati yang tergenang dan tertimbun dalam rawa-rawa gambut (*peat*) atau air, kemudian tertutup oleh endapan lain yang berasal dari unsur organik. Material tumbuhan yang mati tersebut mengalami evolusi yang prosesnya berlangsung sejak periode karbon (*carboniferous period*) kurang lebih 350 juta tahun lalu sampai dengan periode neosin (*neocene period*) kurang lebih jutaan tahun lalu melalui dua fase yaitu dekomposisi secara biokimia dan geokimia. Di Indonesia, endapan batubara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan Tersier, yang terletak di bagian barat Paparan Sunda (termasuk Pulau Sumatera dan Kalimantan), pada umumnya endapan batubara ekonomis tersebut dapat dikelompokkan sebagai batubara berumur Eosen atau sekitar Tersier Bawah, kira-kira 45 juta tahun yang lalu dan Miosen atau sekitar Tersier Atas, kira-kira 20 juta tahun yang lalu menurut skala waktu geologi .

Penjelasan tentang tempat terbentuknya batubara dikenal dua macam teori yaitu teori *insitu* dan teori *drift*. Teori *insitu* mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara, terbentuknya ditempat dimana tumbuh-tumbuhan asal itu berada. Dengan demikian maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengetahui proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses pembatubaraan (*coalification*). Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil. Batubara yang terbentuk seperti ini di Indonesia didapatkan di lapangan batubara Muara Enim, Sumatera Selatan. Sedangkan teori *drift* menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan berkembang. Dengan demikian tumbuhan yang telah mati diangkut oleh media air dan berakumulasi disuatu tempat, tertutup oleh batuan sedimen dan mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk

dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, tetapi di jumpai di beberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang terangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi. Batubara yang terbentuk seperti ini di Indonesia didapatkan dilapangan batubara delta Mahakam Purba, Kalimantan Timur.



Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Batubara

Pada dekomposisi biokimia, material tumbuhan mengalami dekomposisi parsial dengan aksi dari mikroorganisme anaerobik sejenis jamur (*fungi*), yang membentuk *humid acid* kemudian membentuk gambut (*peat*). Fase biokimia atau tahap pembentukan *peat* terganggu ketika *peat* tertutup dengan sedimen, mengalami pemadatan pada tekanan dan temperatur yang tinggi dalam waktu yang lama, kemudian mulailah terbentuk senyawa batubara. Sedangkan pada fase geokimia atau metamorfik, endapan *peat* mengalami pematangan atau pembentukan batubara menjadi *Lignite*, *subbituminous*, *Bituminous* dan *Anthracite*. Derajat pematangan tersebut menunjukkan peringkat dan merupakan fungsi panas, waktu, dan tekanan seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut :

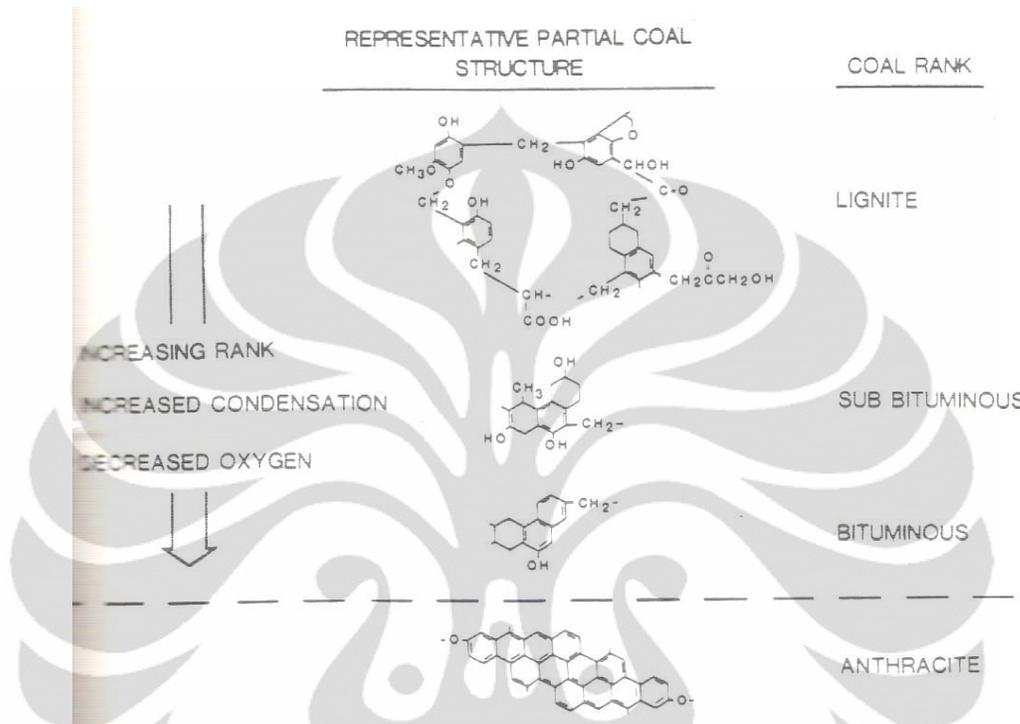


Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.2 Derajat pematangan Batubara

## 2.2 Struktur Batubara

Struktur batubara untuk setiap peringkat batubara ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini :



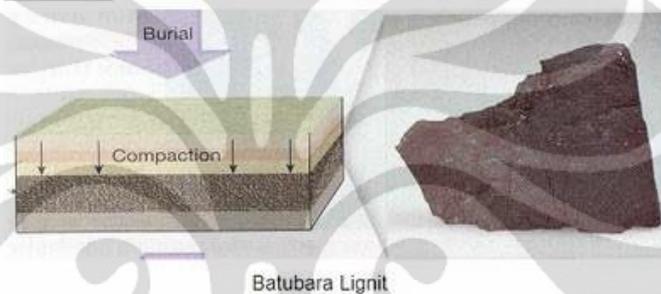
Sumber : James J. Reuther, 1984

Gambar 2.3. Struktur dasar batubara dari berbagai peringkat

Struktur batubara peringkat tinggi (*Bituminous* dan *Anthracite*) memiliki struktur planar aromatis besar seperti grafit dengan berat molekul tinggi. Sedangkan struktur batubara peringkat rendah (*Lignite*) terdiri dari sedikit cincin aromatis dan berat molekul kelompok cincin yang rendah, banyak mengandung gugus fungsional, memiliki kandungan air dan oksigen total yang tinggi. Oksigen dalam batubara peringkat rendah ini berada dalam bentuk organik yang sebagian besar berupa gugus karboksilat, dimana konsentrasi gugus tersebut menurun dengan naiknya peringkat batubara .

Batubara peringkat rendah (*Lignite*) memiliki struktur lebih renggang daripada batubara peringkat tinggi (*Anthracite*) sehingga *Lignite* lebih mudah terkonversi pada tekanan dan temperatur lebih rendah. Pembahasan masing-masing jenis batubara dapat diuraikan sebagai berikut:

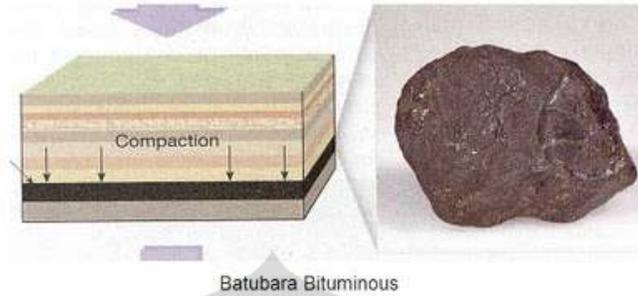
- *Lignite*, merupakan batubara peringkat terendah, dibentuk dari gambut melalui penekanan dan metamorfosa. Warnanya berubah menjadi coklat kehitaman dan terdiri dari bahan kayuan yang dapat dikenali yang terkubur dalam bahan tanaman yang terdekomposisi parsial dan terhancurkan (*macerated*). *Lignite* memperlihatkan sambungan bergaris, kandungan air yang tinggi dan nilai kalor rendah dibandingkan batubara peringkat tinggi. Batubara jenis ini dijual secara eksklusif sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). *Lignite* dijumpai pada kondisi yang masih muda, berkisar *Cretaceous* sampai Tersier.



Sumber : <http://3.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.4. Batubara Lignit

- *Subbituminous*, batubara ini sulit dibedakan dari batubara *Bituminous*. Warnanya hitam kabur dengan sedikit bahan kayuan. Ia juga mempunyai strip bersambungan dan bidang datar yang teratur. Batubara biasanya memecah secara sejajar dengan bidang datar. Ia juga telah kehilangan sebagian kandungan air dan masih relatif mempunyai nilai kalor yang rendah.
- *Bituminous*, batubara ini berupa padatan pejal yang berstrip, rapuh dan berwarna hitam gelap. Ia lebih tahan terhadap disintegrasi di udara daripada batubara *Subbituminous* dan *Lignite*. Kandungan volatil bervariasi dari sedang hingga tinggi dan keras serta rapuh dan mengkilat. Kandungan airnya rendah dengan kandungan karbon yang tinggi.



Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.5. Batubara Bituminous

- Antrasit merupakan peringkat teratas batubara, biasanya dipakai untuk bahan pemanas ruangan di rumah dan perkantoran. Batubara antrasit berbentuk padat (*dense*), batu-keras dengan warna *jet-black* berkilauan (*luster*) metalik dengan struktur kristal dan konkoidal pecah. Antrasit terbakar lambat, dengan batasan nyala api biru (*pale blue flame*) dengan sedikit sekali asap. Antrasit terbentuk pada akhir karbon oleh pergerakan bumi yang menyebabkan pemanasan dan tekanan tinggi yang merubah material berkarbon seperti yang terdapat saat ini.



Gambar 4. Batubara Antrasit

Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.6. Batubara Antrasit

### 2.3 Parameter Analisis Batubara

Jenis analisa atau parameter untuk menentukan kualitas suatu batubara banyak sekali antara lain *physical property*, *chemical property*, *pilot scale test*, dll.

- *physical property* misalnya ; HGI, *Sieve analysis*, *Drop shatter*, *bulk density*.
- *chemical property* misalnya ; *Proximate*, *Ultimate*, *Ash analysis*.
- *pilot scale test* misalnya ; *Test Sponcomb*, *Test burn*, *Wet tumble test*, dll.

Begitu banyak test atau analisis yang dilakukan terhadap batubara dengan tujuannya masing-masing. Ditinjau dari tujuannya, *coal analysis* dapat dibagi ke dalam dua tujuan utama yaitu tujuan studi dan tujuan komersial.

### 2.3.1 *Moisture*

Moisture di dalam batubara dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu *inherent moisture* dan *extraneous moisture*. *Inherent moisture* adalah moisture yang terkandung dalam batubara dan tidak dapat menguap atau hilang dengan pengeringan udara atau *air drying* pada *ambien temperature* walaupun batubara tersebut telah dihancurkan hingga ukuran 200 mikron. *Inherent moisture* ini hampir menyatu dengan struktur molekul batubara karena berada pada kapiler yang sangat kecil dalam partikel batubara. Nilai *inherent moisture* ini tidak fluktuatif dengan berubah-ubahnya humiditas ruangan. Moisture ini baru bisa dihilangkan dari batubara pada pemanasan lebih dari 100 derajat Celsius. Sedangkan *extraneous moisture* adalah moisture yang berasal dari luar dan menempel atau teradsorpsi di permukaan batubara atau masuk dan bergabung dalam retakan-retakan atau lubang-lubang kecil batubara. Sumber *extraneous moisture* ini misalnya ; air dari genangan, air hujan, dan lain-lain. *Moisture* ini dapat dihilangkan atau diuapkan dengan cara *air drying* atau pemanasan di oven pada *ambien temperature*. Ada yang mengistilahkan untuk moisture ini adalah *surface moisture* atau *free moisture*.

*Total Moisture* biasanya ditentukan pada batubara mulai dari eksplorasi sampai *transshipment*. Nilainya sangat penting, karena dalam penjualannya nilai TM sangat diperhatikan dan menentukan harga dari batubara tersebut, selain berpengaruh pada nilai parameter-parameter lain dalam *basis as received*. Dalam eksplorasi, TM ditentukan untuk menaksir atau memperkirakan nilai TM batubara *in-situ* sekaligus untuk menentukan nilai *surface moisture* dari selisih antara TM dan EQM. Karena TM adalah jumlah dari EQM dengan *surface moisture* ( $TM = EQM + SM$ ).

Pada *coal in bulk*, nilai TM ini dipengaruhi oleh luas permukaan batubara (*size distribution*) juga oleh cuaca, sehingga nilai TM pada *coal in bulk* relatif fluktuatif seiring dengan keadaan cuaca atau musim dan *size distribution* dari batubara tersebut terutama setelah di *crushing*.

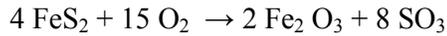
### 2.3.2 *Ash Content*

Sebenarnya batubara tidak mengandung *ash* melainkan mengandung *mineral matter*. *Ash* adalah istilah parameter setelah batubara dibakar dengan sempurna, material yang tersisa dan tidak terbakar adalah *ash* atau abu sebagai sisa pembakaran. Pada material yang lain mungkin *ash* ini dapat mencerminkan langsung *mineral matter* yang terkandung dalam material yang dibakar tersebut. Akan tetapi di dalam batubara hal tersebut tidak selamanya terjadi karena terjadinya reaksi-reaksi kimia selama pembakaran atau insinerasi batubara tersebut, sehingga nilai *ash* yang didapat relative akan lebih kecil dibanding dengan nilai *mineral matter* yang sebenarnya. Ada pula yang menggolongkan mineral dalam batubara ke dalam tiga kategori yaitu ; *Mineral matter*, *Inherent ash* dan *Extraneous ash*

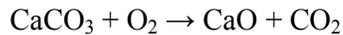
*Mineral matter* adalah unsur-unsur yang terikat secara organik dalam rantai carbon sebagai kation pengganti hidrogen. Unsur ini biasanya ada dalam batubara pada saat pembentukan batubara yang berasal dari tumbuhan atau pohon pembentuk batubara tersebut. Unsur yang biasanya ditemukan sebagai *mineral matter* ini adalah Kalsium, Sodium, dan juga ditemukan besi dan alumina pada *low rank coal*. *Inherent ash* adalah *superfine discrete mineral* yang masih dapat tertinggal dalam partikel batubara setelah *dipulverize*. *Extraneous ash*, yang termasuk kedalam kategori ini adalah tanah atau pasir yang terbawa pada saat penambangan batubara dan mineral yang keluar dari partikel batubara pada saat *dipulverize*.

Ketiga jenis *ash* tersebut sangat tergantung pada lingkungan pada saat pembentukan batubara serta bahan pembentuk batubara sehingga memiliki sifat-sifat thermal masing-masing, akibatnya juga setiap type *ash* tersebut memiliki kontribusi yang berbeda terhadap *slagging* dan *fouling*. Penentuan di laboratorium yaitu dengan membakar batubara pada temperature 750 atau 800 °C sampai dianggap pembakaran telah sempurna. Dalam prosedur standar, temperatur dan waktu pembakaran ditentukan yang nilainya tergantung kepada standar masing-masing. Penentuan secara prosedur di atas untuk batubara tertentu yang mengandung banyak *pyrite* dan *carbonat*, menjadi tidak begitu teliti karena selama pembakaran terjadi beberapa reaksi. Reaksi reaksi yang mungkin terjadi selama pembakaran adalah ;

- Decomposisi Pyrite :



- Dekomposisi Carbonat



- Fixation of sulfur



Dalam basis *dry mineral matter free basis* untuk penentuan rank batubara di ASTM, *ash* yang digunakan adalah hasil kalkulasi dimana *ash* dinyatakan sebagai abu bebas sulfat.

### 2.3.3 *Volatile Matter*

*Volatile matter* adalah zat terbang yang terkandung dalam batubara. Zat yang terkandung dalam *volatile matter* ini biasanya gas hidrokarbon terutama gas *methane*. *Volatile matter* ini berasal dari pemecahan struktur molekul batubara pada rantai alifatik pada temperature tertentu. Di laboratorium sendiri penentuannya dengan cara memanaskan sejumlah batubara pada temperatur 900 °C dengan tanpa udara. *Volatile matter* keluar seperti jelaga karena tidak ada oksigen yang membakarnya. *Volatile matter* merupakan salah satu indikasi dari *rank* batubara. Sifat dalam *coal combustion*, *volatile matter* memegang peranan penting karena ikut menentukan sifat-sifat pembakaran seperti efisiensi pembakaran karbon atau *carbon los on ignition*. *Volatile matter* yang tinggi menyebabkan batubara mudah sekali terbakar pada saat *injection* ke dalam suatu boiler. *Low rank coal* biasanya mengandung *volatile matter* yang tinggi sehingga memiliki efisiensi yang sangat tinggi pada saat pembakaran di power station. *Volatile matter* juga digunakan sebagai parameter dalam memprediksi keamanan batubara pada *Silo Bin*, *Miller* atau pada tambang-tambang bawah tanah. Tingginya nilai *volatile matter* semakin besar pula resiko dalam penyimpanannya terutama dari bahaya ledakan.

### 2.3.4 *Fixed Carbon*

*Fixed carbon* adalah parameter yang tidak ditentukan secara analisis melainkan merupakan selisih 100 % dengan jumlah kadar *moisture*, *ash*, dan *volatile matter*. *Fixed carbon* ini tidak sama dengan *total carbon* pada analisis *ultimate*. Perbedaan yang cukup jelas adalah bahwa *Fixed carbon* merupakan kadar karbon yang pada temperatur penetapan *volatile matter* tidak menguap. Sedangkan carbon yang menguap pada temperatur tersebut termasuk ke dalam *volatile matter*. Sedangkan *total carbon* yang ditentukan pada *ultimate analysis* merupakan semua carbon dalam batubara kecuali carbon yang berasal dari karbonat. Jadi baik hidrokarbon yang termasuk ke dalam *volatile matter* atau *fixed carbon* termasuk di dalamnya. Penggunaan nilai parameter ini sama dengan *volatile matter* yaitu sebagai parameter penentu dalam klasifikasi batubara dalam ASTM standard. Serta untuk keperluan tertentu *fixed carbon* bersama *volatile matter* dibuat sebagai suatu ratio yang dinamakan *fuel ratio* (FC/VM).

### 2.3.5 Nilai kalori

Nilai kalori merupakan panas yang dilepaskan saat unit kuantitas batubara terbakar sempurna. Nilai kalori ini dibagi menjadi 2, yaitu: *Gross Calorific Value* (Hg) yaitu nilai kalori total yang diperoleh dari hasil analisis. Di dalam nilai tersebut, terkandung pula nilai *kalor laten* (panas tersembunyi) dari uap air yang terbentuk akibat pembakaran kandungan air dan hidrogen dalam batubara. Akan tetapi, pada pembakaran sebenarnya dengan menggunakan boiler dan sebagainya, uap air ini dilepaskan begitu saja lewat cerobong asap tanpa proses kondensasi, sehingga pada hakikatnya kalor laten tersebut tidak dapat dimanfaatkan. Sedangkan *Net Calorific Value* (Hn) adalah nilai kalori murni, yaitu setelah dikurangi dengan nilai kalor latennya. Nilai ini tidak tergantung kepada hasil pengukuran, dan hanya ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$H_n = H_g - 600(9H + W) \quad [\text{kcal/kg}]$$

dimana H adalah kandungan hidrogen pada kondisi equilibrium moisture (kg), dan W adalah kandungan air (kg).

### 2.3.6 *Hardgrove Grindability Index (HGI)*

Test ini adalah untuk mengukur kemudahan relatif saat batubara dihancurkan ke dalam ukuran yang lebih kecil. Semakin tinggi nilai HGI maka semakin lunak batubara yang berarti semakin mudah batubara tersebut untuk dihancurkan. Indeks ini sangat membantu dalam memperkirakan kapasitas *mill* yang digunakan untuk menggiling batubara sampai ukuran yang diperlukan untuk umpan ke *furnace*.

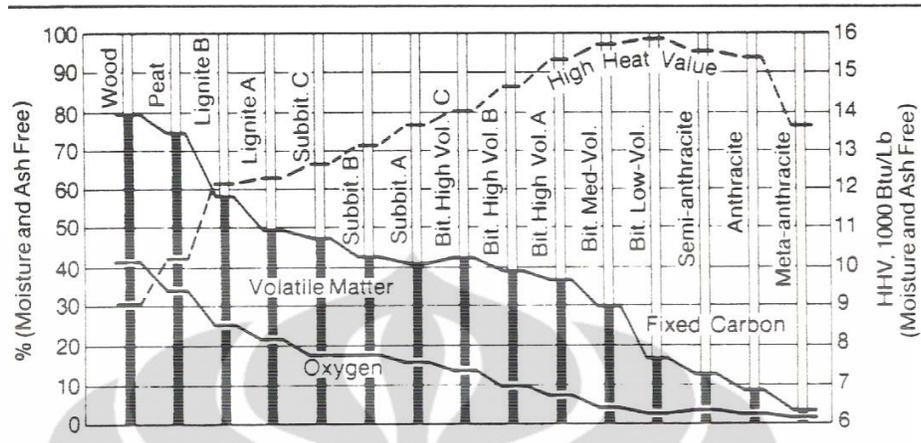
## 2.4 Karakteristik Batubara pada Tiap Klasifikasi Batubara

Karakteristik batubara memberikan informasi mengenai kinerja batubara yang dipengaruhi oleh komposisi, sifat fisis, dan kimia batubara. Komposisi batubara dikarakterisasi menurut analisis proksimat dan ultimat. Pada analisis proksimat, biasanya dilakukan pengukuran untuk mendapatkan nilai-nilai:

- Kandungan air (*moisture*) dalam batubara.
- Abu (zat oksida mineral yang terkandung dalam batubara) yang tertinggal saat batubara dibakar.
- Zat terbang (*volatile matter*) yang dilepas dalam bentuk gas saat batubara mendapat perlakuan panas.
- Kandungan karbon tetap (*fixed carbon*) dari suatu padatan dapat terbakar yang memiliki kandungan unsur utama berupa karbon (batubara).

Selain unsur-unsur tersebut, batubara juga mengandung unsur-unsur lain seperti klor, fluor, dan lain-lain golongan halogen, serta aneka unsur logam seperti aluminium besi, dan juga silika yang kesemuanya terkandung di dalam abu.

Klasifikasi batubara mulai dari peringkat terendah (*Lignite A*) sampai tertinggi (*Meta Anthracite*) sedikit dijelaskan oleh Hendrickson, 1983 seperti pada berikut:

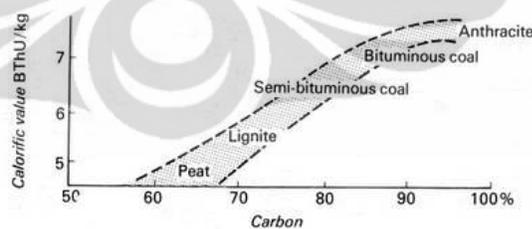


Sumber : Hendrickson, 1983

Gambar 2.7. analisis proksimat dan nilai kalor berbagai peringkat batubara

Pada Gambar 2.7 terlihat batubara dari berbagai peringkat mulai yang terendah (kiri) sampai tertinggi (kanan). Batubara peringkat terendah memiliki nilai kalor terendah. Sedangkan batubara peringkat tinggi dipengaruhi kandungan *fixed carbon* (FC) dan *volatile matter* (VM). Kandungan FC makin tinggi dan VM makin rendah menunjukkan peringkat batubara makin tinggi.

Karakteristik batubara berupa nilai kalor menyatakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara atau oksigen. Oleh karena sifat fisis dan kimia tiap jenis batubara berbeda maka nilai kalor setiap peringkat batubara juga bervariasi.



Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

Gambar 2.8. Nilai kalori dan komposisi karbon tiap jenis batubara

Semakin tinggi komposisi karbon dalam batubara maka akan semakin keras batubara tersebut dan semakin tinggi pula peringkatnya. Penentuan peringkat batubara menurut SNI 1998, yaitu sebagai berikut :

- Batubara coklat (*Brown coal*), yaitu jenis batubara yang paling rendah peringkatnya, bersifat lunak, mudah diremas, mengandung kadar air yang

tinggi (10-70%), terdiri atas batubara coklat muda lunak (*soft brown coal*) dan batubara lignitik atau batubara cokelat keras (*hard brown coal*) yang memperlihatkan struktur kayu. Nilai kalorinya  $< 5700$  kal/gr (*dry mineral matter free*).

- Batubara keras (*Hard coal*), yaitu semua jenis batubara yang peringkatnya lebih tinggi dari brown coal, bersifat lebih keras, tidak mudah diremas, kompak, mengandung kadar air yang relatif rendah, umumnya struktur kayunya tidak tampak lagi, relatif tahan terhadap kerusakan fisik pada saat penanganan (*coal handling*). Nilai kalorinya  $> 5700$  kal/gr (*dry mineral matter free*).

Komposisi batubara yang diuji berdasarkan analisis ultimat, menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat pembatubaraan maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang.

Tabel 2.1 Komposisi batubara berdasarkan analisis ultimat pada setiap peringkat.

Jenis Batubara	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	C/O
Wood	50.0	6.0	43.0	1.0	1.2
Peat	59.0	6.0	33.0	2.0	1.8
Lignite	69.0	5.5	25.0	0.5	2.8
Bituminous	82.0	5.0	12.2	0.8	6.7
Anthracite	95.0	2.5	2.5	0.0	38.0

Sumber : <http://4.bp.blogspot.com/>

## 2.5 Pemanfaatan Batubara Peringkat Rendah

Sumberdaya batubara Indonesia, 60% diantaranya merupakan batubara peringkat rendah (*Lignite*). Namun batubara jenis *Lignite* belum banyak dieksploitasi karena kandungan airnya (*moisture*) dan zat terbang (*volatile matter*) tinggi dan nilai kalornya yang rendah. Pada klasifikasi internasional, batubara ini didefinisikan memiliki nilai kalori (*ash free basis*) kurang dari 5700 kcal/kg. Nilai kalor rendah disebabkan kandungan air yang tinggi. Kandungan air yang tinggi akan mempengaruhi proses pembakaran karena sebagian kalori terpakai sebagai energi untuk menguapkan air sebelum batubara terbakar secara sempurna. Kandungan air yang besar juga mengindikasikan porositas batubara yang besar. Porositas besar

menguntungkan proses peningkatan mutu batubara karena lebih memudahkan terjadinya difusi untuk menguapkan kandungan air hingga ke pori - pori batubara selama pemanasan.

Dari segi ekonomi, batubara *Lignite* lebih efisien karena dengan berat molekulnya yang kecil dan memiliki jaringan ikat yang lebih reaktif dapat terkonversi lebih mudah pada temperatur dan tekanan rendah. Hal ini menyebabkan batubara *Lignite* lebih diinginkan untuk dikonversi. Selain itu, persediaan batubara *Lignite* di Indonesia paling banyak. Penggunaan batubara ini, umumnya sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik. Namun karena kandungan airnya tinggi, maka adakalanya diperlukan proses dewatering terlebih dahulu. Di sisi lain, batubara ini dalam keadaan kering mudah sekali menimbulkan gejala terjadinya swabakar (*spontaneous combustion*), sehingga *handling*-nya pun tergolong merepotkan. Penelitian dan pengembangan teknologi bagi perbaikan kualitas batubara untuk menunjang pemakaian yang lebih stabil terus dilakukan.

Melihat kondisi batubara *Lignite* yang memiliki potensi besar untuk lebih mudah dikonversi maka pemakaian batubara *Lignite* lebih banyak dikembangkan, salah satunya digunakan pada penelitian ini.

## **2.6 Mekanisme Penurunan Kadar Air dalam Peningkatan Mutu Batubara**

Penurunan kadar air dalam batubara dapat dilakukan dengan cara mekanik atau perlakuan panas. Kadar air dapat dikurangi secara efektif dengan cara pemanasan. Proses pemanasan batubara sampai temperatur tertentu menyebabkan terjadinya perubahan komposisi struktur batubara. Dengan memanaskan batubara, terjadi perubahan kimia karena menguapnya air, dekomposisi gugus karboksil, penyusutan gas-gas hidrogen dan oksigen kompleks serta aromatisasi. Komposisi dan sifat produk akhir akan bervariasi tergantung pada temperatur pemanasan.

Pemanasan pada temperatur 100 - 120°C akan terjadi reaksi endotermis (Tsai,1982). Adanya reaksi seperti di atas pada proses pengeringan batubara tidak dikehendaki, oleh karena itu diperlukan suatu kondisi pemanasan yang *inert*, maka reaksi harus berlangsung pada temperatur di atas 120°C.

Temperatur dekomposisi aktif, yaitu dimana *maceral* penyusun batubara terdekomposisi menjadi tar dalam proses penguapan air yang terjadi pada temperatur

di atas 200°C (Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, 2010). Pemanasan batubara pada temperatur >200°C menyebabkan terjadinya penguapan air, tar, hydrogen, CO<sub>2</sub>, CO dan hidrokarbon.

Pirolisis, atau yang sering disebut juga sebagai termolisis, didefinisikan sebagai suatu proses pembakaran tanpa oksigen. Teori kimia pirolisis batubara menunjukkan langkah-langkah dekomposisi sebagai berikut : bila suhu dinaikkan maka ikatan karbon-karbon alifatik putus lebih dahulu. Reaksi ini mulai berlangsung pada suhu di bawah 200°C. Berikutnya, hubungan karbon-hidrogen putus pada suhu kurang lebih 600°C.

Dari ketiga tingkat temperatur pemanasan tersebut, maka untuk proses penguapan air secara evaporasi yang tanpa diikuti terjadinya penguapan tar, hydrogen, CO<sub>2</sub>, CO dan hidrokarbon sebaiknya dilakukan pada kisaran temperatur 150°C.

Peningkatan mutu batubara peringkat rendah secara evaporasi merupakan proses dimana batubara dipanaskan baik secara langsung maupun tidak langsung dengan menggunakan uap panas sebelum atau selama proses penggilingan. Dengan cara ini, kandungan air mempunyai kecenderungan untuk kembali terserap oleh batubara. Pada proses pemanasan batubara dengan temperatur sekitar 150°C, pengeluaran tar dari batubara belum sempurna sehingga perlu ditambahkan zat aditif sebagai penutup permukaan batubara seperti kanji, tetes tebu (*mollase*), residu dan minyak.

Proses evaporasi dengan perlakuan minyak setelah proses penurunan kadar air, akan membantu kestabilan kadar air karena minyak akan menutup pori-pori batubara dan melapisi permukaan batubara tersebut. Minyak yang masuk ke dalam pori-pori batubara akan kering kemudian bersatu dengan batubara. Lapisan minyak ini cukup kuat dan dapat menempel pada waktu yang cukup lama sehingga batubara dapat disimpan di tempat terbuka untuk jangka waktu cukup lama.

Proses evaporasi dengan perlakuan panas secara langsung, minyak tersebut dapat digambarkan sebagai metode penggorengan batubara. Penggorengan merupakan salah satu metode pengeringan untuk menghilangkan kadar air dengan menggunakan energi panas dari minyak. Dengan penguapan air terjadi penetrasi minyak ke dalam bahan yang digoreng. Pada proses penggorengan, perpindahan

panas didasarkan atas dua periode yaitu periode pemanasan menuju peralatan dan periode pemanasan produk. Proses ini dimulai dengan pemanasan wadah pemasak yang meliputi faktor ketebalan dan ukuran wadah serta faktor lainnya dan juga dengan keadaan lingkungan sekitar yang kemudian diikuti oleh proses pemanasan bahan. Ketika bahan dimasukkan dalam minyak panas, suhu permukaan akan naik dengan cepat dan air akan menguap. Bagian permukaan mulai mengering yang diikuti bagian dalam secara perlahan. Suhu bagian permukaan bahan akan mencapai suhu panas minyak dan suhu internal meningkat perlahan. Laju pindah panas dikendalikan oleh perbedaan suhu antara minyak dan bahan oleh koefisien pindah panas permukaan. Laju penetrasi panas ke dalam bahan dikendalikan oleh konduktivitas termal bahan (ptp, 2007).

Evaporasi memberikan pengertian mengenai perpindahan massa uap melalui pengurangan air dari suatu bahan yang bersifat cair atau suspensi, sedangkan produk akhir berupa konsentrat. Sedangkan pengeringan adalah suatu proses pengurangan atau penurunan kadar air sampai suatu tingkatan kadar air yang seimbang dengan udara bebas. Proses evaporasi merupakan proses yang melibatkan pindah panas dan pindah massa secara simultan. Penguapan terjadi karena cairan akan mendidih dan berlangsung perubahan fase dari cair menjadi uap (Wirakartakusumah, Hermanianto dan Andarwulan, 1989). Faktor dasar yang mempengaruhi laju evaporasi adalah ((Earle, 1969) :

- Laju panas pada waktu dipindahkan ke bahan.
- Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan per satuan massa air.
- Suhu maksimum yang diperkenankan untuk bahan cair.
- Tekanan pada saat penguapan terjadi.
- Perubahan lain yang mungkin terjadi di dalam bahan selama proses penguapan berlangsung.

Dasar dari proses evaporasi adalah terjadinya penguapan air ke udara karena adanya perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dievaporasi (Suharto, 1991). Adapun peristiwa yang terjadi selama proses evaporasi yaitu :

1. Proses perpindahan panas merupakan proses menguapkan air dari dalam bahan, hal ini terjadi karena suhu bahan lebih rendah dari suhu udara yang dialirkan di sekelilingnya.

2. Proses perpindahan massa merupakan proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara yang terjadi akibat adanya panas yang meningkatkan suhu bahan sehingga terjadi perbedaan tekanan uap air dalam bahan dan tekanan uap air di udara.

Selama proses pemanasan akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan produk gas atau cairan yang banyak berhubungan dengan sistem pori-pori batubara. Kehilangan sejumlah massa bahan-bahan penyusun batubara melalui pori-pori menyebabkan terjadi kekosongan pori-pori tersebut. Oleh sebab itu sifat fisik yang memegang peranan penting pada proses pemanasan adalah porositas. Porositas batubara dapat menyebabkan terjadinya difusi keluar uap air, metana dan zat lain yang mudah menguap dari batubara selama terjadi pemanasan.

## **2.7 Pemanfaatan Limbah sebagai Bahan Penstabil dalam Proses *Dewatering***

Limbah yang dimanfaatkan adalah minyak goreng bekas (jelantah) yang sudah tak layak konsumsi lagi karena bersifat karsiogenik. Selain itu limbah industri minyak kelapa sawit yang memiliki kadar FFA tinggi yaitu CPO parit (*low grade CPO*) dengan kadar FFA 20 – 70% dari standar kelayakan konsumsi sebesar 5%. Sifat termal merupakan sifat fisik bahan yang berkaitan dengan perambatan panas atau perubahan suhu. Sifat termal ini meliputi beberapa jenis yaitu panas jenis, konduktifitas panas, koefisien perambatan panas, dan difusi panas. Sifat-sifat tersebut secara tidak langsung berpengaruh dalam hal cepat lambatnya penurunan mutu atau kerusakan bahan jika terkena panas atau dingin dari lingkungan sekitarnya. Sifat termal yang sangat berpengaruh terhadap mutu pangan adalah titik cair, titik beku dan titik didih bahan tersebut.

### **2.7.1 Minyak goreng bekas (jelantah)**

Minyak goreng merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia sebagai alat pengolah bahan – bahan makanan. Minyak goreng berfungsi sebagai media penggoreng sangat penting dan kebutuhannya semakin meningkat. Di Indonesia, minyak goreng diproduksi dari minyak kelapa sawit dalam skala besar. Hingga tahun 2010 diperkirakan produksi minyak sawit mencapai lebih dari 3 juta ton per tahun

(Derom Bangun, 1998). Setelah digunakan, minyak goreng tersebut akan mengalami perubahan dan bila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik akibat proses penggorengan. Perubahan sifat ini menjadikan minyak goreng tersebut tidak layak lagi digunakan sebagai bahan makanan. Oleh karena itu minyak goreng yang telah dipakai atau minyak jelantah (*waste cooking oil*) menjadi barang buangan atau limbah dari industri penggorengan. Minyak jelantah (*waste cooking oil*) banyak dihasilkan dari restoran siap saji, hotel dan industri makanan. Minyak jelantah yang sudah dipakai berulang-ulang kali menjadi lebih jenuh, sehingga titik beku dan titik asap lebih rendah daripada minyak baru karena kandungan dalam minyak jelantah sudah terurai ikatan rantai karbonnya dan mutunya sudah menurun.

### 2.7.2 CPO parit

CPO parit memiliki kandungan CPO yang relatif sedikit yaitu sekitar 2% dari jumlah CPO keseluruhan yang dihasilkan. Adapun alur proses pengutipan CPO parit dari pabrik industri CPO adalah sbb :

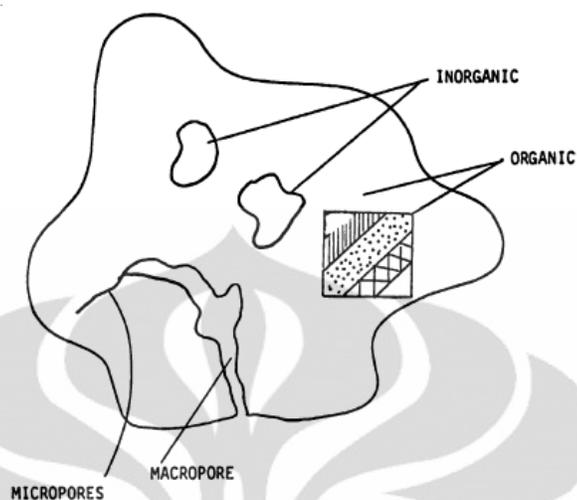
- Hasil bawah dari alat *centrifuge* yang berupa campuran air, kotoran, dan minyak pada pengolahan CPO, mengalir ke parit-parit pembuangan
- Aliran ini berkumpul di suatu tempat yang disebut *pad feed* I yang dilengkapi dengan mesin pengutip minyak
- Minyak yang terkumpul oleh mesin dialirkan pada tangki penampungan minyak untuk diproses kembali
- Sisa minyak yang tidak terkumpul pada mesin pengutip minyak, dialirkan menuju kolam *pad feed* II yang mengandung artikel kotoran yang sangat banyak
- Kemudian aliran *slurry* (air, lumpur yang terbawa, minyak) ini dikumpulkan pada kolam penampungan minyak terakhir yang dilengkapi dengan mesin rotor yang berputar untuk memerangkap minyak lalu dialirkan ke tangki pengumpul minyak. Minyak inilah yang kemudian disebut dengan CPO parit.

*Crude Palm Oil* (CPO) parit berupa *Palm Fatty Acid Distillate* (PFAD) merupakan hasil samping pemurnian CPO secara fisika, yaitu setelah tahap *deguming*, *deasidifikasi*, dan pengeringan sistem vakum. Komponen terbesar dalam PFAD adalah asam lemak bebas, komponen karotenoid dan senyawa volatil lainnya. Secara umum proses pengolahan atau pemurnian minyak sawit dapat menghasilkan 73% olein, 21% *stearin*, 5% PFAD, dan 0,5% bahan lainnya. PFAD memiliki kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) sekitar 81,7%; 14,4% gliserol; 0,8% squalane; 0,5% Vitamin E; 0,4% sterol dan lain-lain 2,2%.

Pada suhu yang lebih tinggi, asam lemak bebas yang menimbulkan bau dalam minyak akan lebih mudah menguap, sehingga komponen tersebut diangkut bersama-sama uap panas dan terpisah dari minyak RBDPO (*Refined Bleached Deodorised Palm Oil*), asam lemak bebas dari produk samping dari pemurnian RBDPO inilah yang disebut PFAD (*Palm Fatty Acid Destillate*) ataupun MEAL (metil ester asam lemak) yang sering digunakan sebagai bahan pembuatan sabun batangan. Penurunan tekanan uap selama proses deodorisasi akan mengurangi jumlah uap yang digunakan dan mencegah hidrolisa minyak oleh uap air (Ketaren, 1986).

## 2.8 Karakter *Hydrophobic* Batubara

Secara struktural, batubara merupakan sistem yang kompleks (pada Gambar 2.3). Bahan organik mendominasi, biasanya 85-95% (wt/wt) dari batubara kering. Bahan-bahan organik terjadi di berbagai jenis petrografi yang berbeda, yang disebut "macerals" yang mencerminkan sifat dari bahan *plant* prekursor. Berbagai bahan anorganik, khususnya aluminosilikat dan pirit (terutama pada high-sulfur batubara), terdiri 5-15% dari batubara. Elemen dari ketiga struktur tersebut, dan mungkin fitur yang paling khas bila dibandingkan dengan lain sumber bahan bakar padat, fosil seperti minyak bumi dan serpih minyak, adalah sebuah jaringan pori-pori yang luas. Pori-pori batubara ini memberikan luas permukaan yang tinggi (>100 m<sup>2</sup>/g) dan volume yang cukup ruang pori, sehingga memungkinkan akses ke fraksi yang signifikan dari bahan organik. (Levine *et al*, 1981).



Sumber : Levin *et al*, 1981

Gambar 2.9 Diagram dari unsur pokok batubara: bahan organik, pecahan dari *plant debris (maceral)*, *inclusion* inorganik, jaringan luas pori

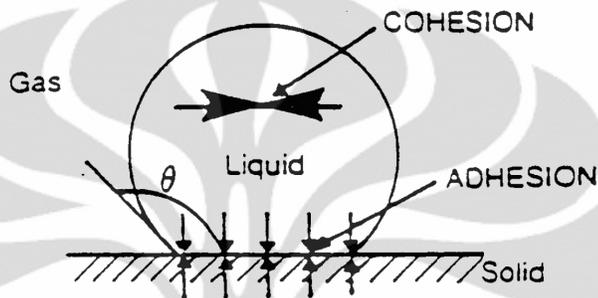
Padatan hidrofobik yaitu menunjukkan bagian atau tidak sempurnanya *wettability* oleh air. Jumlah padatan menunjukkan variasi kebebasan dari *hydrophobicity* ketika permukaannya mulai terbentuk (Leja, 1983). Padatan ini adalah salah satu organik misalnya hidrokarbon, paraffin, grafit, tar, bitumen dan batubara, atau *inorganic* misalnya sulfur, *talc* dan *molybdenit*.

Untuk menjelaskan *hydrophobicity*, (Gaudin, 1957) menunjukkan bahwa selama proses formasi permukaan padatan sisa *hydrophobic* secara alami jika terjadi kerusakan atau perpecahan tanpa putusanya ikatan interatomik lainnya dari residu. Permukaan ini hanya dapat berinteraksi dengan lingkungan *aqueous* melewati tekanan dispersi. Kerusakan dari ikatan kovalen atau ikatan ion ke arah hidroksilasi atau ionisasi pada permukaan, yang mana membelok membuat permukaan padatan menjadi *hydrophilic*. *Hydrophobicity* padatan (*water rejection*) menurun dengan kenaikan jumlah *polar site* (hidroksil atau *ionic*) pada permukaan mineral. Melalui *polar site water* ini menjadi tertarik ke permukaan.

Menurut Frumklin dan Dieriagin (in Klassen, 1966) hidrasi rendah dari permukaan mineral mengindikasi kuatnya *hydrophobicity*, mengingat hidrasi tinggi indikasi dari *hydrophobicity*. Jika dilihat dari teori ini, tiga tipe dari *film* (lapisan), *disjoining* partikel dan *bubble*, bisa menciptakan hasil dari hidrasi permukaan : stabil, *metastabel*, dan *unstable*. Ketidakstabilan lapisan air dibandingkan ke *bulk* air.

Dengan kata lain, dekatnya permukaan non-polar molekul air yang berdekatan menentukan konfigurasi yang tidak menguntungkan (Laskowski dan Kitchener, 1969).

Gambar berikut menggambarkan *a sessile liquid droplet resting* pada permukaan datar. Nilai kerja kohesi liquid dan kerja adhesi liquid ke padatan menentukan kontak *angel* pada *interface* padatan/liquid/gas.



Sumber : Laskowski, 1992

Gambar 2.10 Efek kerja kohesi dan adhesi liquid ke padatan pada *solid wettability*

Batubara adalah dianggap *naturally hydrophobic*. Permukaan batubara ini yang mengendalikan mekanisme interaksi dengan air, dan oleh karena itu menentukan karakter *hydrophilic – hydrophobic* batubara. Sifat permukaan batubara mungkin sangat berbeda dari sifat *bulk solid*, misalnya dalam hal permukaan oksidasi, atau selektif adsorpsi.

Menurut Gaudin (1957), *hydrophobicity* adalah hanya mungkin untuk padatan yang mana terjadi kerusakan atau perpecahan tanpa putusannya ikatan interatomik lainnya dari residu. Kondisi termodinamik untuk *hydrophilicity*, menyatakan tidak langsung bahwa kecepatan daya tarik air ke permukaan padatan adalah ikatan hidrogen (melewati permukaan kelompok hidroksil), atau kecepatan timbul dari perubahan elektrik pada *interface*.

Dalam batubara, *oxygen functional groups* misalnya hidroksil, karbonil, atau karboksil terjadi salah satunya hasil dari oksidasi atau sebagai bagian dari struktur batubara. Jumlah dan tipe *groups* ini diganti dengan *rank* dari batubara, misalnya dilakukan banyak sifat lainnya. *Oxygen functional group content*, dan tipe mereka, sering digunakan untuk menghubungkan perubahan sifat permukaan batubara dengan *rank* (Blom *et al*, 1957).

## 2.9 Pembriketan Batubara

Pemanfaatan briket batubara cukup luas, misalnya mempermudah pengangkutan batubara dari mulut tambang, sebagai bahan bakar industri kecil ataupun bahan bakar untuk rumah tangga. Proses transportasi batubara dalam bentuk partikel memiliki beberapa permasalahan yaitu adanya debu (*fly ash*) yang berterbangan pada saat pengangkutan dan dapat berdampak negatif bagi lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, kita dapat memasarkkan batubara dalam bentuk briket. Berbagai teknologi pembuatan briket telah dikembangkan oleh beberapa negara didunia, masing - masing briket yang dihasilkan telah dibuat patennya menurut kondisi setempat dan memiliki karakteristik sendiri baik bentuk, ukuran, berat dan kekuatannya.

### 2.9.1 Kekuatan Mekanik Briket Batubara

Khoirot (2005) meneliti pengaruh tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup>, 75 kg/cm<sup>2</sup>, dan 100 kg/cm<sup>2</sup> saat pembuatan biobriket campuran batubara dan sabut kelapa terhadap pembakaran briket. Pembuatan biobriket dengan tekanan 100 kg/cm<sup>2</sup> menghasilkan briket yang mempunyai laju pengurangan massa yang paling lama sedangkan yang paling cepat habis adalah briket dengan tekanan pembriketan 50 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena biobriket yang mempunyai tekanan tinggi pada saat pembuatannya mempunyai nilai *bulk density* yang juga tinggi.

Subroto dkk. (2007) menguji penambahan tekanan akan dapat menaikkan nilai dari kekuatan mekanik briket. Kenaikan kekuatan mekanik briket pada penelitian tersebut mencapai kondisi maksimal pada tekanan 150 kg/cm<sup>2</sup> sebesar 18,939 kg/cm<sup>2</sup> dan setelah dilakukan penambahan tekanan lagi, nilai kekuatan mekanik turun menjadi 17,551 kg/cm<sup>2</sup> dan 16,035 kg/cm<sup>2</sup>. Penurunan ini dimungkinkan karena adanya batas kekuatan butiran bahan dasar untuk menahan beban, sehingga apabila beban ditambah butiran akan pecah dan menurunkan nilai kekuatan mekaniknya.

### 2.9.2 Bahan aditif briket batubara

Binder merupakan bahan baku yang penting dalam pembuatan briket. Pemberian bahan perekat (*binder*) adalah untuk membentuk tekstur yang padat atau menggabungkan antara dua substrat yang akan direkatkan. Pemilihan dan

penggunaan bahan perekat dilakukan berdasarkan beberapa hal, antara lain mempunyai daya serap yang baik terhadap air, harganya relatif murah serta mudah diperoleh, aman dan praktis.

Kekuatan rekat dipengaruhi oleh sifat binder, alat dan teknik perekatan yang digunakan. Pematangan binder akan menghasilkan keteguhan rekat yang baik serta pemberian tekanan yang cukup. Adapun jenis binder yaitu tepung tapioka (*Tapioca Powder*), Onggok (ampas tapioka), dll. Untuk sementara ini binder dari tepung tapioka (*Tapioca Powder*) bisa dikatakan bagus bagi pembuatan briket batubara sebab diketahui memiliki karbohidrat cukup tinggi ( 43 – 70 % ).

### **2.9.3 Bahan aditif briket batubara untuk mempercepat proses penyalan**

Penyalan briket batubara memerlukan waktu yang sedikit lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar cair dan gas. Maka perlu dilakukan penambahan bahan-bahan aditif seperti tanah liat (lempung) sebagai pengikat abu, serbuk sabut kelapa sebagai nyala api, dan PVA (*Polyvinylalcohol*) sebagai media perekat untuk menghasilkan briket batubara yang mempunyai kemudahan dalam penyalan, kestabilan dan kecepatan pembakaran dengan api yang kontiniu.

Bahan-bahan aditif di atas sangat mudah kita temui di dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu campuran dari bahan-bahan ini diharapkan dapat membuat briket batubara menjadi lebih mudah dinyalakan tanpa menimbulkan polusi/asap, abunya tidak berserakan melainkan tetap utuh dan tidak rapuh setelah dilakukan pembakaran, memiliki nilai kalor yang tinggi serta ramah lingkungan.

### **2.10 Mekanisme Penyalan Briket Batubara**

Proses penyalan merupakan awal proses pembakaran, dimana penyalan dibutuhkan untuk meningkatkan energi aktifasi yang menghasilkan panas reaksi. Penyalan briket batubara berhubungan dengan karakteristik sifat pembakaran batubara yang mempunyai tahap-tahap tertentu, yaitu menguapkan uap air, membakar zat terbang, dan membakar karbon. Sementara itu waktu penyalan berkaitan dengan durasi panas yang diproduksi briket batubara. Akibat dari karakteristik sifat pembakaran batubara, setiap tahap pembakaran memiliki

temperatur berbeda. Suhu puncak panas baru diperoleh pada saat awal tahap pembakaran karbon. Temperatur penyalaan ( $T_{ig}$ ) didefinisikan sebagai temperatur terendah yang harus dicapai batubara untuk memulai pembakaran (ditunjukkan oleh Tabel 2.5). Sedangkan waktu penyalaan ( $W_{ig}$ ) adalah waktu mulai batubara masuk sampai nyala api pada saat tercapainya temperatur penyalaan (ditunjukkan oleh Tabel 2.6). Terjadinya penyalaan dapat dilihat sebagai tercapainya temperatur minimum untuk penyalaan, terbentuk api, berlanjutnya reaksi pembakaran antara batubara dengan oksigen, kenaikan temperatur yang sangat cepat, atau laju panas yang terbentuk melebihi laju panas yang hilang.

Tabel 2.2. Temperatur Penyalaan beberapa Bahan Bakar

(sumber: R.A, Koestoer, et al)

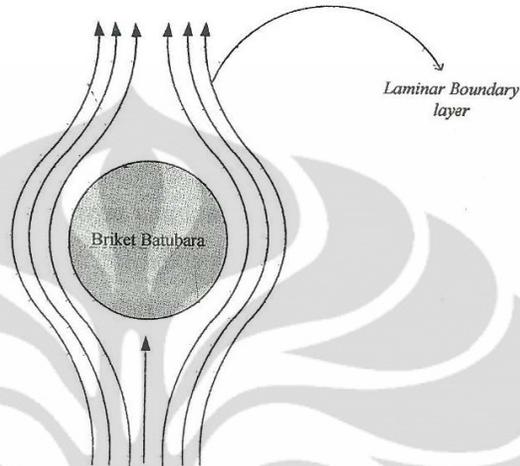
Bahan Bakar	Rumus Empiris	Zat Volatile (%)	Temperatur Penyalaan ( $^{\circ}\text{C}$ )
Antrasit	$\text{CH}_{0,4}$	3	600
Batubara Bituminous	$\text{CH}_{0,8}$	35	500
Char Bituminous	$\text{CH}_{0,3}$	2	550
Lignit	$\text{CH}_{0,8}$	40	400
Minyak Residu	$\text{CH}_{1,7}$	95	325
Minyak Distilasi	$\text{CH}_{1,9}$	98	275
Hidrogen	$\text{H}_2$	100	580
Carbon monoksida	$\text{CO}$	100	630
Metan	$\text{CH}_4$	100	690

Tabel 2.3 Pengaruh beberapa parameter terhadap temperatur dan waktu penyalaan

Parameter	Perubahan	Batubara Bituminous		Char Bituminous
		$T_{ig}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$t_{ig}$ (mdet)	$T_{ig}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Ukuran partikel	6-60 $\mu$		32-43	519-529
Kandungan air	0-20%	TB		
Char volatile	16-8%			500-550
Batubara volatile	40-35% 35-6%		TB 30-210	

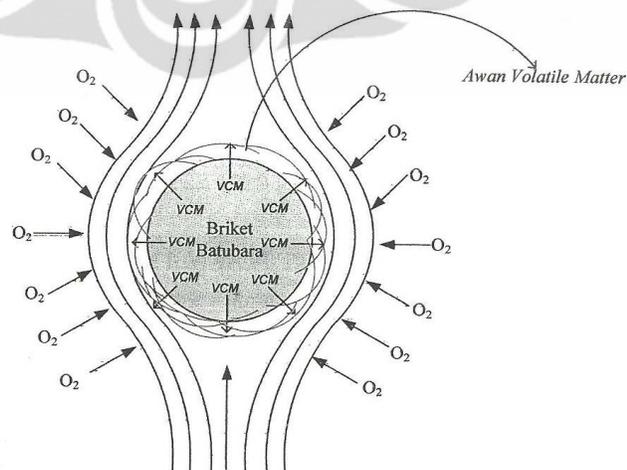
Penyalaan batubara diawali dengan proses pemanasan yang bertujuan menguapkan kandungan air. Pada saat pertama briket batubara dipanaskan, akan terbentuk lapisan batas (*boundary layer*) pada permukaan briket batubara, lapisan

batas ini terbentuk karena aliran udara pembakaran yang kontak dengan briket batubara, lapisan batas yang terbentuk adalah lapisan batas laminar, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar berikut :



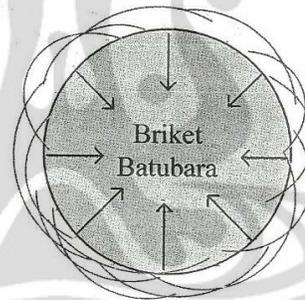
Gambar 2.11. Terbentuknya lapisan batas laminar pada permukaan Briket

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  $HCO$ . Zat *volatile* 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 ditunjukkan oleh Gambar 2.12.



Gambar 2.12. 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 *volatile* terbakar mengawali proses penyalaan 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 penyalaan *volatile* akan terjadi lebih dahulu, mengingat temperatur penyalaan lebih rendah daripada temperatur penyalaan karbon, penyalaan karbon akan cepat terjadi bila adanya pemanasan radiasi yang cukup tinggi ke permukaan bahan bakar padat. Reaksi pembakaran yang terjadi antara oksigen dan karbon ini adalah awal proses penyalaan batubara yang didefinisikan sebagai terbakarnya karbon 1 %. Proses yang terjadi selanjutnya menjadi proses pembakaran batubara.



Gambar 2.13. Terbentuknya awan volatile matter pada permukaan briket

### 2.11 Pembakaran Batubara

Dujambi (1999) meneliti masalah laju pembakaran briket batubara produksi PT Bukit Asam dengan variasi parameter yang mempengaruhi pembakaran, seperti ukuran briket, laju aliran udara, temperatur dinding tungku dan temperatur udara *preheat*. Dalam penelitian ini diketahui bahwa pellet bentuk bola mempunyai luas permukaan yang paling kecil sehingga perpindahan panas terjadi dengan laju yang lebih lambat dibandingkan pellet berbentuk silindris dengan besar volume dan massa yang sama. Ukuran pellet briket yang dibakar mempengaruhi besar temperatur yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran pellet maka temperatur pembakaran akan semakin

besar dan waktu pembakaran semakin cepat. Hal ini berkaitan dengan laju perpindahan panas dari udara sekitar ke dalam briket yang semakin besar.

Massa partikel yang diuji berkisar 45-60 gram, suhu pemanasan udara pembakaran antara 43-87 °C, suhu dinding tungku antara 180-480 °C, kecepatan aliran udara pada pipa 10,5 cm berkisar 0-2,19 m/detik, ukuran partikel antara 17-39 mm. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa laju pembakaran naik jika aliran udara naik. Tetapi ada suatu kondisi optimum dimana laju pembakaran menurun dengan kenaikan lebih lanjut dari laju aliran udara, karena pengaruh dari pendinginan yang terjadi secara konveksi. Laju pembakaran naik dengan naiknya temperatur udara, tetapi kenaikan ini tidak terlalu besar, karena pengaruh dari laju aliran udara. Laju pembakaran naik jika temperatur dinding tungku naik dan semakin besar ukuran partikel akan menyebabkan laju pembakaran berkurang.

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Oksigen merupakan salah satu elemen bumi paling umum yang jumlahnya mencapai 21% dari udara. Hampir 79% udara merupakan nitrogen yang bersifat mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Karbon, hidrogen dan sulfur dalam bahan bakar bercampur dengan oksigen di udara membentuk karbon dioksida, uap air dan sulfur dioksida. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida. Karbon terbakar yang membentuk CO<sub>2</sub> akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.



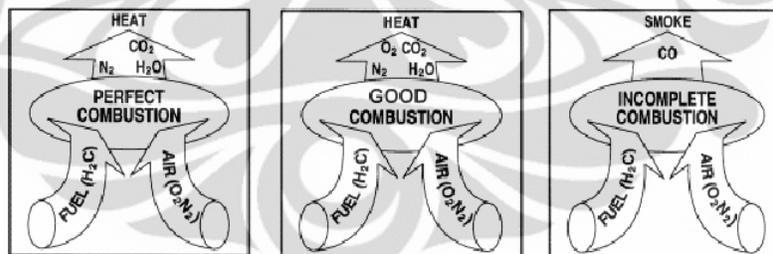
Setiap kilogram CO yang terbentuk berarti kehilangan panas 5654 kkal (8084 – 2430).

Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan unsur pembakaran yaitu :

- Temperatur yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar,
- Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik,
- Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna.

Terlalu banyak atau terlalu sedikit bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan tidak terbakarnya bahan bakar dan terbentuknya karbon monoksida. Sejumlah oksigen diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Namun terlalu banyak udara berlebih juga akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi. Tidak seluruh bahan bakar diubah menjadi panas dan diserap oleh peralatan pembangkit. Biasanya seluruh hidrogen dalam bahan bakar terbakar. Udara yang masuk dari bagian bawah garangan (*grate*) disebut udara primer, sedangkan udara yang masuk ke bagian atas bahan bakar dan bereaksi dengan zat volatil disebut udara sekunder.

Saat ini hampir seluruh bahan bakar untuk boiler dibatasi oleh standar polusi, harus mengandung sedikit atau tanpa sulfur. Sehingga tantangan utama dalam efisiensi pembakaran adalah jumlah karbon yang tidak terbakar (dalam abu atau gas yang tidak terbakar sempurna), yang masih menghasilkan CO selain CO<sub>2</sub>.



(Sumber : Biro Efisiensi Energi, 2004)

Gambar 2.14. Pembakaran yang sempurna, yang baik dan tidak sempurna

Analisis *proximate* merupakan analisis yang digunakan untuk memperkirakan kinerja bahan bakar pada saat pemanasan dan pembakaran ;

- Kandungan air yang tinggi menyulitkan penyalaan dan mengurangi temperatur pembakaran. Semakin tinggi kadar air dalam biomasa menyebabkan temperatur pembakaran menurun dan kadar H<sub>2</sub>O meningkat. Dengan semakin tingginya kadar air juga mengakibatkan biomasa lebih sulit dibakar sehingga terjadi

pembakaran tidak sempurna dan terbentuk CO yang tinggi di awal proses pembakaran.

- b. Semakin besar nilai kalor maka kecepatan pembakaran semakin meningkat.
- c. Kadar abu yang tinggi akan memepersulit penyalaan.
- d. Semakin banyak kandungan *volatile matter* maka semakin mudah untuk terbakar dan menyala serta nyala api yang dihasilkan juga bagus (panjang). Karena sifat mampu terbakar habis yang dimiliki cukup tinggi, maka. *Low rank coal* yang mengandung *volatile matter* tinggi memiliki efisiensi yang sangat tinggi pada saat pembakaran dan biasanya cocok untuk boiler. Berdasarkan penelitian Grotkjær dkk., 2003, dibuktikan bahwa semakin banyak kandungan *volatile matter*, maka akan semakin rendah suhu *ignition* yang dibutuhkan. Hal ini antara lain diakibatkan oleh adanya energi panas yang dilepaskan seiring dengan lepasnya *volatile matter* dari permukaan. Energi panas ini dapat memicu ignisi lainnya pada permukaan secara radiasi (Chigier, 1981).

### 2.11.1 Pembakaran Sempurna

Dalam pembakaran sempurna, zat reaksi akan terbakar di dalam oksigen, menghasilkan beberapa jenis produk. Apabila hidrokarbon terbakar di dalam oksigen, efek reaksi akan hanya menghasilkan karbondioksida dan air. Apabila elemen seperti karbon, nitrogen, sulfur dan besi terbakar, elemen tersebut akan menghasilkan oksida yang paling umum. Karbon akan menghasilkan karbon dioksida. Nitrogen akan menghasilkan nitrogen dioksida. Sulfur akan menghasilkan sulfur dioksida. Besi akan menghasilkan besi(III) dioksida. Pembakaran sempurna pada umumnya tidak mungkin untuk dicapai kecuali reaksi yang terjadi dikontrol secara berhati-hati (misalnya di dalam lingkungan laboratorium). Pembakaran sempurna terjadi jika semua unsur C, H dan S yang terkandung dalam bahan bakar bereaksi membentuk  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{SO}_2$ . Pembakaran sempurna dapat dicapai dengan pencampuran antara bahan bakar dan oksidator tepat/baik, dengan rasio udara dengan bahan bakar yang tepat pula tepat. Jumlah bahan bakar dan oksidatornya (oksigen atau udara) dalam pembakaran sempurna harus stoikiometris. Campuran stoikiometris yaitu jika jumlah oksigen dalam campuran tepat untuk bereaksi dengan C, H dan S membentuk  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{SO}_2$ .

### 2.11.2 Pembakaran Tidak Sempurna

Dalam pembakaran tidak sempurna ada sejumlah oksigen yang tidak memadai untuk terjadi pembakaran sepenuhnya. Reaktan akan terbakar di oksigen, tetapi akan menghasilkan berbagai produk. Ketika hidrokarbon terbakar di oksigen, reaksi akan menghasilkan karbon dioksida, air, karbon monoksida, dan berbagai senyawa lain seperti oksida nitrogen. Pembakaran tidak sempurna jauh lebih umum dan akan menghasilkan sejumlah besar produk sampingan, dan dalam kasus pembakaran bahan bakar di mobil, produk sampingan ini bisa mematikan dan merusak lingkungan. Pembakaran parsial (*incomplete combustion*) terjadi jika proses pembakaran bahan bakar menghasilkan “intermediate combustion product” seperti CO, H<sub>2</sub>, aldehyd, disamping CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jika oksidatornya udara, gas hasil pembakaran juga mengandung N<sub>2</sub>. Pembakaran parsial dapat terjadi antara lain karena pasokan oksidatornya terbatas atau kurang dari jumlah yang diperlukan, pembakaran ditiup atau dihembuskan, pembakaran didinginkan dengan dikenai benda atau permukaan dingin.

### 2.11.3 Pembakaran Spontan

Pembakaran spontan atau *spontaneous combustion* terjadi jika zat/bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan, kalor yang dihasilkan tidak dilepas, sehingga suhu bahan naik secara perlahan juga sampai suhu mencapai titik bakarnya (*ignition point*), maka bahan terbakar dan menyala. Suhu *autosulutan* atau ranting titik suatu zat adalah suhu terendah di mana ia akan secara spontan menyala dalam suasana yang normal tanpa sumber eksternal dari pengapian, seperti nyala api atau percikan. suhu ini diperlukan untuk memasok energi aktivasi yang diperlukan untuk pembakaran. Suhu di mana bahan kimia yang akan memicu mengecil dengan semakin meningkatkan tekanan atau konsentrasi oksigen. Suhu bervariasi dalam literatur dan seharusnya hanya digunakan sebagai perkiraan. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan pembakaran spontan antara lain tekanan parsial oksigen, ketinggian, kelembaban, dan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk pengapian.

$$\text{Volatile ratio} = \frac{\text{VM}(\%)}{\text{VM}(\%) + \text{FC}(\%)}$$

Apabila volatile ratio  $>0,12$  maka kemungkinan terjadinya ledakan debu batubara selalu ada. Untuk menanggulangi pembakaran spontan maka bila batubara ditimbun ditempat penimbunan yang tertutup (*indoor storage*) maka gudang penyimpanan tersebut harus bersih dari endapan-endapan debu batubara, terutama yang ditemukan dipermukaan alat-alat dan perlu ada perawatan yang terus menerus dan konstan. Apabila tempat penimbunan ini terbuka (*outdoor storage*) maka sebaiknya dipilih tempat yang rata dan tidak lembab, hal ini untuk menghindari penyusutan kotoran-kotoran (*impurities*). Untuk batubara yang memiliki zat terbang tinggi perlu dipergunakan siraman air (*sprinkler*). Penyimpanan batubara yang terlalu lama juga membahayakan, paling lama sebaiknya 1 bulan.

## **2.12 Proses Pembakaran Bahan Bakar Padat**

Proses pembakaran bahan bakar padat meliputi tiga tahapan, yakni tahap pengeringan, tahap devolatilisasi, tahap pembakaran arang dan akan tersisa abu (Borman, 1998). Waktu yang dibutuhkan untuk setiap proses bergantung pada sifat bahan bakar, ukuran bahan bakar, suhu dan kondisi pembakaran (Nussbaumer T, 2002).

### **2.12.1 Pengeringan**

Kadar air dalam bahan bakar padat terwujud dalam dua bentuk, sebagai air bebas dalam rongga-rongga bahan bakar dan sebagai air terikat yang terserap ke dalam struktur permukaan dalam. Untuk partikel bahan bakar serbuk, partikel kayu atau serbuk batubara yang dimasukkan ke dalam ruang bakar (memasuki lingkungan aliran gas panas), panas dikonveksikan dan diradiasikan menuju permukaan bahan bakar, dan dikonduksikan ke bagian dalam partikel. Karena perpindahan panas ini, kandungan air dalam partikel bahan bakar akan menguap yakni pertama kali dimulai dari air yang berada di permukaan partikel, sedangkan air di bagian dalam partikel bahan bakar akan mengalir melalui pori-pori partikel dan kemudian menguap. Kandungan air akan diuapkan secara terus-menerus berulang sebelum zat volatil lepas. Sedangkan untuk partikel bahan bakar dengan ukuran besar seperti bongkahan batubara atau potongan kayu, kadar airnya mengembang dari bagian dalam partikel, sedangkan zat volatil digerakkan keluar mendekati lapisan paling luar partikel. (Ragland dan Borman, 1998). Proses pengeringan dan devolatilisasi sangat

dipengaruhi oleh besarnya nilai kadar air, semakin besar nilai kadar air menyebabkan bertambahnya waktu pengeringan dan tertundanya pelepasan zat volatil. (Werther, 2000).

### 2.12.2 Devolatilisasi

Pada saat pengeringan partikel bahan bakar padat (*solid fuel*) telah sempurna, suhu partikel akan meningkat dan bahan bakar mulai terurai melepas zat volatil. Karena aliran keluar zat volatil dari padatan melalui pori-pori bahan bakar, partikel oksigen di luar partikel bahan bakar tidak dapat masuk ke dalam partikel bahan bakar, oleh karena itu proses devolatilisasi ini disebut tahap pirolisis. Laju devolatilisasi dan hasil-hasil pirolisis bergantung pada suhu dan jenis bahan bakarnya. Hasil pirolisis yang mengandung  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , gas hidrokarbon (HC), dan tar yang bercampur dengan oksigen ini kemudian akan terbakar dan membentuk rentetan nyala api di sekitar partikel selama oksigen berdifusi ke dalam hasil pirolisis. Nyala yang timbul pada dasarnya memanaskan partikel, menyebabkan meningkatnya proses devolatilisasi. Sebaliknya uap air mengalir keluar dari pori-pori, suhu nyala akan menjadi rendah dan nyala mengalami penurunan. Pada saat semua uap air telah keluar dari partikel, nyala akan maksimum. Proses pirolisis menghasilkan pelepasan karbon monoksida, hidrokarbon dan jelaga yang terbakar sebagai api difusi (*diffusion flame*) di sekeliling partikel bahan bakar. Hasil pirolisis ini terbakar sebagai api difusi di sekeliling partikel bahan bakar jika oksigen ( $O_2$ ) cukup tersedia. (Ragland dan Borman, 1998). Bahan bakar dengan kandungan *volatile* yang tinggi akan mempunyai *burnout time* yang singkat, karena hampir semua karbon dilepaskan secara cepat selama *devolatilisasi* dan hanya sedikit yang tertinggal untuk terbakar secara lambat. Kandungan *moisture* yang tinggi dalam bahan bakar akan memperlambat proses pemanasan dan devolatilisasi, tetapi tidak mempunyai pengaruh signifikan pada pembakaran bahan bakar padat (Winter, *et al*, 1997). Proses pirolisis partikel bahan bakar padat seperti kayu atau batubara dapat diilustrasikan dalam bentuk lingkaran. Sejumlah panas mengalir menuju bagian dalam partikel bahan bakar dengan cara konduksi, menaikkan suhu beberapa bagian partikel secara terus-menerus (Kanury, A Murty, 1988). Arsenault, dkk dan Werther (2000) menyatakan bahwa meningkatnya suhu pirolisis menyebabkan menurunnya jumlah arang yang terbentuk dan meningkatkan pelepasan jumlah zat volatil.

Keberadaan lokasi dari nyala api terpengaruh oleh konsentrasi oksigen, kecepatan gas, temperatur tungku, dan konsentrasi zat volatil dalam fasa gas. Pembakaran zat volatil akan berlangsung lebih cepat pada lingkungan yang kaya akan oksigen. Pembakaran zat volatil yang cepat menghasilkan suhu yang lebih tinggi di mana sebagian panas dipindahkan menuju permukaan partikel. Laju devolatilisasi, kuantitas dari *volatile matter*, komposisi bahan bakar, dan nilai kalori bahan bakar memegang peranan penting dalam tahap awal dari proses pembakaran dan berpengaruh terhadap stabilitas penyalaan (Istanto, 2002). Beberapa jenis uap hidrokarbon, cairan dan tar serta air terbentuk dan secara cepat terurai di bawah kondisi pembakaran. Akan tetapi pada dasarnya penyalaan zat hasil proses devolatilisasi tidak tetap, bergantung pada jenis produknya yang terdiri dari gas-gas *combustible* dan *noncombustible* serta hidrokarbon (rantai C pendek). (Wahyudi, 2002). Ragland dan Borman (1998) menyebutkan bahwa produk volatil dapat berupa hidrokarbon berantai pendek, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, uap air, N<sub>2</sub> dan tar. Kadar air yang tinggi menyebabkan pemanasan partikel berlangsung lambat, demikian juga dengan permulaan proses devolatilisasi menjadi tertunda dan waktu yang dibutuhkan untuk devolatilisasi menjadi bertambah, akan tetapi tidak mempunyai efek yang signifikan terhadap pembakaran arang. (Winter, dkk, 1997).

### 2.12.3 Pembakaran Arang

Tahap akhir proses pembakaran bahan bakar padat adalah pembakaran arang. Pada saat proses devolatilisasi telah sempurna (*pyrolysis process*), maka akan tersisa massa bahan bakar berupa arang (*fixed carbon*) dan abu. Arang memiliki sifat keropos/berpori yang bisa diilustrasikan sebagai pohon yang memiliki batang dan cabang, cabangnya dapat memiliki ukuran dari ukuran angstrom hingga beberapa micron (Borman, 1998). Partikel arang mengandung karbon, tersusun atas mineral-mineral anorganik dan sejumlah kecil atom hidrogen. Pada saat tidak terdapat zat volatil yang keluar dari arang dan karena arang berpori, oksigen dapat berdifusi melewati bagian luar lapis batas dan masuk menuju partikel arang. Dan selanjutnya arang akan mengalami tahapan reaksi-reaksi kimia dan perpindahan massa yang berentetan, secara sederhana dapat disebutkan, yaitu:

- Gas reaktan berdifusi melalui lapisan batas luar gas yang berhubungan dengan permukaan partikel arang (*eksternal mass transfer*).

- Molekul gas reaktan berdifusi ke dalam pori-pori partikel arang (*internal mass transfer*).
- Molekul gas diserap pada permukaan dan terjadi reaksi kimia antara molekul gas dan molekul padatan (*adsorbtion*).
- Produk reaksi dilepaskan (*desorbtion*). Pembakaran arang melibatkan difusi oksigen menuju permukaan arang dan reaksi kimia pada permukaannya. Laju pembakaran arang bergantung pada laju reaksi kimia antara molekul karbon-oksigen pada permukaan partikel, dan difusi oksigen internal (bagian dalam partikel).

Secara singkat, tahapan dalam pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:

- a. Pengeringan, dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam akan menguap melalui pori-pori bahan bakar tersebut.
- b. Devolatilisasi, yaitu proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah terjadi pengeringan.
- c. Pembakaran, sisa dari pirolisis adalah arang (*fixed carbon*) dan sedikit abu, kemudian partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan 70%-80% dari total waktu pembakaran.

### 2.13 Emisi karbon monoksida (CO)

Bahan polutan udara yang biasa ditemukan adalah polutan dalam bentuk gas dan polutan berbentuk partikel. Cemaran berbentuk gas antara lain gas CO, CO<sub>2</sub>, HC, SO<sub>x</sub>, dan NO<sub>x</sub>, sedangkan cemaran berbentuk partikel dapat berupa debu dengan berbagai ukuran. (Soekarman, 2002). Gas karbon monoksida (CO) sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi, batubara) dengan udara, berupa gas buangan (emisi) yang tidak berwarna dan tidak berbau.

Gas CO sangat berbahaya bagi kesehatan manusia karena dapat membentuk senyawa yang stabil dengan hemoglobin darah membentuk karboksihemoglobin. Ikatan ini jauh lebih stabil daripada ikatan oksigen dengan darah (*oksihemoglobin*). Keadaan ini menyebabkan darah lebih mudah menangkap gas CO dan menyebabkan

fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Dalam jumlah kecil, senyawa tersebut tidak berbahaya, namun dalam jumlah yang besar dapat mematikan. Pengaruhnya bagi kesehatan yakni karbon monoksida dapat menyebabkan gangguan syaraf pusat dengan gejala fisik dan gangguan mental. Pada prinsipnya CO terbentuk jika pembakaran tidak sempurna (khususnya pada saat kekurangan udara), akan mengakibatkan gas yang terbentuk bukan CO<sub>2</sub> dan uap air tetapi justru CO (Sunu P, 2001).

#### 2.14 Penanganan air limbah

Dalam penelitian mutu air, pencemar di dalam air umumnya diklasifikasikan secara fisik, kimiawi dan biologis.

Ciri-ciri fisik utama dari air limbah adalah bahan padat yang terapung dan terlarut, kekeruhan, warna, rasa, bau, dan suhu. Hasil penelitian Praswasti PDK Wulan, dkk. 2005 menunjukkan bahwa untuk mengatasi permasalahan *Total Suspended Solid* (padatan tersuspensi total) pada fasilitas pengolahan limbah cair dapat menggunakan koagulan yang efektif dimana nantinya didapat hasil TSS yang aman dan biaya yang tidak terlalu besar untuk pembelian koagulan serta kapur. Koagulan yang digunakan dapat berupa tawas, *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan *Nalcolyte* 8100. Penggunaan masing-masing koagulan dapat diperkirakan waktu pengerukan/pembersihan kolam, yaitu : Tawas (50 ppm) = 4 hari sekali ; PAC (150 ppm) = 4 hari sekali ; Nalcolyte 8100 (5 ppm) = 6 hari sekali.

Ciri-ciri kimiawi air limbah ditunjukkan dengan sifat keasaman atau kebasaaan dengan pH yang diperkenankan adalah 6-9. selain itu juga alkalinitas , khlorida, sulfat, besi serta kesadahan air diperlukan untuk mengkaji dapat tidaknya air limbah tersebut dapat dipakai kembali setelah dilakukan pengolahan.

Ciri-ciri biologis air limbah merupakan hal penting karena dengan banyaknya bakteri yang terdapat dalam air limbah merupakan bantuan yang sangat penting bagi proses pembusukan bahan organik. Ukuran yang dipakai untuk menunjukkan ciri biologis air limbah adalah BOD, bila terdapat oksigen dalam jumlah yang cukup maka pembusukan biologis secara aerobik dari limbah organik akan terus berlangsung sampai semua limbah terkonsumsi.

### 2.14.1 Air Limbah Pengolahan Batubara

Air limpasan batubara berpotensi merusak lingkungan karena melarutkan partikel-partikel mengandung bahan pengotor berupa zat-zat anorganik dan kadar asam di atas ambang batas yang diperkenankan. Hasil penelitian Tahi Siahaan, 2009 menunjukkan bahwa kadar air buangan setelah pengolahan tidak akan mencemari lingkungan karena di bawah ambang batas yang dianjurkan, sedangkan pengolahannya cukup efektif dan murah dengan menggunakan bahan pereaksi  $\text{Ca(OH)}_2$ .

### 2.14.2 Air Limbah Pengolahan CPO (minyak kelapa sawit)

Limbah cair kelapa sawit mengandung konsentrasi bahan organik yang relatif tinggi dan secara alamiah dapat mengalami penguraian oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Limbah cair kelapa sawit umumnya berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan BOD tinggi. Teknik pengolahan limbah cair industri kelapa sawit pada umumnya menggunakan metode pengolahan limbah kombinasi, yaitu dengan sistem proses *anaerobik* dan *aerobik*. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kemudian dialirkan ke bak penampungan untuk dipisahkan antara minyak yang terikut dan limbah cair. Setelah itu maka limbah cair dialirkan ke bak anaerobik untuk dilakukan proses anaerobik. Pengolahan limbah secara anaerobik merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerobik tanpa kehadiran Oksigen menjadi biogas yang terdiri dari  $\text{CH}_4$  (50-70%), serta  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dalam jumlah kecil. Waktu tinggal limbah cair pada bioreaktor anaerobik adalah selama 30 hari. Proses anaerobik dapat menurunkan kadar BOD dan COD limbah cair sebanyak 70 %. Setelah pengolahan limbah cair secara anaerobik dilakukan pengolahan limbah cair dengan proses aerobik selama 15 hari. Pada proses pengolahan secara aerobik menunjukkan penurunan kadar BOD dan Kadar COD adalah sebesar 15 %.

Tabel 2.4 Karakteristik air limbah setelah pengolahan proses anaerobik dan aerobik yang dibandingkan dengan batasan air limbah industri berdasarkan Kepmen LH No.KEP-51/MENLH/10/95

Karakteristik air limbah setelah proses pengolahan	Proses Anaerobik	Proses Aerobik	Ambang Batas
BOD [mg/L]	1890	189	50-150
COD [mg/L]	3025	453,75	100-300
TSS [mg/L]	5579	3023	200-400
pH	7	7	6-9
Temperatur [°C]	30	30	30-40

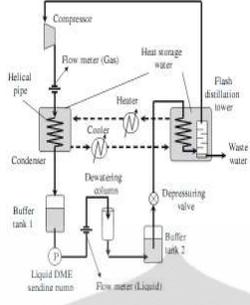
Berdasarkan dari hasil analisa diatas menunjukkan bahwa air hasil olahan dari pengolahan kombinasi diatas effluentnya dapat digunakan untuk *recycle* air proses.

### 2.15 Teknologi Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah

Sampai saat ini telah banyak proses peningkatan mutu batubara yang dikembangkan. Berbagai proses tersebut dibedakan berdasarkan kondisi reaksinya, jenis media transfer panas, tipe reaktor, kualitas limbah cair dan biaya pengolahan limbahnya yang dapat dilihat dari tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Pemilihan aplikasi teknologi yang akan digunakan dalam penelitian

No.	Teknologi	Deskripsi proses	Kelebihan	Kekurangan
1.	Aplikasi proses UBC yang dikembangkan dari Jepang dan dilakukan di Palimanan.	Proses evaporasi ini menggunakan <b>solvent berupa kerosin dan bahan tambahan berupa tar</b> , residu produk petroleum serta berlangsung pada kondisi operasi 140°C dan <b>tekanan 350 kPa</b> (Toru Sugita et al., 2003)	cukup efektif meningkatkan mutu batubara peringkat rendah dengan biaya operasional yang terjangkau karena berlangsung pada kondisi tekanan dan temperatur yang cukup rendah.	<b>Saat ini harga kerosin cukup mahal.</b> Limbah cair yang dihasilkan masih bersifat asam, namun masih bisa diolah dengan menggunakan teknologi yang sudah ada.

<p>2. <i>Solvent evaporation</i> yang dikembangkan oleh <i>Energy Engineering Research Lab., Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), Jepang</i>.</p>	 <p>Proses <b>evaporasi menggunakan pelarut DME (dimethyl ether)</b>, Kanda dkk (2010).</p>	<p>Cukup efektif, lebih dari 98% air yang terkandung dalam batubara Wara dari Indonesia berhasil dipisahkan dengan sempurna tanpa mengalami perubahan karakteristik kimia dari batubara asalnya.</p>	<p><b>Harga DME yang masih terbilang cukup mahal.</b> Limbah cair yang dihasilkan masih bersifat asam, namun masih bisa diolah dengan menggunakan teknologi yang sudah ada.</p>
<p>4. <i>Hot Water Drying</i>, teknik ini dikembangkan oleh <i>EERC (Energy &amp; Environmental Research Center), University of North Dakota</i> di Grand Forks, North Dakota, USA.</p>	<p>Teknik ini pada prinsipnya merupakan proses <b>pressure-cooking</b> batubara dengan media air. Batubara dipisahkan dengan airnya pada kondisi yang mirip dengan proses pada saat batubara sedang mengalami natural metamorphosis, akan tetapi metamorphosisnya dicapai pada kondisi tekanan yang tinggi. Pada kondisi tekanan dan temperatur tinggi yang sesuai, <i>lignite</i> tidak hanya akan kehilangan airnya yang terikat secara kimia, tetapi juga berada dalam keadaan dimana tidak akan mengabsorpsi kembali airnya.</p>	<p>Memberikan keuntungan karena dapat memisahkan kandungan sodium dari batubara selama proses pengeringan berlangsung, dimana sodium dapat menyebabkan risiko terjadinya <i>fouling</i> dan <i>slagging</i> di boiler.</p>	<p><b>Biaya operasi yang diperlukan cukup tinggi</b> karena proses pada temperatur dan tekanan tinggi.</p>

5.	Teknik <i>hydrothermal</i> yang dikembangkan oleh <i>Departement of Chemical Engineering-Kyoto University, Jepang</i>	<i>Upgrading</i> batubara dengan prinsip <b>pirolisis</b> , teknik ini menghasilkan proses pengeringan yang lebih efektif pada temperatur 350°C, untuk menghasilkan batubara dengan nilai kalor yang tinggi.	Secara singkat dapat dikatakan bahwa batubara tersebut mengalami proses <i>coalification</i> dalam waktu yang sangat pendek, tidak dalam jutaan tahun seperti proses yang sesungguhnya. Kadar air dan sifat mudah terbakar batubara asalnya akan berkurang secara signifikan.	Pengolahan pada suhu > 300°C menyebabkan bahan mudah terbang ( <i>volatile matter</i> ) ikut menguap; ini berdampak pada sifat atau karakteristik batubara produk berbeda dengan batubara asalnya. Proses <i>upgrading</i> ini sekarang masih pada tahap penelitian skala laboratorium dengan autoclave.
6.	<i>Steam Tube Drying (STD)</i> .	menggunakan prinsip <b>pengeringan</b> dengan memanfaatkan uap turbin pada pembangkit listrik, untuk mengeringkan batubara dengan alat pengering <i>type shell and tube</i> yang berotasi.	Proses STD pada dasarnya merupakan proses <i>indirect heating drying</i> , sehingga volume gas buangnya dapat diperkecil. Efisiensi cukup tinggi karena STD <i>pre-drying</i> dapat diterapkan pada pembangkit listrik yang sudah ada, yang akan dibangun maupun sistim gasifikasi untuk IGCC dan SNG.	Masih dalam tahap <i>feasibility</i> .

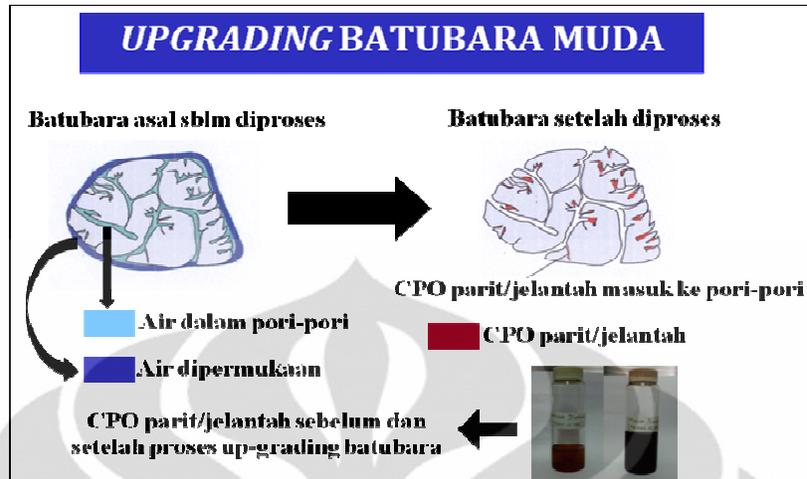
### 2.15.1 Penelitian Sebelumnya

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian *dewatering* batubara dengan menggunakan minyak jelantah untuk menggoreng batubara dalam skala rumah tangga (Novi, 2010) dengan variasi temperatur pemanasan dan jumlah minyak yang digunakan. Jumlah minyak yang digunakan divariasikan pada rasio 1, 2, dan 3 antara minyak dan batubara. Campuran (*slurry*) dipanaskan pada temperatur 150, 200 dan 250°C dalam wadah terbuka. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur pemanasan antara batubara dan minyak jelantah lebih dominan berpengaruh terhadap penurunan kadar air batubara dibandingkan dengan rasio antara batubara dan minyak jelantah. Pada rasio 1:1 didapatkan bahwa pada temperatur pemanasan 200°C persentase penurunannya sebesar 84,64%, sedangkan pada temperatur 150°C persen penurunannya 85,2%. Lalu pada temperatur 250°C persen penurunannya sama halnya pada temperatur 200°C, hal ini disebabkan adanya pengaruh pemisahan antara minyak jelantah dan batubara kurang begitu sempurna sehingga mempengaruhi kandungan air pada batubara. Sedangkan pada rasio 1:2 dan 1:3 baik pada temperatur 150, 200 dan 250°C penurunan kadar airnya yaitu mendekati 100%. Hal ini terjadi karena rasio minyak jelantah yang lebih banyak daripada batubaranya sehingga kekosongan pori-pori batubara pada proses pemanasan dapat terisi penuh oleh minyak jelantah tersebut, sehingga besarnya penambahan minyak jelantah dapat mempengaruhi kadar air. Puncak temperatur pembakaran tertinggi yaitu pada briket batubara dengan temperatur pemanasan 200°C. Produk *dewatering* dengan temperatur pemanasan 150°C memiliki waktu penyalaan yang lebih lama dibandingkan 200°C dan temperatur pembakaran yang dicapai pada briket dengan pemanasan 150°C juga lebih kecil daripada briket produk *dewatering* dengan temperatur pemanasan 200°C. Hal ini disebabkan karena masih banyaknya kandungan air pada briket batubara yang dihasilkan dari pemanasan 150°C daripada briket produk *dewatering* dengan temperatur pemanasan 200°C. Sedangkan temperatur pembakaran yang dicapai briket pada temperatur pemanasan *dewatering* 250°C lebih rendah bila dibandingkan dengan temperatur pemanasan 200°C. Hal ini terjadi karena adanya sebagian kandungan *volatile matter* yang menguap sehingga temperatur pembakaran yang dicapai kurang maksimal.

### 2.15.2 Pengembangan dari Penelitian Sebelumnya

Aplikasi teknologi proses *up-grading* batubara peringkat rendah harus mempertimbangkan beberapa kriteria penting yaitu disamping layak secara tekno-ekonomi, juga seminimal mungkin melibatkan perubahan kimiawi batubara. Ini berarti bahwa proses *up-grading* pada temperatur dan tekanan rendah lebih diinginkan agar proses-proses pelepasan senyawa organik atau proses pirolisa dapat ditekan sehingga limbah cair dan emisi gas yang dihasilkan sekecil mungkin. Operasi pada temperatur dan tekanan rendah juga akan menurunkan biaya operasi dalam jumlah yang sangat berarti. Dengan mempertimbangkan beberapa prinsip dalam teknik *coal upgrading*, yang berupa pengeringan, evaporasi, dan pirolisis maka penelitian kali ini akan mengaplikasikan prinsip evaporasi batubara melalui teknik *slurry dewatering* dengan *solvent* berupa jelantah dan CPO parit, dimana *solvent* ini merupakan limbah yang berharga murah dan memiliki titik didih di atas 300°C sehingga *solvent* tersebut tidak ikut menguap selama proses penguapan air, dan *slurry dewatering* dapat berlangsung dalam tekanan atmosferik yang rendah. Teknik *slurry dewatering* dilakukan pada rentang temperatur 150-200°C agar penguapan air tidak diikuti terjadinya penguapan tar, hydrogen, CO<sub>2</sub>, CO dan hidrokarbon dalam batubara, yang diproses dalam autoclave 5 L sebagai uji performance alat yang tersedia di Laboratorium Pencairan Batbara yang sekiranya dapat diaplikasikan untuk skala industri dan pembangkit listrik.

Pemanfaatan minyak jelantah dari pengolahan makanan akan dibandingkan dengan pemanfaatan limbah industri minyak kelapa sawit berupa CPO parit yang ketersediaan bahan bakunya lebih memadai sebagai *coating agent* dalam skala proses yang lebih besar. Dalam proses *slurry dewatering*, batubara dicampur dengan minyak kemudian dipanaskan pada tekanan atmosferik dan temperatur yang relatif rendah yaitu berkisar antara 150 - 200°C. Dengan minyak tersebut, diharapkan pori-pori batubara yang terbuka akan diisi oleh minyak dan menutup permukaan batubara sehingga air yang telah keluar tidak akan terserap kembali. Ilustrasi proses pengeluaran air dari partikel batubara pada proses *slurry dewatering* ditunjukkan pada Gambar 2.15 berikut :



Gambar 2.15 Ilustrasi proses pengeluaran air dari partikel batubara pada proses *Slurry Dewatering*

Proses *slurry dewatering* dilakukan dalam sebuah autoclave, yaitu reaktor tertutup dan berpengaduk dengan kapasitas 5 liter yang dilengkapi dengan kondensor untuk mengkondensasikan uap air hasil evaporasi tersebut. Proses kondensasi uap air ini bertujuan merekoveri limbah proses dalam fase cair untuk ditangani lebih lanjut agar dapat mengurangi emisi udara bilamana proses evaporasi ini diuapkan langsung secara bebas ke udara, karena dimungkinkan uap air hasil evaporasi tersebut bersifat asam. Secara operasional, penanganan limbah cair akan lebih sederhana dan ekonomis daripada penanganan limbah udara, begitu pula dampak lingkungannya. Air limbah pencucian batubara mengandung bahan pengotor berupa zat-zat organik terlarut seperti Fe, NO<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub>, (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup> dan kadar asam yang tinggi. Namun pengolahannya cukup efektif dan murah menggunakan bahan pereaksi Ca(OH)<sub>2</sub>, sehingga tidak akan mencemari lingkungan (Tahi Siahaan, 2009).

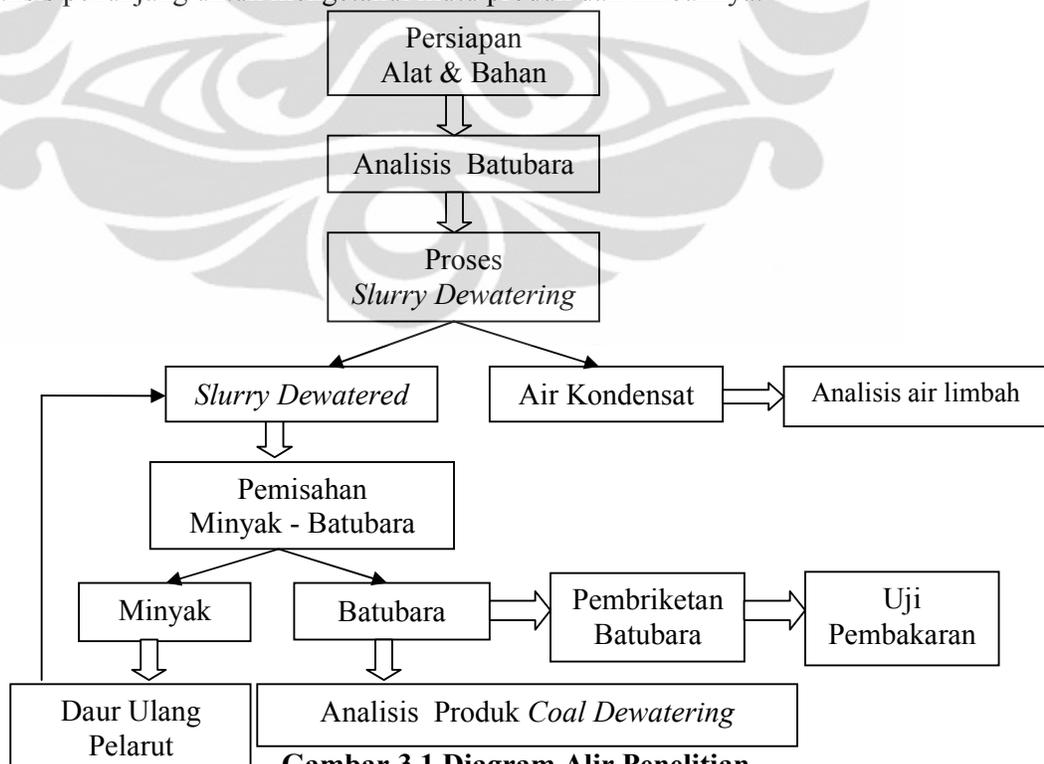
## BAB III

### METODE PENELITIAN

Penelitian untuk menguji efisiensi proses *slurry dewatering* dilakukan di Laboratorium Pencairan Batubara PTPSE-BPPT, Puspiptek, Serpong, sedangkan uji karakteristik pembakaran hasil proses *slurry dewatering* tersebut dilakukan di Laboratorium Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik UI, dengan menggunakan peralatan dan fasilitasnya. Namun untuk sebagian analisis akan dilakukan di laboratorium lain yang memiliki kelengkapan peralatan analisis yang dibutuhkan. Pada bab ini akan dibahas diagram alir proses, bahan dan peralatan yang digunakan, prosedur dan variabel pengujian.

#### 3.1 Diagram Alir Proses

Alur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 yang meliputi persiapan alat dan bahan, proses *slurry dewatering*, proses pemisahan batubara dari pelarutnya yang berupa minyak, proses pembriketan, uji pembakaran produk dan analisis penunjang untuk mengetahui mutu produk dan limbahnya.



**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**

Pada garis besarnya metodologi yang diterapkan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. Test dengan Autoclave, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum proses dan mendapatkan bahan pelarut yang terbaik, mudah diperoleh dan harganya juga lebih murah.
2. Test terhadap separator sentrifugal, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah pelarut yang dapat dipisahkan dari *slurry* serta karakteristiknya untuk diumpankan kembali sebagai pelarut pada *running* selanjutnya.
3. Test terhadap kualitas batubara pada sebelum dan sesudah proses upgrading termasuk kualitas briketnya serta limbah yang dihasilkan. Kualitas batubara ini diuji berdasarkan analisis proksimat, ultimat, nilai kalori dan pembakarannya. Limbah cair yang dihasilkan diuji berdasarkan analisis BOD dan tingkat keasamannya. Analisis BOD dilakukan di Laboratorium Afiliasi MIPA, UI.

### **3.2 Bahan Baku Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian, meliputi bahan baku utama dan bahan baku penunjang.

Bahan baku utama terdiri dari :

1. batubara peringkat rendah Indonesia, jenis lignite.
2. minyak goreng bekas (jelantah) dan CPO parit, sebagai bahan pelarut.

Bahan baku penunjang antara lain sebagai berikut :

1. gas nitrogen, sebagai media pengkondisi inert pada reaktor tertutup
2. air, sebagai media pendingin kondensor
3. aceton, sebagai media pengencer dalam analisis karakteristik *solvent recovery*

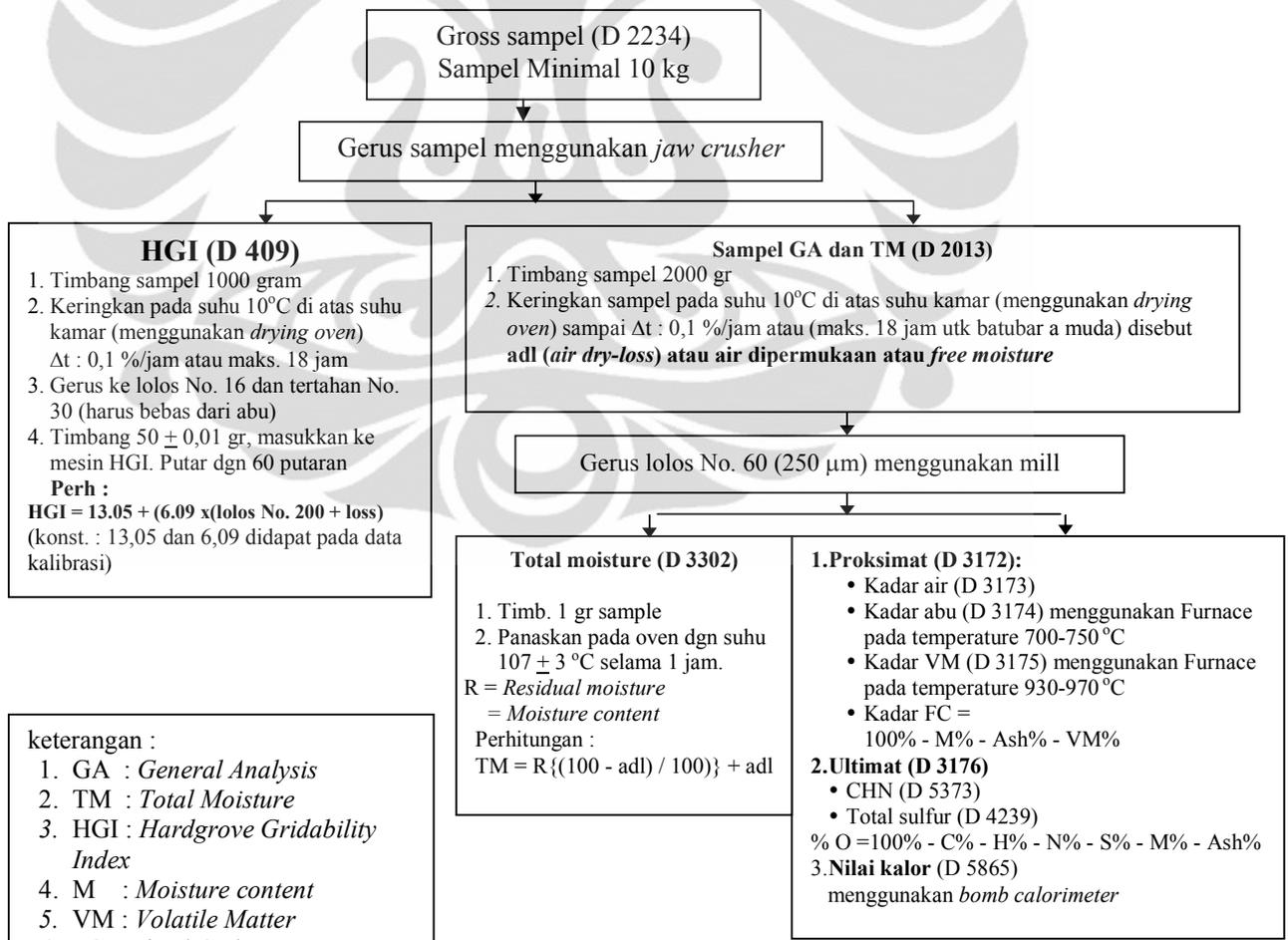
#### **3.2.1 Karakteristik Batubara**

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis lignit dari Kalimantan dengan karakteristik awal yang ditunjukkan pada tabel 3.1. Pengujian kualitas batubara tersebut dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Batubara, Balai Besar Teknologi Energi BPPT, Puspiptek Serpong.

Tabel 3.1 Analisis karakteristik batubara

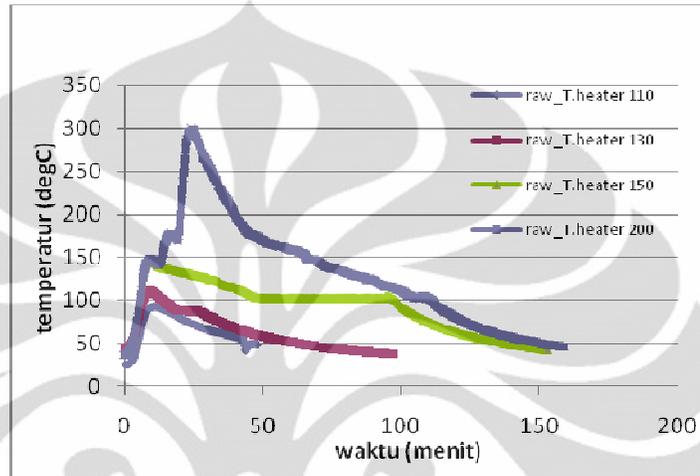
Parameter Uji	Nilai	Standar Uji
<i>Caloric Value</i>	5471 cal/gr	ASTM D-5865-07a
HGI	55	ASTM D-409
<u>Proximate analysis :</u>		ASTM D-5142-09
<i>moisture</i>	30,4 %	<i>by difference</i>
<i>ash</i>	2,4 %	
<i>volatile matter</i>	38,2 %	
<i>fixed carbon</i>	29,0 %	
<u>Ultimate analysis :</u>		
<i>carbon</i>	68,86 %	ASTM D-5373-08
<i>hydrogen</i>	4,60 %	ASTM D-5373-08
<i>nitrogen</i>	1,05 %	ASTM D-5373-08
<i>sulfur</i>	0,04 %	ASTM D-4239-08
<i>oxygen</i>	25,47 %	<i>by difference</i>
H/C	0,80	

Diagram alir analisa batubara dengan standar ASTM 05.05 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Kualitas Batubara

Uji temperatur penyalaaan batubara lignit yang menunjukkan bahwa proses penyalaaan batubara dapat berlangsung mulai temperatur 180°C dengan setting *heater furnace* 200°C. Proses penyalaaan batubara ditandai dengan meningkatnya temperatur batubara secara drastis yang melebihi temperatur *heater* seperti yang terlihat pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Uji penyalaaan batubara

### 3.2.2 Karakteristik Pelarut

Pelarut yang digunakan adalah minyak jelantah dan CPO parit. CPO parit memiliki viskositas yang lebih besar daripada minyak jelantah pada temperatur ruang, sedangkan viskositasnya mulai pada temperatur 60°C, lebih ringan daripada minyak jelantah.

Tabel 3.2 Perbandingan viskositas dan densitas pelarut

MINYAK	JELANTAH	CPO parit
Temperatur [°C]	viskositas [cP]	
30	2,34	5,46
40	1,68	3,00
60	0,90	0,60
80	0,24	0,12
100	0,00	0,00
densitas		
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	850,00	950,00
SG	0,85	0,95

Kekentalan atau viskositas adalah ukuran ketahanan zat cair untuk mengalir. Untuk mengetahui kekuatan mengalir (*flow rate*) zat cair digunakan viskometer.

Universitas Indonesia

*Flow rate* digunakan untuk menghitung indeks viskositas. Aliran atau viskositas suatu cairan dibanding dengan aliran air memberikan viskositas relatif untuk cairan tersebut. Angka pengukuran viskositas relatif cairan disebut dengan indeks viskositas. Indeks viskositas dapat dirumuskan seperti berikut:

$$\text{Indeks Viskositas} = \frac{\text{flow rate cairan}}{\text{flow rate air}}$$

Angka indeks viskositas suatu cairan di bawah 1 berarti viskositasnya di bawah viskositas air. Adapun angka indeks viskositas di atas 1 berarti viskositasnya di atas viskositas air. Viskositas cairan terjadi karena gesekan antar molekul. Viskositas sangat dipengaruhi oleh struktur molekul cairan. Jika struktur molekulnya kecil dan sederhana maka molekul tersebut dapat bergerak cepat, misalkan air. Jika molekulnya besar dan saling bertautan maka zat tersebut akan bergerak sangat lambat. Molekul-molekul cairan yang bergerak cepat dikatakan memiliki viskositas atau kekentalan rendah sedangkan molekul cairan yang bergerak lambat dikatakan memiliki kekentalan tinggi.

### 3.3 Peralatan

Secara garis unit peralatan dalam penelitian ini terbagi menjadi 5 bagian, yaitu unit preparasi batubara, unit proses *slurry dewatering*, unit pemisahan batubara dari minyak, unit analisis produk *solvent recovery*, unit pembriketan dan uji pembakaran.

#### 3.3.1 Peralatan preparasi batubara terdiri dari :

1. *Crusher*
2. *Sieve shakers*
3. Timbangan digital
4. Sekop
5. Toples penyimpan batubara

#### 3.3.2 Peralatan pada proses *slurry dewatering* terdiri dari :

1. Reaktor *autoclave* 5 liter
2. pengaduk magnetik
3. *Pressure gauge*

4. *Condenser*
5. *Blower*
6. *Control panel*
7. *Cooling water*
8. *Spanner dan power wrench*
9. *Spatula stainles steel*
10. *Receiver*

### **3.3.3 Peralatan pemisahan batubara dari minyak :**

1. Separator sentrifugal
2. Beaker glass sebagai penampung minyak

### **3.3.4 Peralatan analisis produk *solvent recovery* :**

1. Gelas ukur
2. Spatula
3. Erlenmeyer
4. Corong
5. Kertas saring
6. Timbangan
7. Viskometer

### **3.3.5 Peralatan pembriketan batubara dan uji pembakaran briket**

1. Alat pencetak briket
2. Alat uji bakar (*furnace*)
3. Anemometer
4. *Combustion Analyzer*
5. *Temperatur record – ADAM 4018 M software*

## **3.4 Prosedur Penelitian**

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap penelitian yaitu persiapan alat dan bahan, preparasi batubara, analisa batubara umpan, uji viskositas pelarut, proses *slurry dewatering*, proses pemisahan minyak dari produk batubara *upgraded*, analisa produk batubara *upgraded*, filtrasi *recycle* pelarut, serta analisa keasaman dan BOD limbah air dari proses *slurry dewatering* .

### 3.4.1 Persiapan bahan dan alat

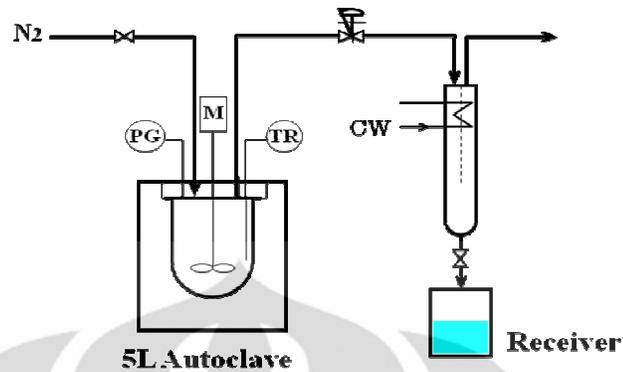
Pada tahap ini, semua peralatan dan bahan dipersiapkan yaitu meliputi pembersihan alat sebelum digunakan, pengecekan alat apakah sudah lengkap dan siap pakai (tidak ada *trouble*), serta penimbangan bahan dan alat yang diperlukan. Preparasi batubara dilakukan dengan menghancurkan batubara bongkahan menggunakan *crusher* hingga partikel berukuran 2,36 mm atau lolos ayakan (*sieve*) 8 mesh. Pengukuran viskositas pelarut yang berupa minyak jelantah dan CPO parit menggunakan Viscometer LVDV-II Pro (Brookfield).

### 3.4.2 Proses *Slurry Dewatering*

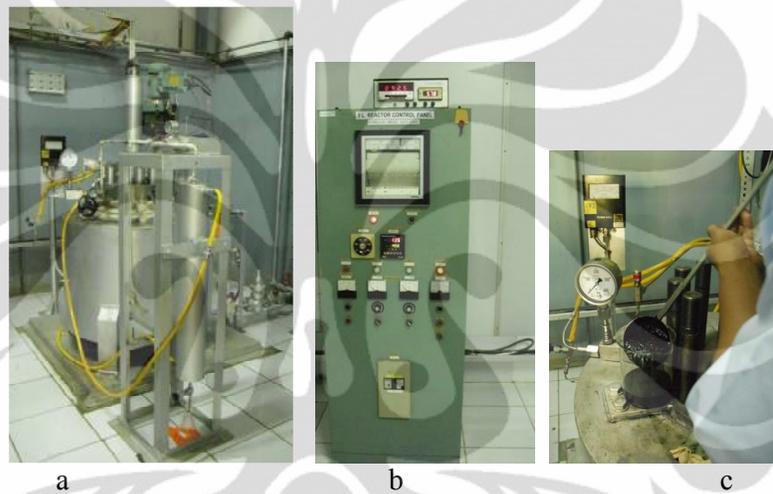
Proses *slurry dewatering* dilakukan di reaktor *autoclave* 5 liter tipe *batch* berpengaduk dengan kecepatan putar 150 rpm dilengkapi dengan pemanas (*heater*) yang disetting pada temperatur 150°C untuk mencapai temperatur operasi yang diinginkan dalam rentang 150-200°C.

Umpan berupa batubara dan pelarut yang telah diuji nilai viskositasnya dimasukkan ke dalam reaktor *autoclave* 5 liter. Gas nitrogen yang bersifat inert dialirkan masuk ke *autoclave* hingga tekanan mencapai 1 kg/cm<sup>2</sup>.

Setelah melalui tahap pemanasan awal hingga mencapai temperatur operasi yang diinginkan, proses dikondisikan tetap (*steady*) selama 2 jam. Katup pengatur tekanan (*pressure control valve*) dioperasikan dengan hati-hati untuk mempertahankan tekanan operasi 1 kg/cm<sup>2</sup>. Ketika tekanan naik, katup keluaran kondensor dibuka untuk mengeluarkan air kondensat yang akan ditampung pada sebuah *receiver* lalu katup ditutup kembali ketika tekanan sudah kembali ke 1 kg/cm<sup>2</sup>. Selanjutnya *autoclave* didinginkan sampai temperatur ruang dan produk *slurry dewatered* diambil dari *autoclave* untuk kemudian dilakukan pemisahan antara minyak dan batubaranya di unit separator.



Gambar 3.4 Skema Alat Proses *Slurry Dewatering*

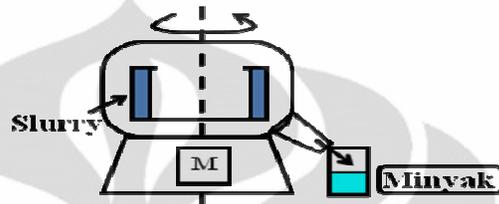


Gambar 3.5 Rangkaian Alat Proses *Slurry Dewatering* dengan Autoclave 5L (a) yang terkontrol pada *control panel* (b) dan proses pengambilan *slurry* dari Autoclave (c)

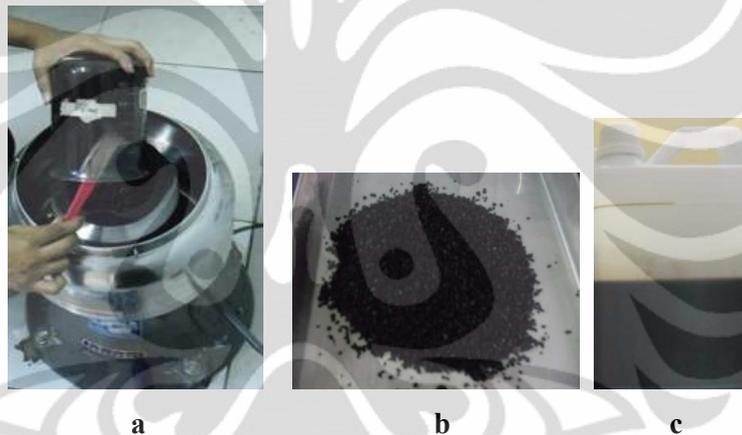
### 3.4.3 Proses Pemisahan *Slurry*

Minyak dalam *slurry* dipisahkan dari *coal dewatered* dengan menggunakan separator sentrifugal dengan kecepatan putar 2000 sampai 3000 rpm. Minyak yang telah terpisahkan ditampung pada sebuah *receiver*, untuk kemudian digunakan kembali sebagai pelarut pada *running* selanjutnya. Separator ini menggunakan prinsip sentrifugasi untuk memisahkan suatu campuran sehingga partikel bahan yang lebih kecil akan terdifusi keluar melalui lubang saringan dari kantung sampel yang diputar dengan kecepatan tinggi tersebut. Dari proses pemisahan tersebut, *filtrate* berupa minyak dialirkan ke penampung, minyak tersebut masih mengandung sedikit komponen batubara serbuk (*fine coal*) yang ikut lolos dari lubang saringan, dan untuk

mengetahui komposisi *fine coal* yang masih terlarut dalam minyak tersebut perlu dilakukan filtrasi dengan membrane filtrasi berupa kertas saring Whatman 40. Sedangkan batubara yang telah terpisahkan dari *slurry dewatered* dan masih tertampung di kantong separator, masih mengandung minyak yang terikut dan menempel di permukaan partikel batubara, minyak ini dikatakan sebagai *excess oil*.



**Gambar 3.6** Skema Alat Proses Pemisahan *Slurry Dewatered*



**Gambar 3.7** Alat Proses Pemisahan *Slurry Dewatered* (a), batubara yang terpisahkan dari *slurry dewatered* (b) dan minyak yang terpisahkan dari *slurry dewatered* (c)

#### 3.4.4 Pembriketan Batubara

Batubara dari proses *slurry dewatering* dengan penambahan bahan pengikat berupa tepung tapioka dan *clay* masing-masing 2% dan 1% dari total berat campuran lalu dicampur rata, dan dimasukkan ke dalam cetakan yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter 3 cm dan tinggi 1,5 cm kemudian dilakukan pengepresan dengan tekanan hidrolis. Briket yang sudah tercetak dikeringkan dalam temperatur ruang di udara terbuka, untuk selanjutnya dilakukan analisis kestabilan *moisture*.



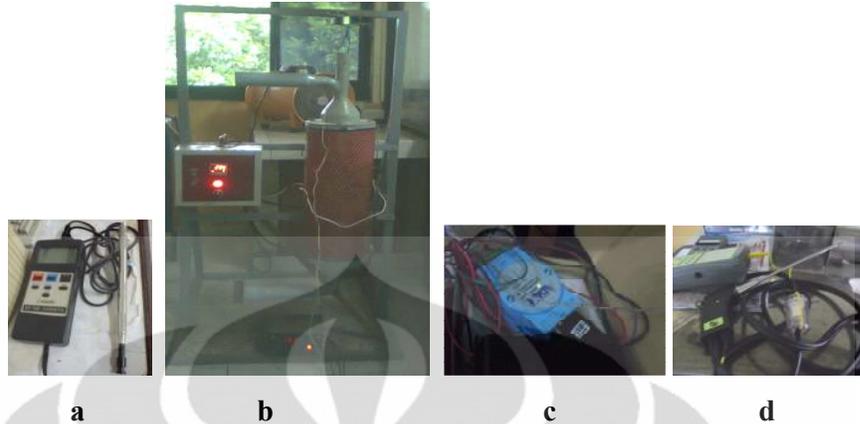
Gambar 3.8 Alat Pencetakan dan Pengepres/Penekan Hidrolik Briket Batubara



Gambar 3.9 Produk Briket Batubara

#### 3.4.5 Uji karakteristik pembakaran briket batubara

Karakterisasi pembakaran dilakukan dengan *thermal furnace*. Prinsip kerja pengujian ini adalah pemanasan suatu bahan bakar padat pada ruang bakar dan waktu tertentu dengan aliran udara mengelilingi bahan bakar tersebut, hingga bahan bakar tersebut mengalami penyalaan dan pembakaran dengan pencatatan waktu operasi dan temperatur sampel. Pengujian dilakukan terhadap contoh batubara yang dipanaskan pada temperatur ruang bakar 300°C dengan aliran udara dari blower pada kecepatan udara 1,2 m/s yang diukur dengan anemometer. Kenaikan temperatur terhadap panas yang dihasilkan dari sampel diamati dari data *thermocouple reader* yang menggunakan *software* Adam 4018M dengan interval waktu pencatatan 10 detik. Pengukuran emisi CO dari pembakaran menggunakan *combustion efficiency analyzer* tpi 708 yang dilakukan langsung pada sumber asap setiap 5 menit.



Gambar 3.10 Rangkaian Alat Uji Pembakaran Briket Batubara (b) yang disertai dengan anemometer (a), Adam 4018M (c) dan *combustion analyzer* (d)

### 3.4.6 Analisis

Untuk menunjang data pengkajian, maka diperlukan analisis contoh bahan sebelum dan setelah proses *upgrading*.

Analisis yang dilakukan meliputi:

- Proksimat yang terdiri atas: kandungan air, abu, zat terbang dan karbon padat
- Ultimat yang terdiri atas komposisi : C, H, N, S, dan O
- Nilai kalor
- Uji pembakaran batubara
- Kestabilan moisture produk batubara .
- Karakteristik pelarut yang terekoveri, untuk selanjutnya digunakan kembali yang meliputi uji viskositas dan filtrasi untuk mengetahui komposisi batubara yang terlarut dalam pelarut yang terekoveri tersebut.
- Karakteristik limbah cair yang meliputi pH dan BOD.

### 3.5 Variabel Pengujian

Variable pengujian meliputi variable tetap dan variable bebas. Variable tetap pada penelitian ini adalah tekanan, sedangkan variable bebas berupa temperatur operasi dan viskositas slurry dengan memvariasikan perbandingan jenis dan komposisi pelarut terhadap basis massa batubara. Massa basis merupakan massa batubara bebas air (*moisture free content*).

Viskositas berpengaruh terhadap efektifitas pengadukan yang nantinya juga akan berpengaruh pada efisiensi penurunan kadar air batubara. Semakin kental (*viscous*) suatu fluida maka tenaga pengadukan yang dibutuhkan juga akan semakin besar, dengan demikian biaya operasi yang dibutuhkan juga semakin besar. Untuk itu variasi perbandingan komposisi pelarut terhadap massa basis batubara bertujuan mencari komposisi *slurry* yang optimum secara teknis dalam proses *slurry dewatering* pada reaktor berpengaduk. Untuk kualitas produk *slurry dewatering*, komposisi pelarut akan memberikan kemungkinan pengaruh kestabilan kandungan air dalam *coal upgraded*, karena minyak bersifat *swelling agent* sehingga *coal upgraded* tidak mudah menyerap air kembali (*re-absorb*) pada temperatur ruang.

Tabel 3.3. Tabulasi Variabel Pengujian

No.	Komposisi Oil	Oil/Coal
1	100% CPO	1
2		1.5
3		2
4	50% CPO : 50% jelantah	1
5		1.5
6		2
7	100% jelantah	1
8		1.5
9		2

RUN no.10 merupakan proses recycle dari RUN no. 5

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap batubara peringkat rendah jenis lignit (*brown coal*) yang mempunyai kandungan air tinggi dan nilai kalori rendah. Peningkatan mutu batubara peringkat rendah (*low rank coal upgrading*) melalui proses *slurry dewatering* diharapkan dapat mengurangi kandungan air dan meningkatkan nilai kalori sehingga dapat mempercepat waktu penyalaan dan panas pembakaran batubara. Pada proses *slurry dewatering*, dilakukan proses pemanasan terhadap campuran batubara dengan minyak pada temperatur 150-200°C selama 2 jam di dalam autoclave. Tujuan penambahan minyak sebagai pelarut (*solvent*) yaitu untuk membentuk kondisi *hidrofob* dan melapisi permukaan batubara setelah proses pemanasan agar tidak terjadi penyerapan kembali (*reabsorption*) uap air dari lingkungan sekitar. Variasi minyak yang digunakan berupa jelantah dan CPO parit, sebagai salah satu usaha pemanfaatan limbah. Jelantah adalah minyak goreng bekas pakai yang sudah tidak baik digunakan jika digunakan kembali untuk memasak makanan secara berulang – ulang. Sedangkan CPO parit adalah limbah cair industri kelapa sawit, berwarna kecoklatan dan mengandung residu minyak dengan konsentrasi bahan organik cukup banyak dengan kandungan BOD tinggi namun secara alamiah dapat mengalami penguraian oleh mikroorganisme menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. CPO parit mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) >70%, sedangkan CPO yang diperkenankan untuk diolah menjadi minyak goreng adalah CPO yang mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) < 5%.

Autoclave yang digunakan dilengkapi dengan kondensor untuk mengkondensasikan kembali uap air yang berasal dari batubara, untuk selanjutnya dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Uap air tersebut bersifat asam, mengingat bahan baku yang digunakan juga bersifat sama, sehingga kurang baik jika dibiarkan menguap langsung ke udara bebas karena dapat menjadi salah satu penyebab hujan asam.

Uji karakteristik pembakaran briket batubara dilakukan di dalam *furnace* yang telah dilengkapi *blower* di bagian bawah untuk mengalirkan suplai udara masuk dan menjamin kecukupan suplai udara pembakaran tersebut serta mempercepat proses penyalaan dan proses pembakaran briket batubara di dalam *furnace*.

#### 4.1 Peningkatan Mutu Batubara Muda dengan Proses *Slurry Dewatering*

Peningkatan mutu batubara peringkat rendah melalui proses *slurry dewatering* dapat ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut melalui analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori dari sampel hasil proses *slurry dewatering* RUN 5 yang menggunakan *solvent* campuran jelantah dan CPO parit pada ratio *solvent/coal* 1,5 untuk mewakili variasi jenis dan ratio pelarut yang digunakan.

Tabel 4.1 perbandingan karakteristik batubara sebelum dan sesudah proses *slurry dewatering*, dari produk hasil RUN 5 dengan *solvent* berupa campuran antara jelantah dan CPO parit pada *rasio solvent/coal* 1,5 yang diambil sebagai sampel untuk mewakili penelitian ini, melalui analisis proksimat, ultimat dan nilai kalori.

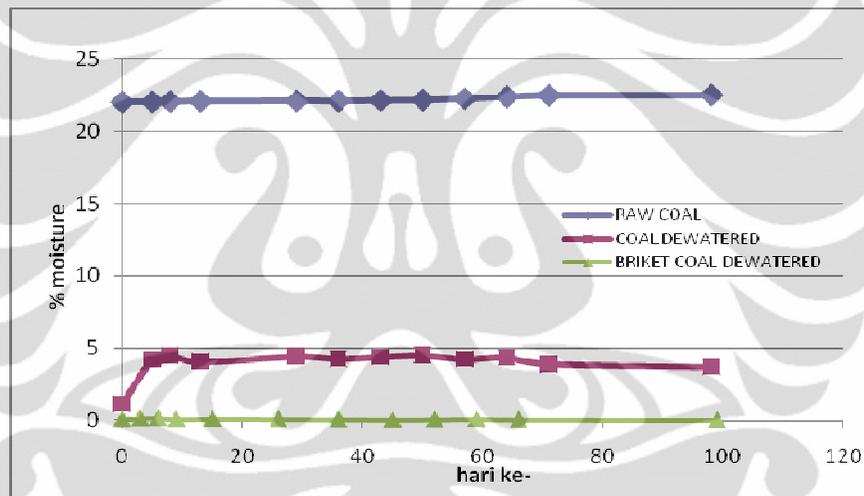
Parameter	<i>Raw Coal</i>	<i>Dewatered Coal</i>
ANALISIS ULTIMAT ( <i>dry ash free</i> ) :		
%C	68,86	69,10
%H	4,60	6,12
%N	1,05	0,46
%S	0,04	0,15
%O	25,47	24,20
<b>Ratio atom H/C</b>	<b>0,8</b>	<b>1,06</b>
ANALISIS PROKSIMAT : % <i>moisture</i>	<b>30,4</b>	<b>2,1</b>
% <i>ash</i>	2,4	1,6
% <i>volatile matter</i>	38,2	58,4
% <i>fixed carbon</i>	29,0	37,8
<b>Caloric Value [HHV] :</b>	<b>4721 cal/gr</b>	<b>6713 cal/gr</b>

Proses *slurry dewatering* mampu menurunkan moisture dari 30,4% menjadi 2,1%. Di samping itu, proses *slurry dewatering* juga meningkatkan nilai *volatile matter* dan *fixed carbon*. Nilai *volatile matter* meningkat dari 38,2% menjadi 58,4%. Sedangkan *fixed carbon* meningkat dari 29% menjadi 37,8%. *Volatile matter* dan *fixed carbon* yang meningkat juga akan meningkatkan nilai kalori. Nilai kalori adalah nilai energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran batubara. Proses *slurry dewatering* mampu

meningkatkan *ratio atomic* H/C batubara dari 0,8 menjadi 1,06 dan nilai kalorinya dari 4721 cal/gr menjadi 6713 cal/gr. Nilai kalori batubara hasil proses *slurry dewatering* meningkat, seiring dengan menurunnya kadar air batubara. Nilai kalori batubara setelah proses *slurry dewatering* meningkat menjadi > 5700 cal/gr, yang merupakan batas minimal nilai kalori *hard coal*. Sehingga proses *slurry dewatering* mampu meningkatkan *rank* batubara dari *brown coal* menjadi setara dengan batubara *hard coal*.

#### 4.2 Kestabilan Moisture Batubara Produk *Slurry Dewatering*

Kandungan air yang dilepaskan selama proses *slurry dewatering*, digantikan dengan minyak yang mengandung nilai kalori tinggi dan karakter minyak yang bersifat *hidrofob*, sehingga kestabilan *moisture* batubara dapat lebih terjaga.



Gambar 4.1 perbandingan profil *moisture* antara batubara sebelum proses *slurry dewatering* (*raw coal*) dengan sesudah proses *slurry dewatering* (*coal dewatered*), serta briket batubara sesudah proses *slurry dewatering* (*briket coal dewatered*) dari produk RUN 5 dengan *solvent* berupa campuran antara jelantah dan CPO parit pada *rasio solvent / coal* 1,5 yang diambil sebagai sampel untuk mewakili penelitian ini .

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa *raw coal*, batubara yang tanpa proses *slurry dewatering* akan mengalami sedikit kenaikan *moisture* yaitu 2,23% dari 21,87% menjadi 22,5% selama 100 hari pengamatan. Sedangkan batubara yang diproses melalui *slurry dewatering* hanya mengalami kenaikan *moisture* di awal setelah proses *slurry dewatering*, dan stabil mulai hari ke-5 (sekitar 1 minggu setelah proses). Batubara produk *slurry dewatering* yang telah dibriket menunjukkan kestabilan *moisture* yang lebih konstan. Hal

ini menunjukkan bahwa melalui proses *slurry dewatering* dan pembriketan, selain batubara ditingkatkan mutunya juga kestabilan *moisture*nya lebih terjaga.

Dari gambar 4.1 juga terlihat bahwa partikel batubara produk *slurry dewatering* dapat lebih menyerap air. Lonjakan kenaikan *moisture* pada batubara produk *slurry dewatering* yang masih dalam bentuk partikel disebabkan karena total luas partikel yang lebih lebar sehingga memungkinkan partikel batubara tersebut kontak langsung dengan udara langsung lebih banyak sehingga masih dapat menyerap air dari lingkungan sekitarnya. Sedangkan briket yaitu sekumpulan partikel batubara yang sudah dimampatkan sehingga akan lebih kuat menahan proses penyerapan air dari lingkungan sekitarnya. Hal ini disebabkan oleh kerapatan antar partikel dalam briket dan total luas partikel yang lebih kecil sehingga proses penyerapan air hanya terjadi pada permukaan briket tersebut .

Pembriketan batubara, selain untuk lebih menjaga kestabilan *moisture* juga untuk tujuan proses pengangkutan komersial agar lebih efisien dan ramah lingkungan. Batubara dalam ukuran partikel akan lebih banyak menghasilkan serbuk batubara (*fine coal*) sehingga akan lebih banyak *lost* dalam proses pengangkutan serta dapat menyebabkan kerusakan lingkungan sebagai polutan udara.

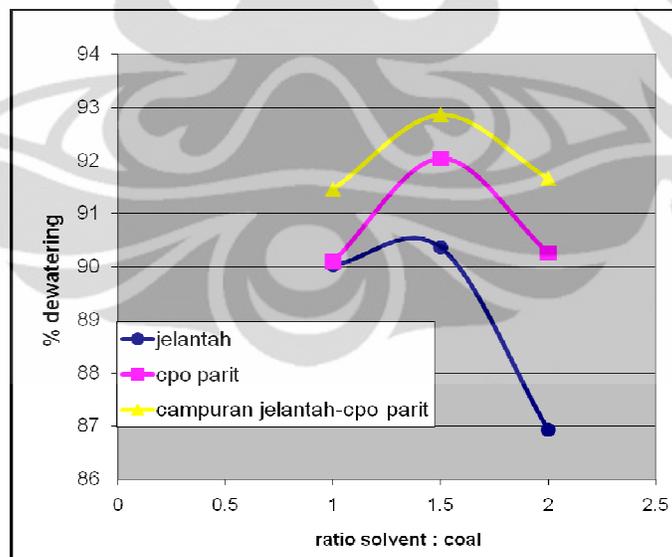
Fenomena pada proses *slurry dewatering* adalah sebagai berikut, *moisture* dalam batubara terdesak keluar karena proses pemanasan. Setelah air keluar, rongga pori-pori batubara terisi partikel minyak dan pori -pori batubara tersebut tertutup oleh minyak. Setelah poses *slurry dewatering* , masih ada sebagian pori yang kontak dengan udara sekitar, sehingga masih dapat menyerap air di satu minggu awal setelah proses *slurry dewatering* lalu mulai konstan setelah satu minggu tersebut.

### **4.3 Kinerja Solvent dalam Proses *Slurry Dewatering***

Pengujian dilakukan dalam tiga kelompok variasi jenis *solvent* yaitu jelantah; CPO parit serta campuran antara jelantah dengan CPO parit, dimana masing - masing *solvent* juga divariasikan dengan ratio *solvent/coal* = 1; 1,5 dan 2. Hal ini untuk menginvestigasi pengaruh variasi ratio *solvent/coal* dari kondisi standar yang telah ditetapkan pada aplikasi *Upgrading Brown Coal* dengan menggunakan *solvent* kerosin (*Coal & Energy Project Dept. KOBE STEEL LTD, 2002*).

Terbentuknya sifat *hydrophobic* pada batubara dan juga fenomena *driving force* yang dikarenakan perbedaan temperatur yang diberikan selama proses pemanasan *slurry dewatering*. Kondisi lingkungan dalam autoclave dan *solvent* pada temperatur lebih tinggi daripada air yang terkungkung dalam pori-pori batubara mampu menekan dan mendorong air keluar dari pori-pori batubara tersebut. Air yang keluar dari pori-pori tersebut berada dalam fase uap sehingga memiliki energi bebas yang lebih besar yang memungkinkan uap air dalam bentuk gas tersebut bebas bergerak ke atas, lalu pori yang kosong akan tertutup oleh minyak, sehingga batubara tersebut menjadi bersifat tidak mudah menyerap air.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa efektifitas kinerja *solvent* tertinggi dihasilkan pada proses *slurry dewatering* dengan ratio *solvent/coal* = 1,5 pada setiap jenis variasi *solvent*. Produk dengan *solvent* campuran jelantah dan CPO parit mencapai % *dewatering* batubara yang tertinggi. Hal ini disebabkan karena ratanya partikel *solvent* campuran yang besar dan yang kecil. Partikel *solvent* yang besar dari CPO parit akan mengisi pori partikel batubara yang besar, sedangkan partikel *solvent* yang kecil dari jelantah akan mengisi pori partikel batubara yang kecil.



Gambar 4.2 Perbandingan kinerja *solvent* pada proses *slurry dewatering* dengan variasi jenis dan ratio *solvent* terhadap batubara .

Pengamatan terhadap hasil kinerja *solvent* dalam proses *slurry dewatering* yang ditunjukkan dalam gambar 4.2 yaitu *solvent* campuran lebih baik karena memberikan efek % *dewatering* yang tertinggi jika dibandingkan dengan *solvent* jelantah ataupun

CPO parit sendiri. Hal ini disebabkan adanya sinergi antara besarnya partikel *solvent* CPO parit yang lebih besar dan partikel *solvent* minyak jelantah yang lebih kecil sehingga mampu mengisi penuh rongga dalam pori-pori batubara yang besar (*macroporous*) ataupun pori-pori batubara yang kecil (*microporous*). Hal ini berkaitan dengan struktur distribusi ukuran pori-pori batubara yang terdiri atas *macroporous* dan *microporous* (Levin *et al*, 1981).

Minyak jelantah yang bersifat tak larut dalam air (*immiscible*), dengan keberadaannya yang masuk ke dalam *microporous* akan membentuk kondisi hidrofob, sedangkan CPO parit yang masuk ke dalam *macroporous* akan membentuk tegangan permukaan yang kecil sehingga mampu menyingkirkan air dalam pori partikel batubara lebih banyak, mengingat banyaknya *moisture* di *macroporous* lebih banyak daripada yang terdapat di *microporous*.

Proses *slurry dewatering* dengan minyak jelantah pada ratio 1,5 berhasil menurunkan kandungan air sebanyak 90,37% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,89% pada batubara produk *slurry dewatering*. Pengujian dengan penurunan ratio *solvent/coal* 1 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 90,03% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,89% pada batubara produk *slurry dewatering*. sedangkan pengujian dengan kenaikan *ratio solvent/coal* 2 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 86,93% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 3,92% pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa *ratio solvent/coal* yang paling optimal adalah 1,5.

Proses *slurry dewatering* dengan minyak CPO parit pada ratio 1,5 berhasil menurunkan kandungan air sebanyak 92,03% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,39% pada batubara produk *slurry dewatering*. Pengujian dengan penurunan ratio *solvent/coal* 1 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 90,1% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,97% pada batubara produk. *slurry dewatering*, sedangkan pengujian dengan kenaikan *ratio solvent/coal* 2 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 90,27% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,92% pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa *ratio solvent/coal* yang paling optimal adalah 1,5.

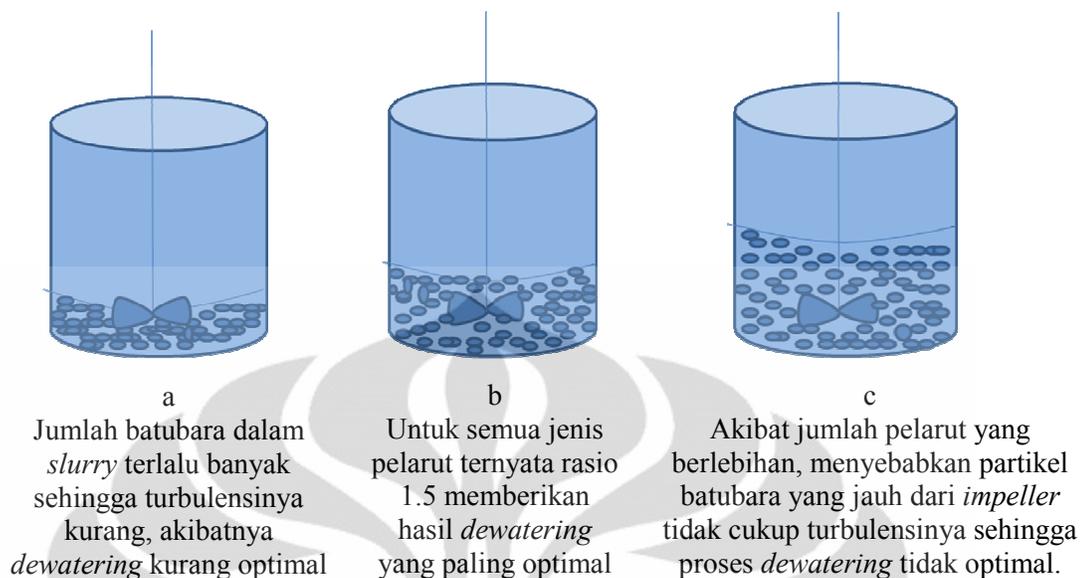
Proses *slurry dewatering* dengan solvent campuran antara minyak jelantah dan CPO parit pada ratio 1,5 berhasil menurunkan kandungan air sebanyak 92,87% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,14% pada batubara produk *slurry dewatering*. Pengujian dengan penurunan ratio solvent/coal 1 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 91,47% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,56% pada batubara produk *slurry dewatering*, sedangkan pengujian dengan kenaikan *ratio solvent/coal* 2 mampu menurunkan kandungan air sebanyak 91,67% dari *moisture raw coal* 30,4% menjadi 2,5% pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa *ratio solvent/coal* yang paling optimal adalah 1,5.

Pengamatan terhadap kinerja *dewatering* dengan ketiga variasi dan *ratio solvent* dapat ditarik kesimpulan bahwa *ratio solvent/coal* yang paling efektif untuk menurunkan nilai *moisture* adalah *ratio solvent/coal* 1,5. Hal ini disebabkan karena pada ratio 1,5 kemampuan impeller untuk mengkondisikan turbulensi fluida mencapai kondisi optimumnya. Ilustrasi jumlah *slurry* pada kondisi *ratio solvent/coal* 1; 1,5 dan 2 dalam reaktor berpengaduk tampak pada gambar 4.3

Pada *ratio solvent/coal* 1,5 untuk ketiga variabel *solvent* yang digunakan, hasilnya menunjukkan kecenderungan yang sama, bahwa hasil proses pemisahan air tertinggi terjadi pada rasio 1,5 tersebut. Jadi dapat disimpulkan bahwa rasio 1,5 adalah rasio yang paling optimal.

Pada *ratio solvent/coal* 1, proses *slurry dewatering* memberikan hasil yang lebih rendah dibandingkan dengan rasio 1,5 untuk ketiga jenis *solvent* yang digunakan. Hal ini terjadi karena jumlah partikel batubara dalam *slurry* terlalu banyak, sehingga kurang memberikan efek turbulensi pada partikel-partikel tersebut, akibatnya proses *slurry dewatering*-nya menjadi kurang optimal dibandingkan dengan rasio 1,5.

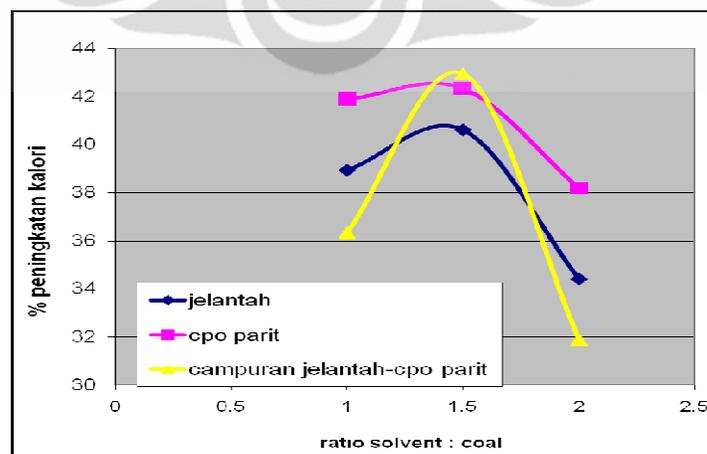
Pada *ratio solvent/coal* 2, terbukti hasil pemisahan airnya lebih rendah dibandingkan dengan rasio 1,5 untuk semua jenis *solvent* yang digunakan. Satu-satunya kemungkinan adalah partikel batubara yang berada paling jauh dari pengaduk (*impeller*) turbulensinya kurang sehingga proses *dewatering*-nya kurang optimal. Tekanan hidrostatis rata-rata pada partikel batubara dengan rasio pelarut 2 lebih besar daripada rasio pelarut 1,5. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan jumlah air yang dapat dipisahkan dari partikel batubara tersebut.



Gambar 4.3 Ilustrasi jumlah *slurry* pada kondisi *ratio solvent/coal* 1(a); kondisi *ratio solvent/coal* 1,5(b) dan kondisi *ratio solvent/coal* 2(c) dalam reaktor berpengaduk.

#### 4.4 Kinerja *solvent* terhadap nilai kalor

Penurunan *moisture* batubara diikuti dengan peningkatan nilai kalorinya, energi yang dihasilkan dari batubara tersebut meningkat karena *fixed carbon* akan meningkatkan nilai kalori. Hal ini dapat dilihat juga pada tabel 4.1. pada tabel tersebut, *coal dewatered* mempunyai kandungan *moisture* 2,1% yang jauh lebih kecil dari *raw coal* yang mempunyai *moisture* 30,4%. Setelah proses *slurry dewatering*, *fixed carbon* meningkat dari 29% menjadi 37,8%. Profil uji peningkatan nilai kalori batubara dapat ditunjukkan dengan gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.4 Perbandingan kinerja *solvent* untuk meningkatkan nilai kalori batubara pada proses *slurry dewatering* dengan variasi jenis dan *ratio solvent* terhadap batubara .

Proses *slurry dewatering* dengan minyak jelantah pada ratio 1,5 berhasil meningkatkan nilai kalori sebanyak 40,61% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6638 cal/gr pada batubara produk. Pengujian dengan penurunan ratio solvent/coal 1 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 38,93% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6559 cal/gr. pada batubara produk *slurry dewatering*, sedangkan pengujian dengan peningkatan *ratio solvent/coal* 2 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 34,4% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6345 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa peningkatan ataupun penurunan *ratio solvent/coal* tidak memberikan hasil yang lebih bagus daripada *ratio solvent/coal* 1,5 yang memberikan hasil paling optimal.

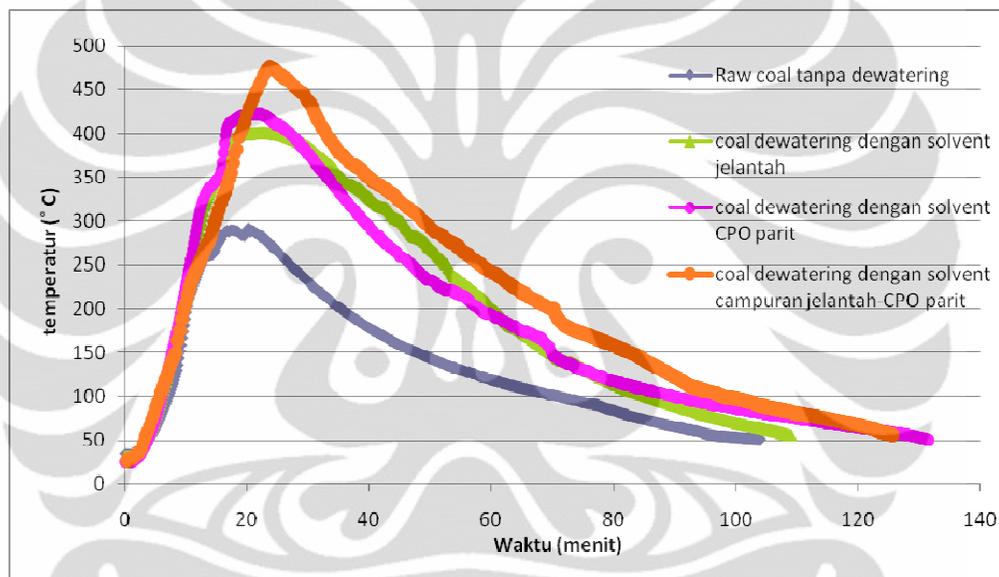
Proses *slurry dewatering* dengan minyak CPO parit pada ratio 1,5 berhasil meningkatkan nilai kalori sebanyak 42,34% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6720 cal/gr. Pengujian dengan penurunan *ratio solvent/coal* 1 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 41,9% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6699 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*, sedangkan pengujian dengan peningkatan *ratio solvent/coal* 2 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 34,4% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6524 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa peningkatan ataupun penurunan *ratio solvent/coal* tidak memberikan hasil yang lebih bagus daripada *ratio solvent/coal* 1,5 yang memberikan hasil paling optimal.

Proses *slurry dewatering* dengan solvent campuran antara minyak jelantah dan CPO parit pada ratio 1,5 meningkatkan nilai kalori sebanyak 42,96% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6749 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*. Pengujian dengan penurunan *ratio solvent/coal* 1 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 36,33% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6436 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*, sedangkan pengujian dengan peningkatan *ratio solvent/coal* 2 mampu meningkatkan nilai kalori sebanyak 31,88% dari nilai kalori *raw coal* 4721 cal/gr menjadi 6226 cal/gr pada batubara produk *slurry dewatering*. Hasil pengujian ini dapat memberikan kesimpulan bahwa peningkatan ataupun penurunan *ratio solvent/coal* tidak memberikan hasil yang lebih bagus daripada *ratio solvent/coal* 1,5 yang memberikan hasil paling optimal.

Pengamatan terhadap peningkatan nilai kalor dengan ketiga variasi dan *ratio solvent* dapat ditarik kesimpulan bahwa *ratio solvent/coal* yang paling efektif untuk meningkatkan nilai kalor dengan *raw coal* yang dipakai adalah *ratio solvent/coal* 1,5.

#### 4.5 Uji Pembakaran Briket Batubara Produk *Slurry Dewatering*

Uji pembakaran briket batubara ini bertujuan untuk mengetahui temperatur pembakaran maksimum yang dapat dicapai dari produk *slurry dewatering* dengan *ratio solvent/coal* 1,5 dimana pada kondisi tersebut memberikan hasil yang paling optimal. Profil uji pembakaran briket batubara tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Profil uji pembakaran briket coal dewatered dengan *ratio solvent/coal* 1,5

Batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan minyak jelantah pada *ratio solvent/coal* 1,5 berhasil mencapai temperatur pembakaran yang maksimum setinggi 401°C. Batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan minyak CPO parit pada *ratio solvent/coal* 1,5 berhasil mencapai temperatur pembakaran yang maksimum setinggi 423°C. Batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan *solvent* campuran antara minyak jelantah dan CPO parit pada *ratio solvent/coal* 1,5 berhasil mencapai temperatur pembakaran yang maksimum setinggi 476°C. Sedangkan batubara tanpa proses *slurry dewatering* hanya mampu mencapai temperatur maksimum pembakaran setinggi 290°C. Hal ini menunjukkan bahwa proses *slurry dewatering* mampu meningkatkan pencapaian temperatur pembakaran yang maksimum sebesar 38%

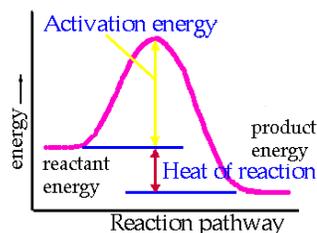
(dengan *solvent* jelantah), 46 % *solvent* untuk CPO parit dan 64% untuk *solvent* campuran.

Pencapaian temperatur pembakaran yang maksimum ini berkaitan dengan nilai kalori batubara dalam briket tersebut. Hal ini sesuai dengan tabel 4.5. Nilai kalori dapat menunjukkan seberapa besar energi yg dipakai untuk mencapai energi aktivasi pembakaran dalam proses pembakaran bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalori akan semakin tinggi temperatur pembakaran yang dapat dicapai. Semakin tinggi temperatur pembakaran yang dapat dicapai maka semakin efisien pemakaian jumlah bahan bakar yang digunakan, pemakaian jumlah *coal dewatering* lebih sedikit daripada batubara tanpa proses *slurry dewatering*, sehingga dapat menghemat konsumsi bahan bakar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa proses *slurry dewatering* mampu meningkatkan kalori batubara sekaligus meningkatkan temperatur pembakaran. Kandungan nilai kalori yang tinggi pada suatu briket saat terjadinya proses pembakaran akan mempengaruhi pencapaian temperatur yang tinggi pula pada briket tersebut (Siti Jamilatun, 2011).

Tabel 4.2 Temperatur maksimum pembakaran briket batubara

<i>solvent</i> dengan ratio 1,5 terhadap batubara	kalori batubara dalam briket [cal/gr]	temperatur maks. pembakaran briket [°C]
jelantah	6559	401
cpo parit	6720	423
campuran jelantah-cpo parit	6749	476
batubara tanpa <i>dewatering</i>	4721	290

Proses pembakaran diawali dengan penyalaan (*ignition*) yang ditandai dengan grafik pencapaian temperatur maksimum, dimana pada puncak temperatur tersebut tercapai puncak energi aktivasi, yang kemudian dilanjutkan dengan proses perambatan panas (*propagation*) dari panas reaksi partikel yang sudah terbakar ke partikel yang belum terbakar, hingga semua partikel bahan bakar habis terbakar. Hal tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Proses pembakaran bahan bakar

Tahapan dalam pembakaran bahan bakar padat adalah sebagai berikut:

- a. Pengerinan, dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperatur yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada di dalam partikel akan menguap melalui pori-pori bahan bakar tersebut.
- b. Devolatilisasi, yaitu proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah terjadi pengerinan. Pada saat pengerinan partikel bahan bakar padat (*solid fuel*) telah sempurna, suhu partikel akan meningkat dan bahan bakar mulai terurai melepaskan zat volatil. Karena aliran keluar zat volatil dari padatan melalui pori-pori bahan bakar, partikel oksigen di luar partikel bahan bakar tidak dapat masuk ke dalam partikel bahan bakar, oleh karena itu proses devolatilisasi ini disebut tahap pirolisis. Hasil pirolisis yang mengandung H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, gas hidrokarbon (HC), dan tar yang bercampur dengan oksigen ini kemudian akan terbakar dan membentuk rentetan nyala api di sekitar partikel selama oksigen berdifusi ke dalam hasil pirolisis. Nyala yang timbul pada dasarnya memanaskan partikel, menyebabkan meningkatnya proses devolatilisasi. Bahan bakar dengan kandungan *volatile* yang tinggi akan mempunyai *burnout time* yang singkat, karena hampir semua karbon dilepaskan secara cepat selama *devolatilisasi* dan hanya sedikit yang tertinggal untuk terbakar secara lambat (Borman, 1998).
- c. Pembakaran, sisa dari pirolisis adalah arang (*fixed carbon*) dan sedikit abu, kemudian partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan waktu sekitar 80% dari total waktu pembakaran.

#### 4.6 Uji kualitas produk *slurry dewatering* dengan *recycle solvent*

Pengujian proses *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* bertujuan untuk mengamati perbandingan kualitas produk yang dihasilkan. Pengamatan kualitas produk dilakukan melalui data analisis proksimat, nilai kalori serta profil uji pembakaran briket. Data analisis proksimat dan nilai kalori batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* dapat dilihat pada table 4.3 sedangkan untuk profil uji pembakaran briket batubara produk proses *slurry dewatering* dengan menggunakan *solvent* dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.

Tabel 4.3 Data analisis proksimat dan nilai kalori batubara produk proses *slurry dewatering* menggunakan *recycle solvent*

Solvent campuran <i>ratio solvent/coal</i> 1,5	<i>Raw coal</i>	<i>Fresh solvent</i>	<i>Recycle solvent</i>
RUN		5	10
Analisis Proksimat :			
% <i>moisture</i>	30,4	2,14	1,66
% <i>ash</i>	2,4	1,56	1,45
% <i>volatile matter</i>	38,2	58,43	57,63
% <i>fixed carbon</i>	29,0	37,87	39,26
<i>caloric value [cal/gr]</i>	4721	6749	6800

Proses *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* mampu menurunkan *moisture raw coal* dari 30,4% menjadi 1,66%. Di samping itu juga dapat meningkatkan nilai kalori dari 4721 cal/gr menjadi 6800 cal/gr.

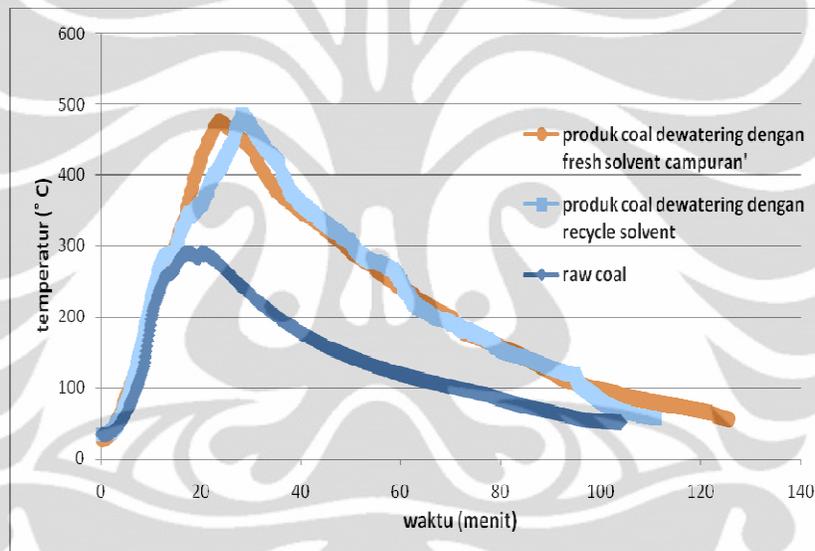
*Moisture* produk hasil *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* adalah 1,66% sehingga kinerja *recovered solvent* yang digunakan kembali menunjukkan efektifitas *dewatering* sebesar 94,47%. Sedangkan *moisture* produk hasil proses *slurry dewatering fresh solvent* campuran adalah 2,14% yang menunjukkan efektifitas *dewatering* dari *fresh solvent* campuran minyak jelantah dan CPO parit sebesar 92,87%.

Nilai kalori produk hasil proses *slurry dewatering* menggunakan *recycle solvent* (RUN 10) adalah 6800 cal/gr. Hal ini menunjukkan kinerja *recycle solvent* yang digunakan kembali mempunyai efektifitas peningkatan nilai kalori batubara sebesar 44,04%. Sedangkan nilai kalori produk hasil proses *slurry dewatering* dengan menggunakan *fresh solvent* (RUN 5) sebesar 6749 cal/gr yang menunjukkan efektifitas peningkatan nilai kalori batubara dengan *fresh solvent* campuran minyak jelantah dan CPO parit sebesar 42,96%.

Pada uji pembakaran briket yang ditampilkan dalam gambar 4.7 menunjukkan bahwa batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* campuran antara minyak jelantah dan CPO parit pada *ratio solvent/coal* 1,5 berhasil mencapai temperatur pembakaran yang maksimum setinggi 485°C. Begitu juga dengan batubara produk *slurry dewatering* dengan menggunakan *fresh solvent* campuran antara minyak jelantah dan CPO parit pada *ratio solvent/coal* 1,5 yang mampu mencapai temperatur pembakaran yang maksimum setinggi 476°C. Sedangkan batubara tanpa

proses *slurry dewatering* hanya mampu mencapai temperatur maksimum pembakaran setinggi 290°C. Hal ini menunjukkan bahwa proses *slurry dewatering* mampu meningkatkan pencapaian temperatur pembakaran yang maksimum sebesar 64,1 % untuk *fresh solvent* campuran CPO parit dan jelantah lalu 67,6% peningkatan temperatur pembakaran untuk *recycle solvent*.

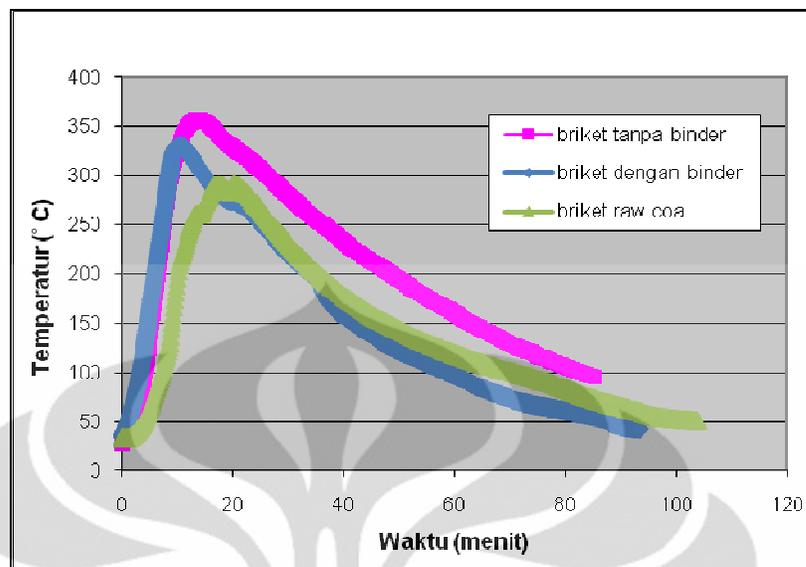
Pencapaian efektifitas peningkatan nilai kalori batubara yang tinggi pada proses *slurry dewatering* menggunakan *recycle solvent* menunjukkan bahwa *recycle solvent* masih dapat mempertahankan kinerjanya sebagai *solvent* yang efektif. Sehingga *recycle solvent* masih dapat dipakai sebagai *solvent* pada proses selanjutnya, dan dapat menekan *biaya operasional* untuk pembelian *solvent* dalam proses *slurry dewatering*.



Gambar 4.7 Uji pembakaran briket *coal dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent*

#### 4.7 Pengaruh penambahan *binder* pada uji pembakaran

Briket yang tanpa menggunakan bahan pengikat (*binder*) dapat mencapai temperatur pembakaran yang lebih tinggi daripada briket yang menggunakan bahan pengikat, begitupun sebaliknya, briket yang menggunakan bahan pengikat, temperatur maksimal pembakarannya menjadi lebih rendah daripada briket yang tanpa menggunakan bahan pengikat seperti terlihat pada gambar 4.8. Briket yang tanpa menggunakan bahan pengikat dapat mencapai temperatur pembakaran 356 °C, sedangkan yang menggunakan bahan pengikat hanya mencapai 330 °C.



Gambar 4.8 Pengaruh penambahan *binder* pada uji pembakaran briket

Fenomena ini dapat dijelaskan sebagai berikut; pada briket dengan bahan pengikat, kandungan *moisture*nya 7,24% sedangkan tanpa binder kandungan *moisture*nya 2,14%. Tingginya kandungan *moisture* mengakibatkan pada lebih rendahnya nilai kalori sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.4. Dengan rendahnya nilai kalori mengakibatkan temperatur pembakaran juga lebih rendah.

Table 4.4. Analisis proksimat briket produk *slurry dewatering*

Analisis Proksimat	<i>Raw coal</i>	<i>unbinder</i>	<i>binder</i>
% <i>Moisture</i>	30,4	2,14	7,24
% <i>Ash</i>	2,4	1,56	2,15
% <i>Volatile matter</i>	38,2	55,74	54,01
% <i>Fixed carbon</i>	29	40,56	36,59
Nilai kalor [cal/gr]	4721	6713	6256,5

Peningkatan *moisture* briket dengan *binder* tersebut berasal dari air yang digunakan untuk melarutkan bahan pengikat yang berupa tepung tapioka. Penambahan bahan pengikat akan berdampak menurunkan temperatur pembakaran karena menyerap sebagian panas untuk menguapkan air dalam briket tersebut.

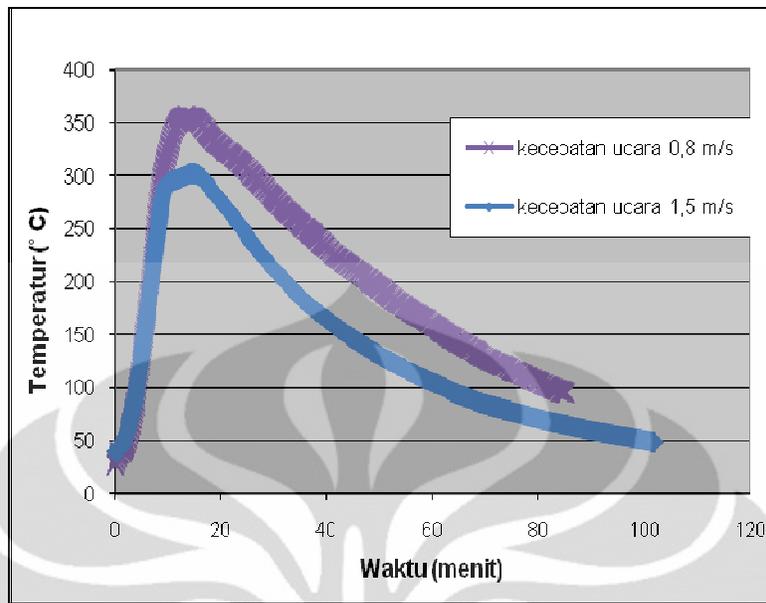
Daya ikat tepung tapioka muncul ketika dilarutkan dalam air hingga berwarna putih susu lalu dipanaskan hingga mengental dan berwarna putih bening. Briket yang terbentuk kemudian dikeringkan secara alami untuk kemudian diuji kekuatan mekaniknya dengan *test drop*. Briket yang tanpa menggunakan bahan pengikat hanya

dapat menahan kekuatannya ketika dijatuhkan dari ketinggian 1-1,5 m sedangkan briket yang menggunakan bahan pengikat dapat mencapai 2-2,5 m.

Penambahan bahan pengikat berupa larutan tapioka (kanji) akan meningkatkan kuat tekan briket secara signifikan bila dibandingkan dengan tanpa pengikat, sehingga fungsi dari bahan pengikat bekerja dengan baik. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan gaya tarik menarik antar partikel pada briket yang semakin kuat dengan penambahan pengikat berupa kanji. Salah satu teori yang memungkinkan terjadinya ikatan antara partikel dengan air adalah karena sifat air yang mempunyai muatan positif di satu sisi dan bermuatan negatif di sisi yang lain. Sehingga molekul air dapat berfungsi sebagai jembatan ikatan. Pada kuat tekan batubara, semakin besar kadar air pada briket maka semakin besar nilai kuat tekan yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena air berfungsi sebagai jembatan ikatan pada serbuk batubara. Tetapi jika jumlah air terlalu banyak mungkin dapat terjadi solvasi gugus-gugus fungsional beroksigen tersebut sehingga ikatan melemah kembali (Sumaryono, 1995).

#### **4.8 Pengaruh kecepatan udara pada uji pembakaran briket**

Temperatur pembakaran akan semakin rendah pada kecepatan udara pembakaran yang semakin besar. Dengan semakin besarnya kecepatan udara pembakaran menyebabkan perpindahan panas konveksi dari dinding *furnace* banyak terserap oleh udara pembakaran. Akibatnya semakin besar kecepatan udara pembakaran, akan menyebabkan menurunnya energi aktivasi dari briket (Erpan B., 1999). Hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian yang ditampilkan pada gambar 4.9. Dari tersebut terlihat bahwa dengan kecepatan udara yang lebih kecil yaitu 0,8 m/s (yang lebih mendekati nilai kebutuhan udara teoritis) akan menghasilkan temperatur pembakaran yang lebih tinggi yaitu 356°C. Terlihat juga bahwa dengan kecepatan udara yang lebih besar yaitu 1,5 m/s, temperatur maksimal pembakaran yang dicapai menjadi lebih rendah yaitu 303°C. Hal ini disebabkan suplai udara yang berlebih akan bersifat mendinginkan proses pembakaran.



Gambar 4.9 Profil uji pembakaran yang menunjukkan pengaruh kecepatan udara terhadap briket batubara yang tanpa ditambah dengan bahan pengikat pada kondisi operasi *setting* temperatur *heater furnace* 250°C

Setiap butir briket yang kami gunakan dalam uji pembakaran mempunyai berat rata-rata 12,5 gr. Hasil perhitungan udara teoritis yang dibutuhkan dalam pembakaran yang diasumsikan sebagai pembakaran sempurna adalah 26,08 gr per butir briket. Dari perhitungan teoritis yang dibutuhkan dalam pengujian, sebaiknya pengaturan kecepatan udara dari *fan* adalah 0,78 m/s.

Dari hasil pengujian tersebut di atas, dapat menunjukkan kesesuaian antara teori dan prakteknya, dimana kecepatan udara 0,8 m/s yang lebih mendekati kecepatan udara yang dibutuhkan sebesar 0,78 m/s, dapat memberikan temperatur pembakaran yang lebih tinggi yaitu 356 °C dibanding dengan kecepatan udara 1,5 m/s yang hanya mencapai temperatur pembakaran 303 °C.

#### 4.9 Emisi CO dari proses pembakaran briket batubara produk *slurry dewatering*

Emisi CO pada proses pembakaran diukur untuk mengetahui seberapa besar CO yang dikeluarkan dari proses *slurry dewatering*. Hasil pengukuran emisi CO ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Emisi CO dari proses pembakaran briket batubara

Briket batubara produk <i>slurry dewatering</i>	Emisi CO [ppm]
dengan ratio solvent/coal 1	1316
dengan ratio solvent/coal 1,5	1055
dengan ratio solvent/coal 2	1012
Briket <i>Raw Coal</i>	2018

Dari hasil pengujian, menunjukkan kualitas produk *slurry dewatering*, seperti yang tampak pada tabel 4.5 di atas bahwa teknologi *slurry dewatering* dapat menekan emisi CO dari pembakaran batubara yang tanpa proses *slurry dewatering*, yaitu sebesar 2018 ppm menjadi kurang dari 1400 ppm. Sehingga teknologi *slurry dewatering* ini dapat direkomendasikan sebagai teknologi yang ramah lingkungan, untuk skala rumah tangga hingga industri kecil dan besar, serta pembangkit listrik.

#### 4.10 Karakteristik limbah cair dari proses *slurry dewatering*

Limbah cair dari proses pengolahan batubara yang diperkenankan adalah pada rentang pH 6-9 dan BOD 50-150 mg/L, menurut standar baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. KEP.51/MENLH/10/95. Limbah cair dari proses *slurry dewatering* yang berupa air kondensat bersifat asam namun nilai BOD cukup aman, data analisis air limbah dari proses *slurry dewatering* tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut ini dengan sampel produk hasil RUN 5 yang menggunakan *solvent* campuran antara jelantah dan CPO parit untuk mewakili penelitian ini.

Tabel 4.6 Analisis limbah cair dari proses *slurry dewatering*

parameter ANALISA AIR LIMBAH	Pengujian 1	Pengujian 2
pH	3,5	3,5
BOD [mg/L]	136,2	113

Nilai analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan ukuran yang dipakai untuk menunjukkan ciri biologis air limbah, bila terdapat oksigen dalam jumlah yang cukup maka pembusukan biologis secara aerobik dari limbah organik akan terus berlangsung sampai semua limbah dikonsumsi. Limbah cair dari proses *slurry dewatering* memenuhi baku mutu lingkungan yang diperkenankan dari segi nilai BOD.

Dari segi tingkat keasaman, limbah cair tersebut masih memerlukan *treatment* pada bak penampungan limbah sebelum dibuang ke lingkungan, *treatment* penetralan

keasaman limbah dapat dikatakan sebagai proses yang sederhana dengan bahan penetral yang cukup murah dan efektif. Sehingga teknologi *slurry dewatering* dapat dikatakan sebagai teknologi yang tetap ramah lingkungan (*clean coal technology*).



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Pengujian peningkatan mutu batubara lignit melalui teknik *slurry dewatering* ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada setiap variasi pengujian, efisiensi penurunan *moisture* batubara (*dewatering*) mencapai rata-rata 90%, dan efisiensi optimum terjadi pada rasio 1,5 untuk setiap variasi *solvent* yang digunakan.
2. Nilai kalori batubara setelah *dewatering* meningkat menjadi > 6000 kal/gr yang setara dengan batubara peringkat tinggi (*hard coal*).
3. *Solvent* campuran antara minyak jelantah dan CPO parit menunjukkan efektifitas *dewatering*, peningkatan *fixed carbon* dan nilai kalorinya serta temperatur pembakaran yang paling optimal.
4. Uji proses *slurry dewatering* dengan menggunakan *recycle solvent* yang terekoveri dari proses sebelumnya, menunjukkan efektifitas *dewatering*, peningkatan *fixed carbon* dan nilai kalorinya serta temperatur pembakaran yang setara. Hal ini menunjukkan bahwa *solvent* yang terekoveri dari proses pertama masih layak digunakan kembali sebagai umpan pada proses selanjutnya.
5. Limbah cair proses *slurry dewatering* yang berupa air kondensat memiliki nilai BOD yang memenuhi baku mutu lingkungan namun masih bersifat asam, sehingga memerlukan proses pengolahan air limbah sebelum dialirkan ke lingkungan .

#### 5.2 Saran

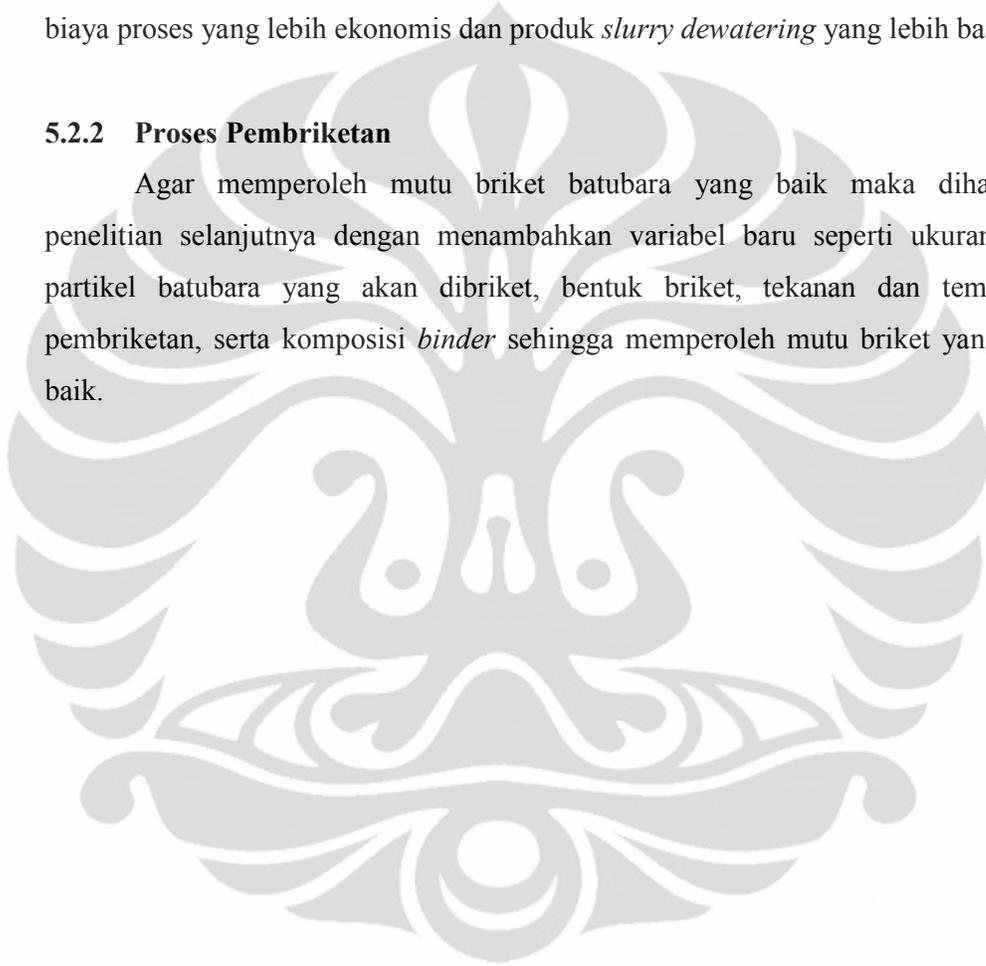
Untuk mengkaji lebih lanjut variabel yang berpengaruh dalam proses meningkatkan mutu batubara peringkat rendah, dapat dilakukan dalam proses *slurry dewatering* dan juga pembriketannya. Berikut saran yang dapat dikaji pada pengembangan penelitian ini.

### **5.2.1 Proses Slurry Dewatering**

Agar memperoleh efektifitas produk *slurry dewatering* yang baik maka diharapkan penelitian selanjutnya dengan menambahkan variabel baru seperti ukuran partikel umpan, tekanan dalam proses *slurry dewatering*, dan penggunaan *solvent* yang lebih murah namun tetap memiliki kinerja yang setara, sehingga memperoleh biaya proses yang lebih ekonomis dan produk *slurry dewatering* yang lebih baik.

### **5.2.2 Proses Pembriketan**

Agar memperoleh mutu briket batubara yang baik maka diharapkan penelitian selanjutnya dengan menambahkan variabel baru seperti ukuran *mesh* partikel batubara yang akan dibriket, bentuk briket, tekanan dan temperatur pembriketan, serta komposisi *binder* sehingga memperoleh mutu briket yang lebih baik.



## DAFTAR REFERENSI

- Borman, G.L dan Ragland, K.W. *Combustion Engineering*, McGrawHill Publishing Co, New York, 1998.
- Coal Liquefaction*, Indonesian Low-Rank Coal Liquefaction Technology, NEDO (Japan), BPPT (Indonesia), 1999.
- Deguchi, T, Shigehisa, T (2002) *Demonstration of UBC Process in Indonesia*, Kobe Steel Ltd., Japan, Coal-Tech Conference Mine Mouth Power Plant, 2002.
- Erdogan K., Vedat D., *Relations between Coal Properties and Spontaneous Combustion Parameters*, Department of Mining Engineering, Zonguldak Karaelmas University, Turkey, 2002.
- J.A, David., C.Y, Young., *Utilization of Low Rank Coals*, Envirosafe International Pty Ltd 1a Yarrbat Avenue, Balwyn, Vic 3133, Australia.
- James J. Reuther, *Applied Coal Combustion Basics*, Pennsylvania Electric Company Johnstown, 1984.
- L. Douglas, Philip J. Smith, *Pembakaran dan Gasifikasi Batubara*, 1990.
- Levenspiel, O., *Chemical Reaction Engineering*, John Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> Edition, Singapore, 1972.
- Directorate of Coal-Mineral Technology Research and Development Centre, *Low-Rank Coal Utilisation Perspective in Indonesia*, The Australian and Indonesian Low-Rank Coal Science and Technology Workshop, 1996.
- Hartiniati, Hanif M., *Proses Slurry Dewatering untuk Meningkatkan Mutu Batubara Muda*, BPPT, Jakarta, 2006.
- Hartiniati, *Proses Peningkatan Mutu Batubara Muda Menjadi Batubara Layak Jual dan Ekspor*, Laporan Insentif BPPT, Jakarta, 2010.
- M. Sakaguchi, K. Laursen, *Hydrothermal Upgrading of Loy Yang Brown-Effect of Upgrading conditions on the Characteristics of the Product*, Fuel Processing Technology, Elsevier vol.89 , 391-396, 2008.
- Noviyani, *Pemanfaatan Proses UBC untuk Pemasakan Briket di Rumah Tangga*, UI, Depok, 2010.
- Praswasti PDK, dkk., *Peningkatan Efisiensi Penggunaan Koagulan pada Unit Pengolahan Air Limbah Batubara*, UI, Jakarta, 2006.
- Tahi S., *Pengolahan Air Limbah Pencucian Batubara di PT. Bukit Asam Tanjung Enim*, 2003.
- Y.Sato, S.Kushiyama, K.Tatsumoto and Yamaguchi , *Upgrading of Low Rank Coal With Solvent*, Fuel Processing Technology, Elsevier vol.85 no.14, 25 September 2004.



### Lampiran 1 : Neraca Massa dalam Proses *Slurry Dewatering*

No.Run : **RUN 01**  
 Tanggal : 10-11 Januari 2011

#### A. Kondisi Proses

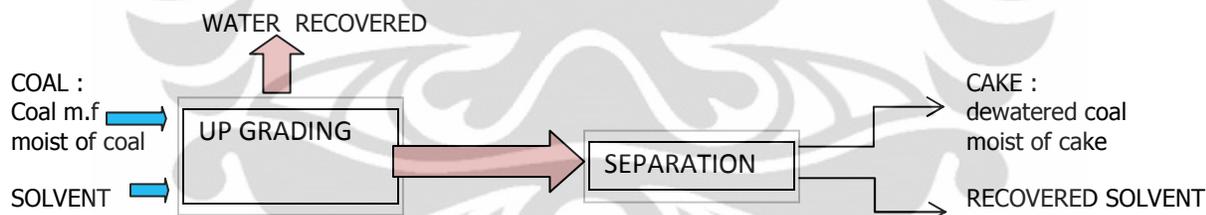
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Used Cooking Oil</b>	781.3	gr	(MFC x S/C)

#### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000	1000.3	Moisture 218.77
Solvent	Minyak jelantah (Used Cooking Oil)	781.300	793.10	MFC 781.53
				1000.30
Total		1781.30	1793.40	Solvent 793.10



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.30		CAKE	894.60	
Coal m.f. moist of coal		781.53	Cake m.f. moist of cake		878.77
		218.77	WATER	236.4	
SOLVENT	793.10		RECOVERED SOLVENT	620.10	
			fine coal of solvent		124.10
			oil recovered		496.00
Σ	<b>1793.40</b>		Σ	<b>1751.10</b>	

$$\text{lost} = \text{INPUT} - \text{OUTPUT}$$

**42.30 gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	20.01	8.47
oil	79.99	33.83

material	total recovery	massa [gr]		
COAL	cake m.f	878.77	1011.34	129.40 %
	fine coal of recovered solvent	124.10		
	fine coal of material lost	8.47		
OIL	oil of recycle solvent	496.00	529.83	66.80 %
	oil on material lost	33.83		
WATER	water recovered	236.40	252.20	115.30 %
	water of cake	15.83		
<b>Σ</b>		<b>1793.4</b>		<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 229.80 gr  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 33.47 gr  loss in oil  
 WATER = 33.47 gr  excess in water  
 \* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **Re-RUN 02**  
 Tanggal : 16-17 Maret 2011

#### A. Kondisi Proses

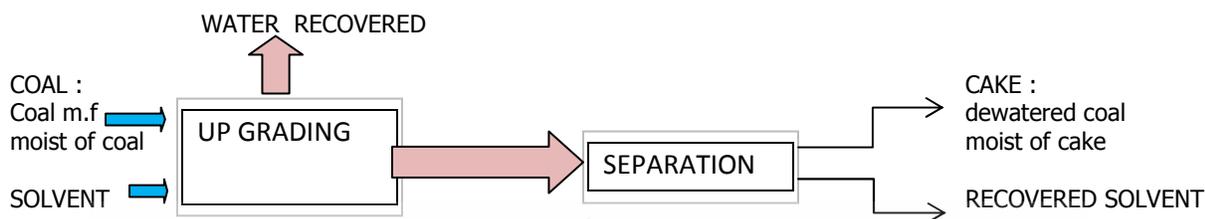
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1.5	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Used Cooking Oil</b>	1171.95	gr	(MFC x S/C)

#### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000	1000.0	Moisture 218.7
Solvent	Minyak jelantah (Used Cooking Oil)	1171.95	1171.6	MFC 781.3
				1000.0
Total		2171.95	2171.6	Solvent 1171.6



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.00		CAKE	813.64	
Coal m.f		781.3	Cake m.f		801.76
moist of coal		218.7	moist of cake		11.88
			WATER	251.6	
SOLVENT	1171.6		RECOVERED SOLVENT	1086.56	
			fine coal of solvent		67.03
			oil recovered		1019.53
<b>Σ</b>	<b>2171.60</b>		<b>Σ</b>	<b>2151.80</b>	

**lost = INPUT - OUTPUT**

**19.80**

**gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon,%	massa, gr
coal	6.17	1.22
oil	93.83	18.58

material	total recovery	massa [gr]	
COAL	cake m.f	801.76	
	fine coal of recovered solvent	67.03	
	fine coal of material lost	1.22	
		<b>870.01</b>	111.35 %
OIL	oil of recycle solvent	1019.53	
	oil on material lost	18.58	
		<b>1038.11</b>	88.60 %
WATER	water recovered	251.6	
	water of cake	11.8	
		<b>263.50</b>	120.48 %
<b>Σ</b>		<b>2171.6</b>	<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 88.71 gr  $\Rightarrow$  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered

OIL = 44.78 gr  $\Rightarrow$  loss in oil

WATER = 44.78 gr  $\Rightarrow$  excess in water

\* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **Re-RUN 03**  
 Tanggal : 17-18 Maret 2011

### A. Kondisi Proses

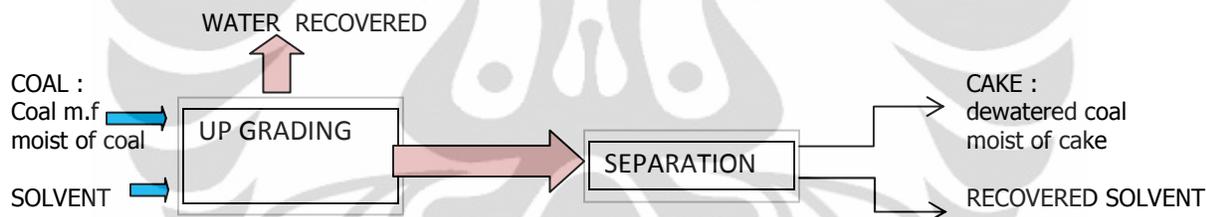
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	2	wt/wt

### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Used Cooking Oil</b>	1562.6	gr	(MFC x S/C)

### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000	1000.2	Moisture 218.74
Solvent	Minyak jelantah (Used Cooking Oil)	1562.6	1568.0	MFC 781.46
				1000.20
Total		2562.6	2568.2	Solvent 1568.0



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.2		CAKE	801.57	
Coal m.f. moist of coal		781.46	Cake m.f. moist of cake		783.21
		218.74	WATER	233.6	18.36
SOLVENT	1568.0		RECOVERED SOLVENT	1493.93	
			fine coal of solvent		7.10
			oil recovered		1486.83
Σ	<b>2568.2</b>		Σ	<b>2529.10</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**39.10**

**gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	7.10	2.78
oil	92.90	36.32

material	total recovery	massa [gr]		
COAL	cake m.f	783.21		
	fine coal of recovered solvent	7.10		
	fine coal of material lost	2.78		
		793.09	101.49	%
OIL	oil of recycle solvent	1486.83		
	oil on material lost	36.32		
		1523.15	97.14	%,
WATER	water recovered	233.60		
	water of cake	18.36		
		252.00	115.18	%
<b>Σ</b>		<b>2568.2</b>	<b>100</b>	<b>%</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 11.63 gr  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 33.21 gr  loss in oil  
 WATER = 33.21 gr  excess in water  
 \* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 04**  
 Tanggal : 17-18 Januari 2011

#### A. Kondisi Proses

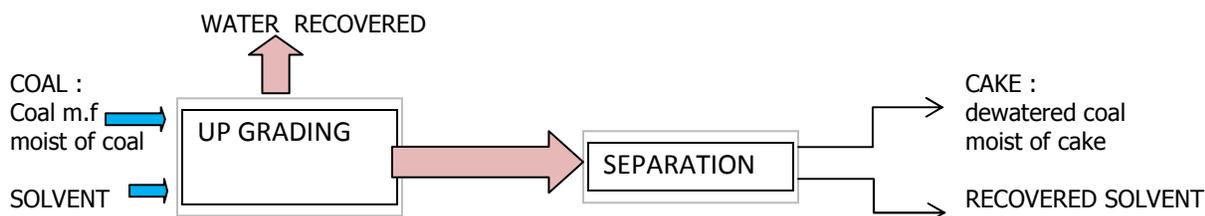
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Solvent</b>	781.3	gr	(MFC x S/C)

#### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)	
Coal	Eco	1000	1000.1	Moisture	218.72
Solvent	campuran	781.30	781.30	MFC	781.38
	Jelantah - CPO parit				1000.10
Total		1781.30	1781.40	Solvent	781.30



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.10		CAKE	895.15	
Coal m.f		781.38	Cake m.f		872.23
moist of coal		218.72	moist of cake		22.92
SOLVENT	781.30		WATER	222.0	
			RECOVERED SOLVENT	601.250	
			fine coal of solvent		33.93
			oil recovered		567.32
$\Sigma$	<b>1781.40</b>		$\Sigma$	<b>1718.40</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**63 gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	33.93	21.38
oil	66.07	41.62

material	total recovery	massa [gr]	
COAL	cake m.f	872.23	
	fine coal of recovered solvent	33.93	
	fine coal of material lost	21.38	
		927.55	118.71 %
OIL	oil of recycle solvent	567.32	
	oil on material lost	41.62	
		608.94	77.94 %
WATER	water recovered	222.0	
	water of cake	22.92	
		244.92	115.18 %
$\Sigma$		<b>1781.4</b>	<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 146.17 gr  $\rightarrow$  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 26.19 gr  $\rightarrow$  loss in oil  
 WATER = 26.19 gr  $\rightarrow$  excess in water

\* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 05**  
 Tanggal : 18-19 Januari 2011

#### A. Kondisi Proses

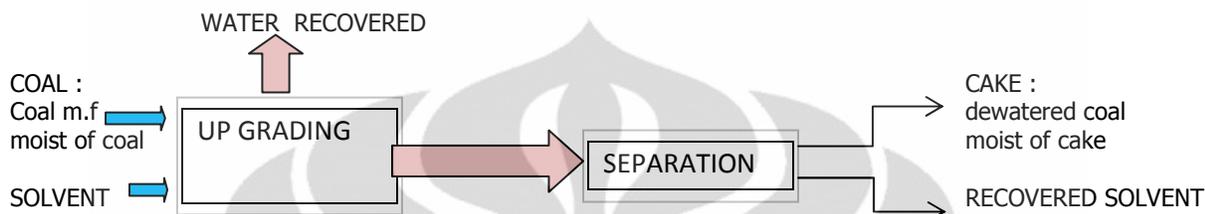
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1.5	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Solvent</b>	<b>1171.95</b>	gr	(MFC x S/C)

### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)	
Coal	Eco	1000	1000.7	Moisture	218.85
Solvent	campuran Jelantah - CPO parit	1171.95	1182.75	MFC	781.85
					1000.70
Total		2171.95	2183.45	Solvent	1182.75



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.70		CAKE	911.6	
Coal m.f		781.85	Cake m.f		892.09
moist of coal		218.85	moist of cake		19.51
SOLVENT	1182.75		WATER	254.9	
			RECOVERED SOLVENT	994.8	
			fine coal of solvent		25.28
			oil recovered		969.52
$\Sigma$	<b>2183.45</b>		$\Sigma$	<b>2161.30</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**22.15**

**gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	25.28	5.60
oil	74.72	16.55

material	total recovery	massa [gr]	
COAL	cake m.f	892.09	
	fine coal of recovered solvent	25.28	
	fine coal of material lost	5.60	
		922.97	118.05 %
OIL	oil of recycle solvent	969.5	
	oil on material lost	16.5	
		986.0	83.37 %,
WATER	water recovered	254.9	
	water of cake	19.5	
		274.4	125.38 %
$\Sigma$		<b>2183.4</b>	<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 141.12 gr  $\Rightarrow$  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 55.56 gr  $\Rightarrow$  loss in oil  
 WATER = 55.56 gr  $\Rightarrow$  excess in water

\* loss in oil = excess in water, so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 06**  
 Tanggal : 19-20 Januari 2011

### A. Kondisi Proses

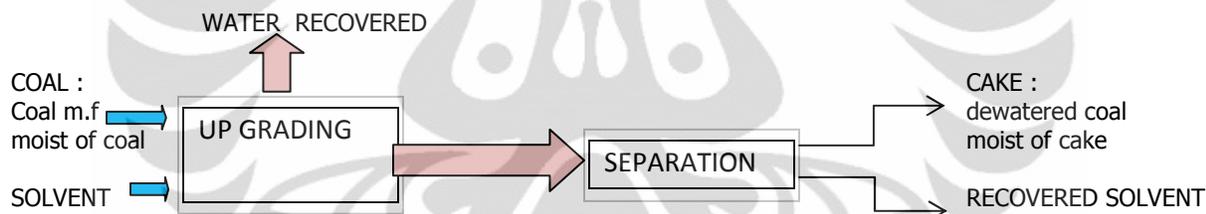
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	2	wt/wt

### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
Solvent	1562.6	gr	(MFC x S/C)

### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000.0	1000.00	Moisture 218.7
Solvent	campuran	1562.6	1579.69	MFC 781.3
	Jelantah - CPO parit			1000.0
Total		2562.6	2579.69	Solvent 1579.69



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.00		CAKE	848.16	
Coal m.f		781.3	Cake m.f		826.96
moist of coal		218.7	moist of cake		21.20
			WATER	229.70	
SOLVENT	1579.69		RECOVERED SOLVENT	1421.72	
			fine coal of solvent		20.59
			oil recovered		1401.13
Σ	<b>2579.69</b>		Σ	<b>2499.58</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**80.11 gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	20.59	16.50
oil	79.41	63.61

material	total recovery	massa [gr]	
COAL	cake m.f	826.96	110.59 %
	fine coal of recovered solvent	20.59	
	fine coal of material lost	16.50	
		864.04	
OIL	oil of recycle solvent	1401.13	92.72 %
	oil on material lost	63.61	
		1464.75	
WATER	water recovered	229.7	114.73 %
	water of cake	21.2	
		250.9	
<b>Σ</b>		<b>2579.66</b>	<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 82.74 gr  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 32.20 gr  loss in oil  
 WATER = 32.20 gr  excess in water  
 \* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 07**  
 Tanggal : 24-26 Januari 2011

#### A. Kondisi Proses

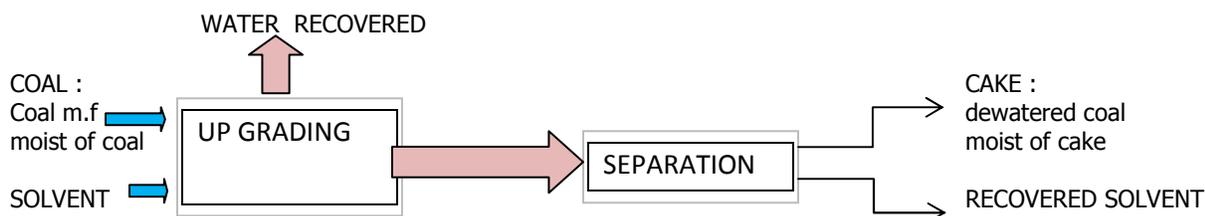
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Solvent</b>	781.3	gr	(MFC x S/C)

#### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000.0	1000.8	Moisture 218.87
Solvent	CPO parit	781.3	873.4	MFC 781.93
				1000.80
	Total	1781.3	1874.2	Solvent 783.40



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.80		CAKE	859.35	
Coal m.f		781.93	Cake m.f		833.83
moist of coal		218.87	moist of cake		25.52
SOLVENT	873.4		WATER	262.2	
			RECOVERED SOLVENT	747.15	
			fine coal of solvent		25.01
			oil recovered		722.14
$\Sigma$	<b>1874.20</b>		$\Sigma$	<b>1868.70</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**5.5 gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	25.01	1.38
oil	74.99	4.12

material	total recovery	massa [gr]		
COAL	cake m.f	833.83		
	fine coal of recovered solvent	25.01		
	fine coal of material lost	1.38		
		860.21	110.01	%
OIL	oil of recycle solvent	722.14		
	oil on material lost	4.12		
		726.26	83.15	%
WATER	water recovered	262.2		
	water of cake	25.52		
		287.7	131.46	%
$\Sigma$		<b>1874.2</b>	<b>100</b>	<b>%</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 78.29 gr  $\Rightarrow$  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
OIL = 68.85 gr  $\Rightarrow$  loss in oil  
WATER = 68.85 gr  $\Rightarrow$  excess in water

\* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 08**  
Tanggal : 26-27 Januari 2011

#### A. Kondisi Proses

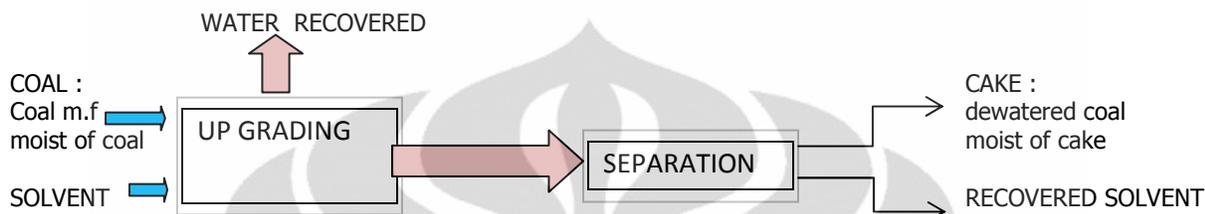
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1.5	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Solvent</b>	<b>1171.95</b>	gr	(MFC x S/C)

### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)	
Coal	Eco	1000.00	1000.8	Moisture	218.87
Solvent	CPO parit	1171.95	1197.1	MFC	781.93
					1000.80
	Total	2171.95	2197.9	Solvent	1197.10



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.80		CAKE	837.72	
Coal m.f		781.93	Cake m.f		817.70
moist of coal		218.87	moist of cake		20.02
SOLVENT	1197.10		WATER	225.10	
			RECOVERED SOLVENT	1078.98	
			fine coal of solvent		15.69
			oil recovered		1063.30
$\Sigma$	<b>2197.90</b>		$\Sigma$	<b>2141.80</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**56.10**

**gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	15.69	8.80
oil	84.32	47.30

material	total recovery	massa [gr]	
COAL	cake m.f	817.70	
	fine coal of recovered solvent	15.69	
	fine coal of material lost	8.80	
		842.18	107.71 %
OIL	oil of recycle solvent	1063.3	
	oil on material lost	47.3	
		1110.6	92.77 %,
WATER	water recovered	225.1	
	water of cake	20.02	
		245.1	111.99 %
$\Sigma$		<b>2197.9</b>	<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 60.26 gr  $\Rightarrow$  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 26.25 gr  $\Rightarrow$  loss in oil  
 WATER = 26.25 gr  $\Rightarrow$  excess in water

\* loss in oil = excess in water, so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 09**  
 Tanggal : 27-28 Januari 2011

### A. Kondisi Proses

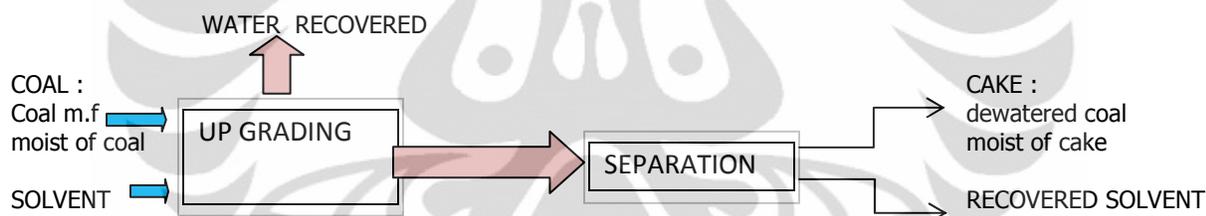
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	2	wt/wt

### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
Solvent	1562.6	gr	(MFC x S/C)

### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000.0	1000.0	Moisture 218.7
Solvent	CPO parit	1562.6	1564.3	MFC 781.3
				1000.0
	Total	2562.6	2564.3	Solvent 1564.3



INPUT	gr	gr	OUTPUT	gr	gr
COAL	1000.0		CAKE	848.5	
Coal m.f		781.3	Cake m.f		823.72
moist of coal		218.7	moist of cake		24.78
			WATER	260.6	
SOLVENT	1564.3		RECOVERED SOLVENT	1431.0	
			fine coal of solvent		9.61
			oil recovered		1421.39
Σ	<b>2564.3</b>		Σ	<b>2540.1</b>	

lost = INPUT - OUTPUT

**24.2**

**gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	9.61	2.33
oil	90.39	21.87

material	total recovery	massa [gr]		
COAL	cake m.f	823.72	835.66	106.96 %
	fine coal of recovered solvent	9.61		
	fine coal of material lost	2.33		
OIL	oil of recycle solvent	1421.39	1443.26	92.26 %
	oil on material lost	21.87		
WATER	water recovered	260.60	285.38	114.73 %
	water of cake	24.78		
<b>Σ</b>		<b>2564.3</b>		<b>100 %</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 54.36 gr  excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 66.68 gr  loss in oil  
 WATER = 66.68 gr  excess in water  
 \* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

No.Run : **RUN 10 [Recycle RUN 05]**

Tanggal : 21-22 Maret 2011

#### A. Kondisi Proses

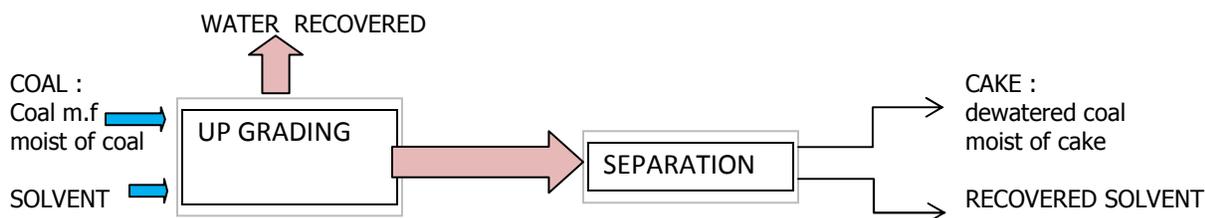
Pressure	1	kg/cm <sup>2</sup> G
Coal Particle	2.36	mm
Heater Temperature	150	°C
Agitator Speed	150	rpm
solvent/coal ratio (S/C)	1.5	wt/wt

#### B. Bahan

Coal	1000	gr	
<b>Moisture</b>	<b>21.87</b>	%wt	
Water in coal	218.7	gr	(coal x moist)
Moisture Free Content (MFC)	781.3	gr	(coal - water)
<b>Solvent</b>	1171.95	gr	(MFC x S/C)

#### C. Feed Charging ke dalam Autoclave

Bahan	Name	Feed (gr)	Actual (gr)	Actual Feed Charging (gr)
Coal	Eco	1000.00	1000.3	Moisture 218.77
Solvent	campuran	1171.95	1176.8	MFC 781.53
	Jelantah - CPO parit			1000.30
Total		2171.95	2177.1	Solvent 1176.8



<b>INPUT</b>	<b>gr</b>	<b>gr</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>gr</b>	<b>gr</b>
COAL	1000.30		CAKE	786.10	
Coal m.f		781.53	Cake m.f		778.55
moist of coal		218.77	moist of cake		7.55
SOLVENT	1176.80		WATER	237.60	
			RECOVERED SOLVENT	1114.80	
			fine coal of solvent		12.44
			oil recovered		1102.36
<b>Σ</b>	<b>2177.10</b>		<b>Σ</b>	<b>2138.50</b>	

**lost** = INPUT - OUTPUT

**38.60 gr, assumed as oil with fine coal**

material lost	compositon, %	massa, gr
coal	12.44	4.80
oil	87.56	33.80

material	total recovery	massa [gr]		
COAL	cake m.f	778.55		
	fine coal of recovered solvent	12.44		
	fine coal of material lost	4.80		
		795.79	101.82	%
OIL	oil of recycle solvent	1102.36		
	oil on material lost	33.80		
		1136.16	96.55	%,
WATER	water recovered	237.60		
	water of cake	7.55		
		245.10	112.06	%
<b>Σ</b>		<b>2177.14</b>	<b>100</b>	<b>%</b>

Analysis of material unbalance :

COAL = 14.26 gr → excess in coal assumed as excess oil in coal dewatered  
 OIL = 26.38 gr → loss in oil  
 WATER = 26.38 gr → excess in water

\* loss in oil = excess in water , so excess water assumed as oil recovered in water (moisture of oil)

## Lampiran 2 : Perhitungan Suplai Udara pada Proses Pembakaran Briket

basis : 100 kg bahan bakar

kebutuhan udara teoritis

$$= [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]/100 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$= (\text{persen } O_2 \times 100) / (21 - \text{persen } O_2)$$

massa udara sebenarnya yang dipasok/ kg bahan bakar (AAS)

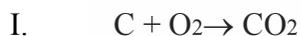
$$= \{1 + (EA/100)\} \times \text{udara teoritis}$$

Sumber : Peralatan Energi Panas Boiler & Pemanas Fluida Termis  
Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org)

BASIS : 100 mol *feed*

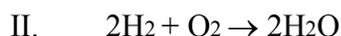
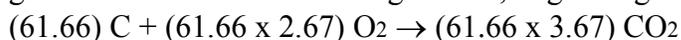
Komposisi (%)		Berat Molekul (g/mol)	
Karbon	61.66	C	12
Hidrogen	5.53	O <sub>2</sub>	32
Oksigen	22.87	H <sub>2</sub>	2
Nitrogen	0.55	S	32
Sulfur	0.00	N <sub>2</sub>	28
H <sub>2</sub> O	7.24	CO <sub>2</sub>	44
Abu	2.15	SO <sub>2</sub>	64
Σ	100.0	H <sub>2</sub> O	18

Reaksi pembakaran yang terjadi :



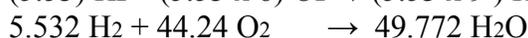
$$12 + 32 \rightarrow 44$$

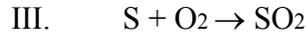
12 gr karbon memerlukan 32 gr oksigen membentuk 44 gr karbon dioksida, oleh karena itu 1 gr karbon memerlukan 32/12 gr atau 2,67 gr oksigen



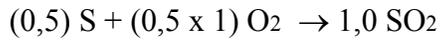
$$4 + 32 \rightarrow 36$$

4 gr hidrogen memerlukan 32 gr oksigen membentuk 36 gr air, oleh karena itu 1 gr hidrogen memerlukan 32/4 gr atau 8 gr oksigen.





32 gr sulfur memerlukan 32 gr oksigen membentuk 64 gr sulfur dioksida, oleh karena itu 1gr sulfur memerlukan 32/32 gr atau 1 gr oksigen



Oksigen total yang dibutuhkan =  $(164.43 + 44.24 + 0) = 208.67$  gr

massa briket = 12.5 gr

sehingga udara yang dibutuhkan untuk pembakaran 1 buah briket = 26.08 gr

EA [udara berlebih yang dibutuhkan] :

$$= ((0.5 \times 25.24) \times 100) / (21 - (0.5 \times 25.24)) = 119.55 \text{ gr} = 57.29 \%$$

Massa udara yang masuk sebenarnya (secara aktual) :

$$= \{1 + EA/100\} \times \text{udara teoritis}$$

$$= \{1 + 119.55 \text{ gr} / 100\} \times 208.67 \text{ gr}$$

$$= 458.13 \text{ gr/ gr bahan bakar}$$

$$= 5726.61 \text{ gr/1 buah briket}$$

$$= 219.55\%$$

Jadi udara berlebih yang masuk :

$$= 119.55\%$$

Debit udara pembakaran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = V \cdot A$$

Dimana :

$Q$  = Debit udara (  $\text{m}^3/\text{s}$  ).

$V$  = kecepatan Udara (  $\text{m/s}$  ).

$A$  = Luas penampang (  $\text{m}^2$  )

Diketahui :

Diameter fan = 9 cm = 0.09m ;  $A$  =

Diameter furnace = 10 cm = 0.1m

