



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN NILAI KALORI BATUBARA SUB-
BITUMINUS MUARO BUNGO - JAMBI DENGAN METODE
AGLOMERASI AIR – MINYAK BUMI**

THESIS

**DIAJUKAN SEBAGAI SALAH SATU SYARAT
MEMPEROLEH GELAR MAGISTER DALAM BIDANG ILMU
MATERIAL**

**TANTI
6305002125**

**PROGRAM STUDI ILMU MATERIAL
PROGRAM PASCASARJANA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2008**

LEMBAR PERSETUJUAN
TESIS INI TELAH DISETUJUI OLEH :

Dr. d'etat Suhardjo Poertadji

Pembimbing

Dr. Bambang Soegijono

Penguji

Dr. Ir. Johny Wahyuadi Soedarsono. DEA

Penguji

Dr. Muhammad Hikam

Penguji

Dr. Bambang Soegijono

Ketua Program Magister Ilmu Material
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
Juni 2008

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan taufik dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis ini dengan judul **“PENINGKATAN NILAI KALORI BATUBARA SUB-BITUMINUS MUARO BUNGO - JAMBI DENGAN METODE AGLOMERASI AIR – MINYAK BUMI ”**, di bawah bimbingan Bapak Dr. d’etat Suhardjo Poertadji. Kepada beliau penulis mengucapkan terima kasih yang tak terkira atas bimbingan dan waktu yang diberikan hingga selesainya tesis ini.

Penyusunan tesis ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan tahap pendidikan Program studi Material science, Program Pasca Sarjana pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tesis ini jauh dari sempurna dan masih banyak terdapat kekurangan dikarenakan terbatasnya informasi yang diperoleh. Maka dari itu dengan segala kerendahan hati, harapan penulis kepada pembaca untuk dapat kiranya memberikan saran masukan dan kritikan serta perbaikan apabila terdapat kesalahan dengan tujuan untuk menyempurnakannya. Rasanya sangat mustahil tesis ini akan dapat selesai tanpa bantuan dan dukungan berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu semua pada kesempatan ini pula penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Bambang Soegijono, selaku Ketua Program Studi Ilmu Material, Program Pascasarjana, F-MIPA, Universitas Indonesia.
2. Bapak Dr.d'etat Suhardjo Poertadji, selaku dosen pembimbing thesis penelitian.
3. Staf Dosen, staf laboratorium, staf administrasi Program Studi Ilmu Material Science, Program Pascasarjana, F-MIPA, Universitas Indonesia.
4. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Ilmu Material, Program Pascasarjana F-MIPA, Universitas Indonesia.
5. Bapak Rudi dari UPT Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (TekMira) yang telah memberikan kesempatan penggunaan alat laboratorium.
6. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan thesis penelitian ini.
7. Seluruh saudara dan keluarga kami yang telah memberikan dorongan semangat, doa, perhatian serta bantuan moril dan pikiran.
8. Suami dan ananda Fatimah Zahra, yang senantiasa dalam kesabaran dan pengertian yang mendalam juga disertai dengan permohonan maaf yang sebesar-besarnya atas banyaknya waktu yang tersita dan berkurangnya perhatian.

Penulis menyadari ucapan terima kasih belumlah cukup untuk membalas semua jasa yang telah diterima penulis.

Akhir kata kepada Allah SWT kami memohon agar tetap dilimpahkan taufik dan hidayahNya. Amin

Bogor, Maret 2008
Penulis

Peningkatan Nilai Kalori Batubara Sub-Bituminus Muaro Bungo Jambi dengan Metode Aglomerasi Air- Minyak Bumi (*Crude Oil*)

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh aglomerasi air – minyak bumi terhadap peningkatan nilai kalori, penurunan kadar abu dan sulfur pada batubara jenis Sub Bituminus Muaro Bungo, Jambi. Variasi padatan 10%, 20% dan variasi persentase minyak bumi yang digunakan dalam proses aglomerasi (10%, 50% dan 100%) dianalisa untuk menghasilkan aglomerasi yang optimal. Diperoleh adanya pengaruh proses aglomerasi terhadap peningkatan nilai kalori dan kadar karbon batubara, sementara itu kadar abu mengalami penurunan yang sangat signifikan. Hasil proses aglomerasi terbaik terdapat pada sampel SB50P100C50 dengan peningkatan nilai kalori sebesar 39.68% (dari 5459 kal/gr menjadi 7478 kal/gr), dan kadar abu mengalami penurunan sebesar 58.37% (dari 6.39% menjadi 2.66%). Sehingga dengan proses aglomerasi dihasilkan produk briket yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: metode aglomerasi; minyak bumi; nilai kalori

Increasing Calorific Value of Coal Sub-bituminous Muaro Bungo Jambi with Water-Crude Oil Agglomeration Method

Abstract

Water-Crude Oil agglomeration method has been investigated for increasing calorie index, dust and sulfur content of coal sub-bituminous type Muara Bungo Jambi. For optimizing agglomeration process used compact variation of Coal (10%, 20%) and crude present variation (10%, 50%,100). Increasing calorie index, carbon content of Coal and decreasing dust content because of the influence agglomeration process. A sample SB50P100C50 was optimum result with increase calorie index 39.68% (from 5459 kal/gr to 7478 kal/gr), and decrease dust content of coal 58.37% (from 6.39% to 2.66%). Agglomeration methode was resulted envirotnmentally friendly briquet.

Keywords : Agglomeration method; Crude Oil; Calorie Index

Peningkatan Nilai Kalori Batubara Sub-Bituminus Muaro Bungo Jambi dengan Metode Aglomerasi Air- Minyak Bumi (*Crude Oil*)

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh aglomerasi air – minyak bumi terhadap peningkatan nilai kalori, penurunan kadar abu dan sulfur pada batubara jenis Sub Bituminus Muaro Bungo, Jambi. Variasi padatan 10%, 20% dan variasi persentase minyak bumi yang digunakan dalam proses aglomerasi (10%, 50% dan 100%) dianalisa untuk menghasilkan aglomerasi yang optimal. Diperoleh adanya pengaruh proses aglomerasi terhadap peningkatan nilai kalori dan kadar karbon batubara, sementara itu kadar abu mengalami penurunan yang sangat signifikan. Hasil proses aglomerasi terbaik terdapat pada sampel SB50P100C50 dengan peningkatan nilai kalori sebesar 39.68% (dari 5459 kal/gr menjadi 7478 kal/gr), dan kadar abu mengalami penurunan sebesar 58.37% (dari 6.39% menjadi 2.66%). Sehingga dengan proses aglomerasi dihasilkan produk briket yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: metode aglomerasi; minyak bumi; nilai kalori

Increasing Calorific Value of Coal Sub-bituminous Muaro Bungo Jambi with Water-Crude Oil Agglomeration Method

Abstract

Water-Crude Oil agglomeration method has been investigated for increasing calorie index, dust and sulfur content of coal sub-bituminous type Muara Bungo Jambi. For optimizing agglomeration process used compact variation of Coal (10%, 20%) and crude present variation (10%, 50%,100). Increasing calorie index, carbon content of Coal and decreasing dust content because of the influence agglomeration process. A sample SB50P100C50 was optimum result with increase calorie index 39.68% (from 5459 kal/gr to 7478 kal/gr), and decrease dust content of coal 58.37% (from 6.39% to 2.66%). Agglomeration methode was resulted envirotnmentally friendly briquet.

Keywords : Agglomeration method; Crude Oil; Calorie Index

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
ABSTRAK	viii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. LATAR BELAKANG	1
I.2. TUJUAN PENELITIAN	5
I.3. MANFAAT PENELITIAN	6
I.4. PERUMUSAN MASALAH	6
I.5. BATASAN MASALAH	6
I.6. HIPOTESIS	7
I.7. SISTEMATIKA PENULISAN	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. BATUBARA	
II.1.a. Cara Terbentuknya Batubara	9
II.1.b. Faktor-faktor yang Berpengaruh	10
II.1.c. Jenis Batubara dan Sifatnya	16
II.1.d. Komposisi dan Kualitas Batubara	18
II.1.e. Analisis Batubara	24
II.1.f. Manfaat Batubara Bersih	24
II.2. TEKNOLOGI BATUBARA BERSIH	27
II.3. BRIKET BATUBARA	29

II.4. MINYAK BUMI (<i>Crude Oil</i>)	
II.4.a. Asal Mula Minyak Bumi	31
II.4.b. Komposisi Minyak Bumi	33
BAB III. METODE PENELITIAN	
III.1. PREPARASI MATERIAL	
III.1.a. Sampel Batubara	36
III.2.a. Media Aglomerasi	38
III.2. PROSEDUR DAN ALAT YANG DIGUNAKAN	
III.2.a. Aglomerasi Air – Minyak Bumi	38
III.2.b. Analisis Proksimat	40
III.2.c. Alat Ukur Analitik	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1. DATA-DATA HASIL PENGUKURAN	
IV.1.a. Analisis Proksimat, Kadar Sulfur dan Nilai Kalori	43
IV.1.b. Scanning Electron Microscopy (SEM)	44
IV.2. PEMBAHASAN	
IV.2.a. Pengaruh Kadar Karbon Terhadap Nilai Kalori	48
IV.2.b. Pengaruh Persentase Kadar Abu Terhadap Nilai Kalori	51
IV.2.c. Karakteristik Pembakaran Briket	54
IV.2.d. Optimasi untuk Aglomerat yang Berkadar Abu dan Bernilai Kalori yang Tinggi dan Harga Terendah	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
DAFTAR ACUAN	63
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

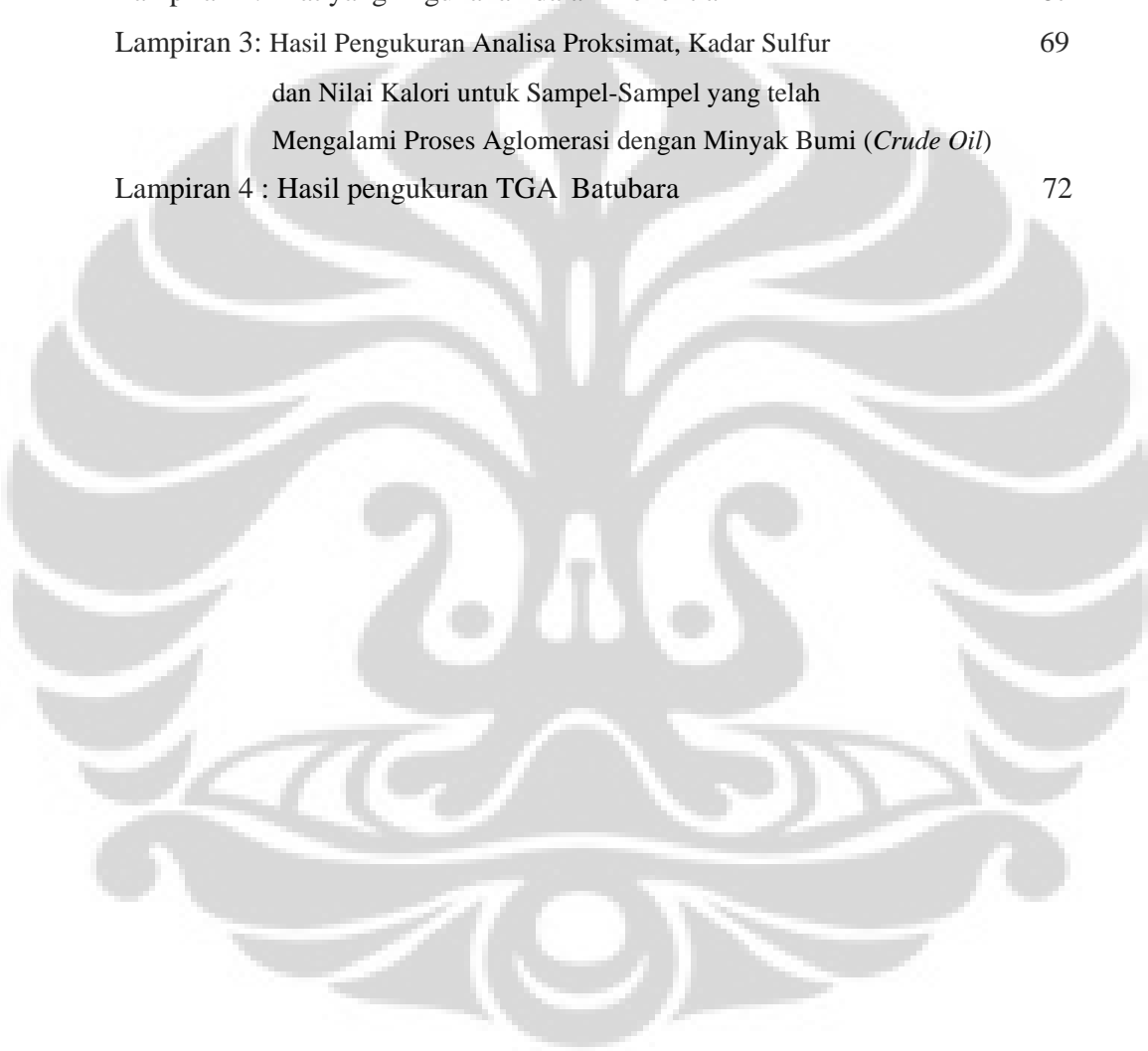
	Halaman
Tabel 2.1: Klasifikasi Batubara Menurut ASTM	23
Tabel 2.2: Standar Emisi Gas Buang Indonesia	26
Tabel 2.3: Standar Emisi Gas Buang Indonesia dan Negara Lain	26
Tabel 2.4: Analisa Proksimat Batubara Tondongkurah	29
Tabel 2.5: Perbandingan Pemakaian Minyak Tanah dengan Briket	31
Tabel 4.1: Karakterisasi Batubara Sub Bituminus	44
Tabel 4.2: Karakterisasi Minyak Bumi (<i>Crude Oil</i>)	44
Tabel 4.3: Hasil Aglomerasi Terbaik	54
Tabel 4.4: Standar kualitas batubara sebagai bahan baku briket batubara dan bahan bakar padat berbasis batubara	55
Tabel 4.5 : Standar Kualitas Briket Batubara	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1: Diagram alir preparasi material sampel batubara	37
Gambar 3.2: Diagram alir proses aglomerasi dan karakterisasi	41
Gambar 4.1: Foto mikro sampel batubara Sub Bituminus yang tidak dicuci	44
Gambar 4.2: Foto mikro sampel SB50P100C50	45
Gambar 4.3: Perbandingan kadar air, abu, volatile matter, sulfur dan karbon pada batubara Sub Bituminus sebelum (SBtc) dan sesudah (SBxPyCz) mengalami proses aglomerasi pada ukuran partikel 50 mesh	48
Gambar 4.4.a: Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe polynomial orde 3	49
Gambar 4.4.b: Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe regresi linear	50
Gambar 4.4.c: Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe regresi linear untuk sampel SB50P50C10, SB50P50C100, SB50P100C10, SB50P100C50	50
Gambar 4.5: Grafik kadar abu terhadap nilai kalori batubara Sub Bituminus sebelum dan sesudah proses aglomerasi	51
Gambar 4.6.a: Grafik kadar abu terhadap nilai kalori pada padatan 10% dan 20% dari batubara Sub Bituminus sebelum dan sesudah mengalami proses aglomerasi	52
Gambar 4.6.b: Grafik kadar abu terhadap nilai kalori pada padatan 10% dan 20% dari batubara Sub Bituminus dengan persentase minyak bumi 10%, 50% dan 100%	53
Gambar 4.7: Bagan alir proses pembuatan briket batubara hasil aglomerasi	57
Gambar 4.8: Grafik Uji Pembakaran Briket	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 :Daerah Tambang Batubara di Kabupaten Muaro Bungo Propinsi Jambi	66
Lampiran 2: Alat yang Digunakan dalam Penelitian	67
Lampiran 3: Hasil Pengukuran Analisa Proksimat, Kadar Sulfur dan Nilai Kalori untuk Sampel-Sampel yang telah Mengalami Proses Aglomerasi dengan Minyak Bumi (<i>Crude Oil</i>)	69
Lampiran 4 : Hasil pengukuran TGA Batubara	72



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Batubara adalah mineral organik yang dapat terbakar, terbentuk dari sisa tumbuhan purba yang mengendap yang selanjutnya berubah bentuk akibat proses fisika dan kimia yang berlangsung selama jutaan tahun.^[1]

Penemuan dan pemanfaatan batubara telah memicu terjadinya revolusi industri di Eropa dan Negara-negara berkembang lainnya, bersamaan dengan timbulnya industri baja dan penemuan mesin uap. Mulai saat itu pemakaian batubara sebagai bahan baku penghasil energi berkembang dengan pesat. Peranan batubara mencapai puncaknya dekat sebelum pecah Perang Dunia I. Selama selang waktu itu hampir 80% kebutuhan energi seluruh dunia bersumber dari batubara.

Sejarah pertambangan batubara di Indonesia dimulai tahun 1849 di daerah Pengaran, Kalimantan Timur. Pada tahun 1888, sebuah perusahaan bernama N.V. Oost Borneo milik Belanda memulai kegiatannya di Pelarang, yang terletak 10 km sebelah tenggara Samarinda, Kalimantan Timur. Di Sumatera kegiatan penambangan batubara secara besar-besaran dimulai tahun 1880, di daerah sungai Durian Sumatera Barat. Usaha ini kurang berhasil, karena mengalami kesulitan dalam pengangkutan hasil penambangan. Pada tahun 1868, ditemukan keberadaan batubara di daerah Ombilin, selanjutnya pada tahun 1868-1873 dilakukan penelitian seksama, dan akhirnya pada tahun 1892 dibuka penambangan batubara Ombilin, dikenal sebagai Tambang Batubara Ombilin, kemudian pada tahun 1919 dibuka Tambang Batubara Bukit Asam

Indonesia termasuk salah satu negara yang kaya akan sumber daya energi dalam bentuk batubara. Sebagai sumber daya energi, batubara memiliki nilai strategis dan potensial untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi dalam negeri. Sumber daya batubara di Indonesia diperkirakan sebesar 36 milyar ton, tersebar di Sumatera 67.83%, Kalimantan 31.64%, sisanya terdapat di pulau Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya^[2].

Seiring dengan perkembangan teknologi khususnya tentang mesin dan alat-alat elektronika ditunjang kemajuan dalam bidang kimia, secara berangsur-angsur penggunaan kayu dan batubara mulai berkurang, dan beralih ke bahan bakar minyak yang dianggap lebih praktis dan efisien. Namun krisis minyak yang terjadi pada tahun 1973 menyadarkan banyak pihak bahwa ketergantungan yang berlebihan pada salah satu sumber energi primer, dalam hal ini minyak, akan menyulitkan upaya pemenuhan pasokan energi yang kontinyu. Selain itu, labilnya kondisi keamanan di Timur Tengah yang merupakan produsen minyak terbesar juga sangat berpengaruh pada fluktuabilitas harga maupun stabilitas pasokan. Keadaan inilah yang kemudian mengembalikan pamor batubara sebagai alternatif sumber energi primer, disamping faktor-faktor lainnya seperti cadangan batubara yang sangat banyak dan berlimpah baik di negara-negara maju maupun negara-negara berkembang, serta harga batubara di pasar dunia yang relatif lebih stabil.

Mengingat semakin pentingnya peranan batubara sebagai sumber energi alternatif, khususnya bila dikaitkan dengan kebutuhan penyediaan energi jangka panjang maka perlu dilakukan suatu usaha untuk mengurangi polutan yang dihasilkan dari pembakaran batubara.

Persoalan yang dihadapi dalam penggunaan batubara antara lain soal pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang yang mengandung partikel-partikel halus, seperti SO_x , NO_x dan CO yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan BBM dan Gas. Emisi ketiga gas ini harus dikurangi persentasenya. Mengingat ketiganya mempunyai andil yang sangat besar dalam kerusakan lingkungan. Berbagai upaya untuk mengatasi pencemaran tersebut telah dilakukan yaitu dengan menerapkan teknologi batubara bersih (*clean coal technology*).

Pada prinsipnya teknologi batubara bersih bertujuan untuk meningkatkan kualitas batubara dengan cara mengurangi kadar abu, sulfur, *moisture* dan berbagai pengotor lainnya. Salah satu jenis dari teknologi batubara bersih adalah usaha untuk membersihkan permukaan batubara dari kotoran-kotoran yang berpotensi menjadi pencemar. Secara langsung proses ini dapat menurunkan kadar

abu dan kadar sulfur pirit dalam batubara. Proses pembersihan ini dikenal dengan proses pencucian batubara^[3].

Seperti yang diketahui batubara bersifat heterogen, apabila dibakar senyawa anorganik yang ada diubah menjadi senyawa oksida yang berukuran butir halus berbentuk abu. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan pembentuk batubara yang tidak terbakar (*non combustible materials*) atau yang dioksidasi oleh oksigen. Bahan sisa dalam bentuk padat tersebut antara lain senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , dan oksida unsur lain.

Apabila batubara dibakar misalnya dimanfaatkan sebagai energi panas pada PLTU, abu yang ada akan terpisah menjadi abu dasar (20%) yang terkumpul didasar tungku, dan abu terbang (80%) yang akan keluar melalui cerobong asap. Abu terbang ini ditangkap dengan filter atau *electrostatic presipitator*. Apabila alat penangkap debu ini tidak berfungsi sebagaimana mestinya, paling tidak abu terbang (80%) akan terlepas ke atmosfer. Akibatnya udara disekeliling PLTU akan terkontaminasi, yang berdampak kurang baik bagi kehidupan. Selain itu ada sejumlah elemen yang berpotensi menjadi racun yang ditemukan pada abu terbang^[4].

Sulfur didalam batubara dapat berbentuk senyawa organik dan anorganik. Sulfur dalam bentuk senyawa anorganik dapat dijumpai dalam bentuk mineral pirit, markasit, atau dalam bentuk sulfat. Sulfur organik terbentuk selama terjadinya proses *coalification* (pembatubaraan). Adanya kandungan sulfur baik dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik di atmosfer dipicu oleh keberadaan air hujan dapat mengakibatkan terbentuknya hujan asam. Kandungan sulfur dalam batubara cukup bervariasi mulai dari 0.5-5.0%^[5].

Usaha untuk mengurangi kadar abu dan sulfur pada batubara selain menghilangkan unsur pencemar, juga dapat meningkatkan nilai kalori batubara sehingga dapat memberikan nilai tambah yang menyerupai batubara kualitas tinggi.

Salah satu nilai penting dari batubara adalah panas yang dihasilkan apabila batubara tersebut dibakar, yang dinamakan nilai kalori (*calorific value*) batubara. Nilai kalori atau disebut juga energi spesifik merupakan parameter yang

diperlukan untuk menentukan jumlah sumberdaya dan cadangan energi guna kepentingan pemanasan. Besaran nilai kalori batubara sangat ditentukan oleh jenis batubara yang dimanfaatkan serta kandungan abu, sulfur, *moisture* dan bahan pengotor lainnya.

Nilai kalori dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi kadar abu yang terkandung di dalamnya. Abu dan sulfur merupakan elemen-elemen *impurities* (pengotor), di samping pengotor-pengotor lainnya seperti tanah, batuan, mineral, dan lain-lain.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kadar abu dan kadar sulfur seharusnya dikurangi sehingga dapat mengurangi dampak dari proses pembakarannya. Di lain pihak dengan pengurangan kadar abu dan sulfur dengan sendirinya dapat meningkatkan nilai kalori batubara serta dapat meminimalkan biaya transportasi.

Briket batubara merupakan bahan bakar padat yang terbuat dari batubara dengan sedikit campuran seperti tanah liat dan tapioka yang berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*). Gagasan awal pembuatan briket batubara adalah untuk memanfaatkan limbah/sisa hasil penambangan batubara yang tidak diambil/tidak laku dijual karena ukuran butirnya kecil/tidak lagi memenuhi persyaratan yang diinginkan oleh pembeli (*buyer*). Penggunaan briket batubara sebagai bahan bakar di Indonesia telah dipromosikan sejak tahun 1993 di tiga daerah percontohan di Jawa. Saat ini briket dilirik sebagai bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak tanah yang paling murah dan dimungkinkan untuk dikembangkan secara massal dalam waktu yang relatif singkat mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana. Briket antara lain digunakan pada peternakan ayam, rumah makan, industri kecil makanan, pengeringan tembakau, pemindangan ikan, dll^[6].

Melimpahnya batubara di Indonesia, adalah merupakan modal utama untuk dimanfaatkan dalam pembuatan briket batubara. Karena emisi gas buang hasil pembakarannya seminimal mungkin jumlahnya dan berada di bawah ambang batas yang diizinkan, maka saat ini briket batubara terus dikembangkan. Hal lain yang diharapkan dari pengembangan lebih lanjut dari briket batubara adalah

kemampuan sifat bakarnya semaksimal mungkin, sehingga mendekati nilai bakar dari bahan bakar yang digantikannya, semisal minyak bumi. Dalam pada itu pemanfaatan teknologi yang ada dapat mendukung proses pembuatan briket yang lebih baik. Dalam penelitian ini, aglomerat hasil proses pencucian batubara dengan metode aglomerasi air – minyak bumi, akan dipakai sebagai bahan baku utama pembuatan briket yang ramah lingkungan dan berkualitas tinggi.

Minyak bumi merupakan campuran berbagai macam zat organik, tetapi komponen pokoknya adalah hidrokarbon. Minyak bumi disebut juga minyak mineral karena diperoleh dalam bentuk campuran dengan mineral lain. Minyak bumi tidak dihasilkan dan didapatkan secara langsung dari hewan atau tumbuhan, melainkan dari fosil. Karena itu minyak bumi dikatakan sebagai salah satu dari bahan bakar fosil.

I.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh proses aglomerasi air - minyak bumi terhadap kadar abu, kadar sulfur dan nilai kalori batubara sub-bituminus dari penambangan di lapisan (*seam*) A Kabupaten Muaro Bungo, Propinsi Jambi.
2. Diharapkan produk aglomerasi dapat dibuat menjadi briket yang lebih ramah lingkungan karena kadar abu dan sulfurnya rendah dan dalam proses pembuatannya tidak memerlukan pengikat (*binder*) berupa tapioka ataupun lempung, serta lebih mudah dibakar akibat bertambahnya jumlah *volatile matter*.
3. Briket batubara tersebut diharapkan lebih mudah dibakar daripada briket batubara yang dibuat melalui proses karbonisasi.
4. Briket batubara tidak kehilangan massa (*volatile matter*) dan nilai kalorinya tinggi.

I.3. Manfaat Penelitian

Memberikan hasil optimum bagi penelitian pencucian batubara dengan proses aglomerasi air - minyak bumi. Sehingga akan didapat produk aglomerat batubara-minyak bumi yang mempunyai kadar abu dan kadar sulfur rendah, dengan nilai kalori tinggi. Dengan penelitian ini juga diharapkan agar dapat menghasilkan produk briket yang berkualitas tinggi serta ramah lingkungan.

Keberhasilan penelitian ini akan memberikan sumbangan pemikiran untuk meningkatkan kualitas batubara di Indonesia terutama di Propinsi Jambi yang memiliki cadangan batubara jenis Sub-Bituminus yang sangat potensial serta memperkenalkan penggunaan produk briket sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah kepada masyarakat propinsi Jambi.

I.4. Perumusan Masalah

Metode aglomerasi merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar abu dan sulfur pada batubara. Sulfur anorganik berupa pirit maupun markasit yang merupakan bagian dari total sulfur yang ada pada batubara bersama abu melekat pada permukaan butiran batubara dapat dilepaskan dari bagian tersebut.

Beberapa peneliti telah menggunakan berbagai jenis minyak, baik nabati (minyak sayur) maupun minyak bumi (petro) untuk menurunkan kadar abu dan sulfur anorganik pada berbagai jenis batubara.

Dalam penelitian ini batubara jenis Sub-Bituminus yang berasal dari penambangan pada lapisan (*seam*) A di Kabupaten Muaro Bungo, Propinsi Jambi dikurangi kadar abu dan sulfurnya serta ditingkatkan nilai kalorinya melalui proses aglomerasi dengan media campuran air dan minyak bumi (*crude oil*).

I.5. Batasan Masalah

Dari uraian sebelumnya sebelumnya, dapat dilihat bahwa terdapat banyak parameter yang dapat dipakai dalam penelitian ini. Untuk itu dalam penelitian kali ini parameter-parameter tersebut dibatasi antara lain :

- 1) jenis batubara : Sub-bituminus
- 2) media campuran aglomerasi : campuran air dan bumi dengan persentase tertentu
- 3) Ukuran partikel batubara : 50 mesh
- 4) Waktu proses aglomerasi : 7 (tujuh) menit

I.6. Hipotesis

Dari proses aglomerasi air - minyak bumi (CO) untuk pencucian batubara, maka :

- 1) Kadar abu dan sulfur dapat diturunkan dibandingkan dengan batubara yang tidak dicuci
- 2) Nilai kalori batubara akan naik, yang disebabkan turunnya kadar abu dan sulfur, serta nilai kalori minyak bumi yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara.
- 3) Minyak bumi dapat bersenyawa dengan karbon batubara, sehingga akan lebih meningkatkan lagi nilai kalori batubara.
- 4) Produk aglomerat dapat dijadikan briket yang ramah lingkungan karena dalam proses pencetakannya tidak menggunakan binder (pengikat).

I.7. Sistematika Penulisan

Dalam tesis ini terdiri dari lima bab pembahasan. Bab I merupakan pendahuluan meliputi latar belakang penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, masalah dan batasan masalah, serta hipotesis. Bab II. Tinjauan Pustaka yang menguraikan jenis batubara dan sifatnya, komposisi batubara, manfaat batubara bersih, teknologi batubara bersih, minyak bumi. Bab III. Metode Penelitian yang menguraikan preparasi material, sampel batubara dan media aglomerasi, alat yang

digunakan dan prosedur percobaan. Bab IV. Hasil penelitian dan Pembahasan, yang menguraikan data-data hasil penelitian yang diungkapkan dalam bentuk tabel maupun gambar grafik, serta pembahasan dari data hasil penelitian. Bab V. Kesimpulan dan Saran.



BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. BATUBARA

II.1.a. Cara Terbentuknya Batubara

Komposisi kimia batubara hampir sama dengan komposisi kimia jaringan tumbuhan, keduanya mengandung unsur utama yang terdiri dari unsur C, H, O, N, S, P. Hal ini mudah dimengerti, karena batubara terbentuk dari jaringan tumbuhan yang telah mengalami pematubaraan (*coalification*). Apabila jaringan tumbuhan dibakar dalam suasana reduksi, yaitu dengan cara sesudah jaringan tumbuhan disulut dengan api, kemudian di atas tumpukan ditutup dengan tanah agar tidak berhubungan dengan udara luar (atau dengan kata lain agar jaringan tumbuhan tidak terbakar), maka jaringan tumbuhan (umum disebut kayu), akan menjadi arang kayu. Agar nyala api yang ada di dalam kayu mati, maka kayu tersebut segera disiram dengan air, dan terbentuklah arang kayu. Makin keras kayu yang dipergunakan sebagai bahan baku, arang kayu yang dihasilkan mutunya makin baik. Komposisi kimia arang kayu serupa dengan komposisi utama batubara. Perbedaannya, arang kayu dapat dibuat sebagai hasil rekayasa dan inovasi manusia, selama jangka waktu yang pendek, sedang batubara terbentuk oleh proses alam, selama jangka waktu ratusan hingga ribuan juta tahun. Karena batubara terbentuk oleh proses alam, maka banyak parameter yang akan berpengaruh pada pembentukan batubara. Makin tinggi intensitas parameter yang berpengaruh makin tinggi mutu batubara yang terbentuk.

Di dalam mempelajari cara terbentuknya batubara dikenal dua teori yaitu teori *insitu* dan teori *drift* ^[7]. Teori *insitu* menjelaskan, tempat dimana batubara terbentuk sama dengan tempat terjadinya proses *coalification* dan sama pula dengan tempat dimana tumbuhan tersebut berkembang. Oleh sebab itu beberapa penciri yang dapat dipergunakan untuk mengetahui berlakunya teori *insitu* pada suatu daerah tambang batubara, antara lain didapatkannya getah tumbuhan yang telah mengeras (membatu), dalam istilah geologi disebut sebagai *Harz* (istilah setempat dikenal sebagai dammar selo (gandarukem). Warna *Harz*, kuning tua

sampai kuning kehitaman, relatif lunak dibandingkan dengan kekerasan kuku manusia, dan mudah digerus menjadi butir-butir halus, apabila dibakar berbau seperti kemenyan. Pada saat tumbuhan tumbang, mati dan tertutup oleh batuan sedimen, seringkali daun masih terdapat bersama dengan kayunya. Oleh sebab itulah didapatkan tikas tulang daun (disebut pula sebagai *imprint*) pada batuan sedimen yang menutupinya (pada umumnya terdapat pada batuan sedimen berbutir halus, jenis batu lempung). Tikas ini memperlihatkan bekas jaringan tulang daun. Kedua kenampakan tersebut di atas, yaitu keterdapatan *harz* dan *imprint* tulang daun, banyak didapatkan di daerah tambang batubara Samarinda dan Tenggarong^[8].

Teori *drift* menjelaskan, bahwa endapan batubara yang terdapat pada cekungan sedimen berasal dari tempat lain, dengan kata lain tempat terbentuknya batubara berbeda dengan tempat tumbuhan semula berkembang kemudian mati. Oleh sebab itu bahan pembentuk batubara tersebut telah mengalami proses transportasi, sortasi dan terakumulasi pada suatu cekungan sedimen. Oleh karenanya keberadaan Harz dan tikas daun tidak pernah didapatkan, di samping kualitas batubara antara lapisan yang satu dengan lapisan stratigrafi di atasnya berbeda.

II.1.b. Faktor-faktor yang Berpengaruh

Cara terbentuknya batubara melalui proses yang sangat panjang dan lama, di samping dipengaruhi faktor alamiah yang tidak mengenal batas waktu, terutama ditinjau dari segi fisika, kimia ataupun biologis. Dikenal serangkaian faktor yang akan berpengaruh dan menentukan terbentuknya batubara. Faktor-faktor tersebut secara rinci dijelaskan sebagai berikut :

- **Posisi geoteknik**

Posisi geoteknik adalah letak suatu tempat yang merupakan cekungan sedimentasi yang keberadaannya dipengaruhi oleh gaya-gaya tektonik lempeng. Adanya gaya-gaya tektonik ini akan menyebabkan cekungan sedimentasi menjadi lebih luas apabila terjadi penurunan dasar cekungan, atau menjadi lebih sempit bila terjadi kenaikan dasar cekungan. Proses

tektonik dapat pula diikuti oleh perlipatan perlapisan batuan ataupun patahan. Apabila proses yang disebut terakhir ini terjadi, satu cekungan sedimentasi akan dapat terbagi menjadi dua atau lebih sub cekungan sedimentasi dengan luasan yang relatif kecil. Kejadian ini juga akan berpengaruh pada penyebaran batubara yang terbentuk. Makin dekat cekunagn sedimentasi batubara terbentuk atau terakumulasi, terhadap posisi kegiatan tektonik lempeng, kualitas batubara yang dihasilkan akan semakin baik.

- **Keadaan topografi daerah**

Daerah tempat tumbuhan berkembang baik, merupakan daerah yang relatif tersedia air. Oleh karenanya tempat tersebut mempunyai topografi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang mengelilinginya. Makin luas daerah dengan topografi yang relatif rendah, makin banyak tanaman yang tumbuh, sehingga makin banyak terdapat bahan pembentuk batubara. Apabila keadaan topografi daerah ini dipengaruhi oleh gaya tektonik, baik yang mengakibatkan penurunan ataupun penaikan topografi, maka akan berpengaruh pula terhadap luas tanaman yang merupakan bahan utama pembentuk batubara. Hal ini merupakan salah satu faktor yang mengakibatkan penyebaran batubara berbentuk seperti lensa.

- **Iklm daerah**

Iklm berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Di daerah beriklim tropis dengan curah hujan silih berganti sepanjang tahun, di samping tersedianya sinar matahari sepanjang waktu, merupakan tempat yang cukup baik untuk pertumbuhan tanaman. Di daerah beriklim tropis hampir semua jenis tanaman dapat hidup dan berkembang baik. Oleh karenanya di daerah yang mempunyai iklim tropis pada masa lampau, sangat dimungkinkan didapatkan endapan batubara dalam jumlah banyak, sebaliknya di daerah yang beriklim sub tropis mempunyai penyebaran endapan batubara relatif terbatas. Kebanyakan luas tanaman yang keberadaannya sangat ditentukan oleh iklim akan menentukan penyebaran dan ketebalan batubara yang nantinya akan terbentuk.

- **Proses penurunan cekungan sedimentasi**

Cekungan sedimentasi yang ada di alam bersifat dinamis, artinya dasar cekungannya akan mengalami proses penurunan atau pengangkatan. Apabila proses penurunan dasar cekungan sedimentasi lebih sering terjadi, akan terbentuk penambahan luas permukaan tempat tanaman mampu hidup dan berkembang. Selain itu penurunan dasar cekungan akan mengakibatkan terbentuknya batubara yang cukup tebal. Makin sering dasar cekungan sedimentasi mengalami proses penurunan, batubara yang terbentuk akan makin tebal. Di Indonesia yang mempunyai nilai ekonomi (artinya menguntungkan apabila ditambang) terdapat pada cekungan sedimentasi yang berumur Tersier, dengan luasan ratusan hingga ribuan hektar, terutama di pulau Sumatra dan Kalimantan. Kenyataan tersebut, memberikan pola pikir pada kita bahwa cekungan sedimentasi di kedua pulau tersebut, proses penurunan dasar cekungan lebih sering terjadi, sehingga suatu hal yang wajar apabila ketebalan endapan batubara di kedua pulau tersebut dapat mencapai ratusan meter.

- **Umur geologi**

Jaman Karbon (kurang lebih berumur 350 juta tahun yang lalu), diyakini merupakan awal munculnya tumbuh-tumbuhan di dunia untuk pertama kalinya. Sejalan dengan proses tektonik yang terjadi di dunia selama sejarah geologi berlangsung, luas daratan tempat tanaman hidup dan berkembang biak, telah mengalami proses *coalification* cukup lama, sehingga mutu batubara yang dihasilkan sangat baik. Jenis batubara ini pada umumnya terdapat di daerah benua seperti Australia, Asia, Afrika, Eropa dan Amerika.

Di Indonesia, batubara didapatkan pada cekungan sedimentasi yang berumur Tersier (kurang lebih berumur 70 juta tahun yang lalu). Dalam hitungan waktu geologi, 70 juta tahun yang lalu masih dianggap terlalu muda apabila dibandingkan dengan jaman Karbon. Batubara yang terdapat di cekungan sedimentasi di pulau Sumatra dan Kalimantan belum mengalami proses *coalification* sempurna. Hal ini akan berakibat, mutu

batubara yang didapatkan di kedua pulau tersebut belum mempunyai kualitas yang baik, masih tergolong bitumina, belum sampai pada jenis antrasit (yang dianggap *rank* batubara tertinggi). Dari uraian tersebut, disimpulkan bahwa makin tua lapisan batuan sedimen yang mengandung batubara, makin tinggi *rank* batubara yang akan diperoleh.

- **Jenis tumbuh-tumbuhan**

Present is the key to the past merupakan salah satu konsep geologi yang mampu menjelaskan kaitan antara mutu batubara dengan tumbuhan semula yang merupakan bahan utama pembentuk batubara. Arang kayu yang diproses dari kayu yang keras misalnya kayu dari tumbuhan *Lamtoro* akan mempunyai mutu yang relatif lebih baik dibandingkan apabila arang kayu tersebut diproses dari kayu yang relatif lebih lunak misalnya dari tumbuhan *Gliricidae*. Bertitik tolak pada analogi, batubara yang terbentuk dari tanaman keras dan berumur tua akan lebih baik dibandingkan dengan batubara yang terbentuk dari tanaman semak dan hanya berumur semusim. Didapatkannya batubara di Indonesia khususnya di pulau Sumatra dan Kalimantan (kebanyakan dari jenis bitumina) dalam jumlah yang cukup besar memberikan gambaran pada kita bahwa selama jaman Tersier di kedua pulau tersebut merupakan daerah hutan tanamandengan jenis tumbuhan yang bervariasi, tetapi didominasi oleh tanaman keras. *Peat*, dikenal pula sebagai gambut yang didapatkan di Kalimantan dan Sumatra terbentuk dari tanaman semak dan rumput, dikenal merupakan jenis batubara *rank* rendah. Dari uraian tersebut di atas, disimpulkan bahwa makin tinggi tingkatan tumbuhan (dalam sistematika taksonomi) dan makin tua umur tumbuhan tersebut, apabila mengalami proses *coalification* akan menghasilkan batubara kualitas baik.

- **Proses dekomposisi**

Proses dekomposisi pada tumbuhan merupakan bagian dari transformasi biokimia pada bahan organik, merupakan titik awal rantai panjang proses alterasi. Selama proses pembentukan gambut (yang merupakan tahap awal dalam proses pembentukan batubara), sisa tumbuhan mengalami

perubahan, baik secara fisik maupun kimia. Setelah tumbuhan mati proses degradasi biokimia lebih berperan. Proses pembusukan (*decay*) akan terjadi sebagai akibat kinerja dari mikrobiologi dalam bentuk bakteri *anaerobic*. Jenis bakteri ini bekerja dalam suasana tanpa oksigen, menghancurkan bagian lunak dari tumbuhan seperti *cellulose*, protoplasma dan karbohidrat. Proses tersebut membuat kayu berubah menjadi lignit, bitumina.

Selama proses biokimia berlangsung, dalam keadaan kekurangan oksigen (kondisi reduksi), berakibat keluarnya air (H_2O) dan sebagian unsur karbon (C) akan hilang dalam bentuk karbondioksida (CO_2), karbonmonoksida (CO) dan metana (CH_4). Akibat pelepasan unsur atau senyawa tersebut jumlah relatif unsur karbon akan meningkat dibandingkan dengan unsur yang lainnya. Kecepatan pembentukan gambut tergantung pada kecepatan perkembangan tumbuhan dan proses pembusukan. Apabila tumbuhan yang telah mati tertutup oleh air dan sedimen berbutir halus dengan cepat, maka akan terhindar dari proses pembusukan, dan terjadilah proses desintegrasi atau penguraian oleh mikrobia *anaerobic*. Di lain pihak apabila tumbuhan yang telah mati terlalu lama di udara terbuka, kecepatan pembentukan gambut akan berkurang, hanya bagian tumbuhan yang keras saja tertinggal, sehingga menyulitkan penguraian lebih lanjut oleh bakteri.

- **Sejarah setelah pengendapan**

Sejarah cekungan tempat terjadi pembentukan batubara salah satu faktor diantaranya ditentukan oleh posisi cekungan sedimentasi tersebut terhadap posisi geoteknik. Makin dekat posisi cekungan sedimentasi terhadap posisi geoteknik yang selalu dinamis, akan mempengaruhi perkembangan batubara dan cekungan letak batubara berada. Selama waktu itu pula proses geokimia dan metamorfosa organik akan ikut berperan dalam mengubah gambut menjadi batubara. Apabila dinamika geotektonik memungkinkan terbentuk perlipatan pada lapisan batuan yang mengandung batubara, dan terjadi pensesaran, proses ini akan

mempercepat terbentuknya batubara dengan *rank* yang lebih tinggi. Proses ini akan dipercepat apabila dalam cekungan atau berdekatan dengan cekungan tempat batubara tersebut berada terjadi proses intrusi magmatis. Panas yang ditimbulkan selama proses perlipatan, pensesaran ataupun proses intrusi magmatis, akan mempercepat terjadinya proses *coalification* atau sering disebut sebagai proses permuliaan batubara. Hasil akhir dari proses ini mengakibatkan terbentuk batubara dengan kadar C cukup tinggi dengan kandungan H₂O yang relatif rendah.

- **Struktur geologi cekungan**

Batubara terbentuk pada cekungan sedimentasi yang sangat luas, hingga mencapai ratusan hingga ribuan hektar. Dalam sejarah bumi, batuan sedimen yang merupakan bagian kulit bumi, akan mengalami deformasi akibat gaya tektonik. Cekungan akan mengalami deformasi lebih hebat apabila cekungan tersebut berada dalam satu sistem geantiklin atau geosinklin. Akibat gaya tektonik yang terjadi pada waktu-waktu tertentu, batubara bersama dengan batuan sedimen yang merupakan perlapisan diantaranya akan terlipat dan tersesarkan. Proses perlipatan dan pensesaran tersebut akan menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan akan berpengaruh pada proses metamorfosis batubara, dan batubara akan menjadi lebih keras dan lapisannya terpatah-patah. Makin banyak perlipatan dan pensesaran terjadi di dalam cekungan yang mengandung batubara secara teoritis akan meningkatkan mutu batubara. Oleh sebab itu, pencarian batubara bermutu baik, diarahkan pada daerah geosinklin atau geantiklin, karena di kedua daerah tersebut diyakini kegiatan tektonik berjalan cukup intensif.

- **Metamorfosa organik**

Tingkat kedua dalam proses pembentukan batubara adalah penimbunan atau penguburan sedimen baru. Apabila telah terjadi proses penimbunan, proses degradasi biokimia tidak berperan lagi, tetapi mulai digantikan dan didominasi oleh proses dinamokimia. Proses ini menyebabkan terjadinya perubahan gambut menjadi batubara dalam berbagai mutu. Selama proses

ini terjadi pengurangan air lembab, oksigen, dan senyawa kimia lainnya antara lain CO, CO₂, CH₄, serta gas lainnya. Di lain pihak terjadi penambahan prosentase karbon (C), belerang (S) dan kandungan abu. Peningkatan mutu batubara sangat ditentukan oleh faktor waktu dan tekanan. Tekanan dapat diakibatkan oleh lapisan sedimen penutup yang tebal atau karena tektonik. Waktu ditunjukkan, bilamana bahan utama pembentuk batubara mulai bergradasi. Makin lama selang waktu semenjak saat mulai bergradasi hingga berubah menjadi batubara, makin baik mutu batubara yang diperoleh. Faktor-faktor tersebut mengakibatkan bertambahnya tekanan dan percepatan proses metamorfosa organik. Proses ini akan mengubah gambut menjadi batubara sesuai dengan perubahan kimia, fisika dan tampak pula sifat optiknya.

II.1.c. Jenis Batubara dan Sifatnya

Jenis-jenis batubara diperkenalkan pertama kali oleh White pada tahun 1909, yang kemudian diadopsi oleh Thiessen tahun 1931 dan teman-teman sekerjanya^[9], Daman Suyadi^[10] dan Djoko Sulaksono^[11], membagi jenis batubara sebagai berikut :

a) Antrasit

Batubara jenis Antrasit, merupakan peringkat tertinggi dengan nilai kalor di atas 7500 kkal/kg. Warna hitam, sangat mengkilat, kompak; kandungan karbon sangat tinggi; nilai kalor sangat tinggi; kandungan air sangat sedikit; kandungan abu sangat sedikit; kandungan sulfur sangat sedikit. Antrasit merupakan bagian terkecil dari cadangan batubara di Indonesia.

b) Bituminus

Batubara jenis Bituminus terdiri dari tiga golongan, yaitu jenis dengan kadar zat terbang rendah, sedang dan tinggi. Mempunyai sifat mengkokas yang baik, dan bila dikarbonisasi menjadi plastis sekali, membentuk kokas dan menggumpalkan partikel-partikel inert yang lain, kemudian setelah menjadi kokas mengeras kembali (mengkokas).

Batubara jenis ini biasanya dicampurkan pada briket dengan bahan pengikat berupa kanji, air gelas atau semen. Potensinya merupakan 15% dari cadangan yang ada di Indonesia dengan karakteristik berkadar air sampai dengan 15% dan nilai kalor 6000-7500 kkal/kg.

c) Sub Bituminus

Batubara jenis Sub Bituminus sifatnya tidak mengembang dan kadang-kadang bersifat *slaking*, mudah hancur terpengaruh cuaca. Kadar zat terbang Sub Bituminus besar, sehingga untuk meningkatkan mutunya, batubara jenis ini sebelum dibuat briket melalui tahapan proses karbonisasi terlebih dahulu untuk menghasilkan semi kokas, karena semi kokas merupakan bahan bakar ideal yang mempunyai daya pemanasan dan radiasi yang baik dan cocok digunakan untuk pembakar skala kecil (*boiler*) untuk industri, pandai besi, untuk keperluan rumah tangg, industri bata, keramik. Potensi Sub Bituminus sebesar 26 % dari cadangan yang ada dengan dengan karakteristik kadar air 15 – 30 % dan nilai kalor 5000 – 6000 kkal/kg.

d) Lignit

Batubara jenis lignit mempunyai kadar air total yang tinggi sekitar 30 – 40 % dan nilai kalorinya rendah yaitu sekitar 4000 – 5000 kkal/kg. Batubara jenis ini mudah hancur dan berdebu, dan sangat reaktif. Untuk menghilangkan sifat-sifat tersebut di atas, batubara jenis ini ditingkatkan mutunya melalui tahapan proses karbonisasi. Pemanfaatan batubara ini sangat luas, mulai dari rumah tangga, barbeque, pandai besi, dan bahan bakar industri. Lignit juga dikatakan sebagai *Brown Coal*.

II.1.d. Komposisi dan Kualitas Batubara

Secara garis besar batubara terdiri dari komponen-komponen ^[12] sebagai berikut :

- Batubara Murni (*pure coal*), yaitu zat-zat organik yang merupakan jaringan karbon dan hidrogen (hidrokarbon) serta sejumlah kecil nitrogen, sulfur dan oksigen yang terikat secara organik.
- Bahan-bahan Mineral (*Mineral Matter*), yang terdiri dari zat-zat anorganik yang akan menjadi abu bila batubara dibakar, seperti lempung, batu pasir dan zat-zat lain seperti sulfur oksida serta karbondioksida.
- Air (*Moisture*), yang terdiri dari air yang terdapat di dalam batubara (*inherent moisture*) serta air yang terdapat pada permukaannya.

Batubara yang diperoleh dari hasil penambangan pasti mengandung bahan pengotor (*impurities*). Pada saat terbentuknya, batubara selalu bercampur dengan mineral penyusun batuan yang selalu terdapat bersamaan dengan proses sedimentasi baik sebagai mineral anorganik ataupun sebagai bahan bakar organik. Di samping itu, selama berlangsung proses *coalification*, terbentuk unsur S yang tidak dapat dihindarkan. Keberadaan pengotor dalam batubara hasil penambangan diperparah lagi, dengan adanya kenyataan bahwa tidak mungkin membersihkan/memilih/mengambil batubara yang bebas dari mineral. Hal tersebut disebabkan antara lain, penambangan batubara dalam jumlah besar selalu mempergunakan alat-alat berat antara lain *bulldoser, backhoe, tractor, truck, belt conveyor, ponton*, yang selalu bergelimang dengan tanah^[13]. Dikenal dua jenis *impurities*, yaitu :

a. *Inherent Impurities*

Merupakan pengotor bawaan yang terdapat dalam batubara. Batubara yang sudah dicuci (*washing*) dan dikecilkan ukuran butirnya (*crushing*) sehingga dihasilkan ukuran tertentu. Ketika dibakar habis masih memberikan sisa abu. Pengotor bawaan ini terjadi bersama-sama pada waktu proses pembentukan batubara (ketika masih berupa *gelly*). Pengotor tersebut dapat berupa gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), pirit (FeS_2), silika (SiO_2), serta mineral lainnya. Pengotor bawaan ini tidak

mungkin dihilangkan sama sekali, tetapi dapat dikurangi dengan melakukan pembersihan. Proses ini dikenal sebagai teknologi batubara bersih.

b. External Impurities

Merupakan pengotor yang berasal dari luar, timbul pada saat proses penambangan antara lain terbawanya tanah yang berasal dari lapisan penutup (*overburden*). Kejadian ini sangat umum dan tidak dapat dihindari, khususnya pada penambangan batubara dengan metode tambang terbuka (*open pit*).

Batubara merupakan endapan organik yang mutunya sangat ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain tempat terdapatnya cekungan batubara, umur, banyaknya pengotor/kontaminasi. Sebagai bahan baku pembangkit energi yang dimanfaatkan dalam industri, mutu batubara mempunyai peranan yang sangat penting dalam memilih peralatan yang akan dipergunakan dan pemeliharaan alat. Dalam menentukan mutu/kualitas batubara perlu diperhatikan beberapa hal antara lain :

☞ ***Heating Value / Calorific Value (Nilai Kalor)***

Dinyatakan dalam kkal/kg, banyaknya jumlah kalori yang dihasilkan batubara tiap satuan berat (dalam kilogram). Dikenal nilai kalor *net* (*net calorific value* atau *low heating calorific value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran di mana semua air (H_2O) dihitung dalam keadaan gas, dan nilai kalor *gross* (*grosses calorific value* atau *high heating value*), yaitu nilai kalor hasil pembakaran dimana semua air (H_2O), dihitung dalam keadaan wujud cair. Semakin tinggi nilai kalor, makin lambat batubara jalannya batubara yang diumpankan sebagai bahan bakar setiap jamnya, sehingga kecepatan umpan batubara (*coal feeder*) perlu disesuaikan. Hal ini perlu diperhatikan agar panas yang ditimbulkan tidak melebihi panas yang diperlukan dalam proses industri. Akibat selanjutnya akan memperpanjang masa pakai *burner*, *wind box*, *pulvizer* (alat penghancur/pembubuk), dan peralatan lainnya.

☞ **Moisture Content (Kandungan Lengas)**

Kandungan lengas pada batubara semata-mata terjadi karena terdapatnya air. Dibedakan kandungan air internal (*inherent moisture*), yaitu air yang terikat secara kimiawi dan kandungan air external (*surface moisture*), yaitu air yang menempel pada permukaan butir. Apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar, sebagian kalori panas yang dihasilkan dipergunakan untuk menguapkan air yang terdapat pada batubara. Akibatnya, kalori panas yang dihasilkan dan dimanfaatkan untuk membakar, menjadi berkurang. Makin tinggi *moisture content*, makin banyak kalori panas yang dimanfaatkan untuk menguapkan air.

Apabila batubara dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada *mill* (gilingan), misalnya pada industri semen, keberadaan kandungan air (*moisture content*) akan berpengaruh pada penggunaan udara primer. Batubara dengan kandungan lengas tinggi, akan memerlukan lebih banyak udara primer untuk mengeringkan batubara tersebut agar suhu batubara pada saat keluar dari *mill* tetap, sehingga kualitas hasil produksi industri dapat dijamin.

☞ **Ash Content (Kandungan Abu)**

Batubara bersifat heterogen, apabila dibakar senyawa anorganik yang ada diubah menjadi bentuk senyawa oksida yang berukuran butir halus berbentuk abu. Abu ini merupakan kumpulan dari bahan pembentuk batubara yang tidak terbakar (*non combustible materials*) atau yang dioksidasi oleh oksigen. Bahan sisa dalam bentuk padat tersebut antara lain senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Mn_3O_4 , dan oksida unsur lain. Disamping itu terdapat pula abu dari bahan organik yang terbakar (*combustible material*).

Impurities yang terdapat dalam batubara berperan sangat penting pada kandungan abu batubara. Apabila batubara ini dipakai untuk PLTU, abu yang ada akan terpisah menjadi abu dasar (20%) yang terkumpul di dasar tungku dan abu terbang (80%) yang akan keluar melalui cerobong asap. Sedang apabila batubara dipergunakan sebagai bahan bakar dalam industri semen, abu (dalam bentuk padatan) bercampur dengan *klinker*, dan akan mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan

abu dan tergantung pada komposisinya, akan mempengaruhi tingkat pengotoran udara apabila abu sampai terlepas ke atmosfer, menyebabkan pula terjadi keausan dan korosi pada peralatan yang dilaluinya.

Kadar abu didapat dengan cara membakar sampel batubara pada temperatur 700°C sampai dengan 950°C dalam *crusible* terbuka dalam dapur *muffle* dengan kontak udara. Jumlah kadar abu berpengaruh terhadap nilai kalor, kadar abu yang tinggi berakibat menurunnya nilai kalori.

☞ **Sulfur Content (Kandungan Belerang)**

Belerang yang terdapat dalam batubara dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu dalam bentuk senyawa anorganik dan senyawa organik. Belerang dalam bentuk senyawa anorganik dapat dijumpai dalam bentuk mineral pirit (FeS_2 bentuk kristal kubus), markasit (FeS_2 dalam bentuk kristal orthorombik), atau dalam bentuk sulfat. Mineral pirit dan markasit sangat umum terbentuk selama terjadinya proses *coalification* ^[7]. Belerang organik yang terdapat dalam batubara dapat dioksidasi membentuk sulfat. Keberadaan sulfur dalam batubara akan berpengaruh terhadap tingkat korosi sisi dingin (sisi luar) yang terjadi pada elemen pemanas udara (terutama apabila suhu kerja lebih rendah dari letak embun sulfur), juga berpengaruh terhadap keefektifan peralatan penangkapan abu (*electrostatic precipitator*). Adanya kandungan sulfur, baik dalam bentuk senyawa anorganik maupun dalam bentuk senyawa organik di atmosfer dipicu oleh keberadaan air hujan, mengakibatkan terbentuknya air asam (dalam dunia pertambangan batubara dikenal dengan air asam tambang, dengan $\text{pH} < 7$).

☞ **Volatile Matter (Bahan Mudah Menguap)**

Volatile matter didefinisikan sebagai bahan yang mudah menguap. Kandungan *volatile matter*, berkaitan dengan proses pembatubaraan. Akibat adanya *overbudden pressure*, kandungan air dalam batubara akan berkurang. Sebaliknya makin mengecilnya kandungan air, *calorific value* akan semakin meningkat. Pada saat yang bersamaan batubara mengalami proses *devolatilisasi*. Semua sisa oksigen, hidrogen, sulfur, nitrogen berkurang sehingga kandungan *volatile matter* mengecil. Kandungan *volatile matter*,

memiliki pengaruh yang besar dalam pembakaran batubara, semakin tinggi kadarnya maka akan semakin cepat terjadi pembakaran dan semakin banyak kehilangan berat ^[12].

Volatile matter didapat selama proses pirolisa dari batubara dan umumnya mengandung gas-gas seperti hidrogen, karbon monoksida, dan gas-gas yang mudah terbakar, metan serta hidrokarbon lainnya. Tar dan gas-gas tak terbakar seperti karbondioksida dan uap juga terdapat dalam *volatile matter* ini. Pemanasan batubara untuk mengukur *volatile matter* ini dilakukan pada temperatur antara 800⁰C – 1050⁰C dalam satu *crusible* tertutup.

∞ **Fixed Carbon (Karbon Tertambat)**

Fixed carbon didefinisikan sebagai sisa dari perhitungan 100% total materi dikurangi kadar air, kadar abu dan *volatile matter*. *Fixed carbon* ini didapat dari hasil dekomposisi materi batubara. Besaran *fixed carbon* ini adalah ukuran material padat yang berupa sisa di dalam alat pembakaran setelah *volatile matter*nya keluar. Makin sedikit kandungan air, nilai *fixed carbon* semakin tinggi. *Anthracite* mempunyai kandungan air sedikit, sehingga *anthracite* mempunyai nilai *fixed carbon* tinggi. Makin tinggi nilai *fixed carbon*, makin tinggi kalor yang dihasilkan.

Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi batubara menurut sistem ASTM^[14].

Tabel 2.1: Klasifikasi Batubara Menurut ASTM

Kelas dan Kelompok	Batas karbon Tetap, % (dihitung kering, basis bebas mineral)	Batas Bahan dapat Menguap (dihitung kering, basis bebas bahan mineral)	Batas Nilai Kalori BTU/lb (basis bebas bahan mineral basah)
I. Antrasit			
1. Metaantrasit	> 98	< 2	
2. Antrasit	92 – 98	2 – 8	
3. Semiantrasit	86 – 92	8 – 14	
II. Bituminus			
1. Bituminus penguapan rendah (<i>low volatile</i>)	78 – 86	14 – 22	
2. Bituminus penguapan menengah (<i>medium volatile</i>)	69 – 78	22 – 31	
3. Bituminus Penguapan Tinggi (<i>High Volatile A</i>)			
4. Bituminus Penguapan Tinggi (<i>High Volatile B</i>)	< 69	> 31	> 14.000
5. Bituminus Penguapan Tinggi (<i>High Volatile C</i>)			13.000 – 14.000
			10500 – 13.000
III. Sub Bituminus			
1. Sub-Bituminus A			10.500 –
2. Sub-Bituminus B			11.500
3. Sub-Bituminus C			9.500 – 10.500
			8.300 – 9.500
IV. Lignit			
1. Lignit A			6.300 – 8.300
2. Lignit B			< 6300

II.1.e. Analisis Batubara

Banyak cara dilakukan untuk mengetahui kualitas/mutu batubara berkaitan dengan pemanfaatannya. Pada prinsipnya dikenal 2 (dua) jenis pengujian/analisis, yaitu analisis proksimat (*proximate analysis*) dan analisis ultimate (*ultimate analysis*).

1. Analisis Proksimat, yang perlu diketahui antara lain :

- *Moisture Content*
- *Ash Content*
- *Volatile Matter*
- *Fixed Carbon*
- *Total Sulfur*
- *Gross Calorific Value*

2. Analisis Ultimate, yang perlu diketahui antara lain :

- *Carbon Content*
- *Hidrogen Content*
- *Oxygen Content*
- *Nitrogen Content*
- *Sulfur Content*

II.1.f. Manfaat Batubara Bersih

Batubara mengandung abu dan sulfur yang akan mengganggu lingkungan kehidupan bila dibakar. Oleh karena itu sebaiknya diupayakan batubara yang bersih dari abu dan sulfur. Beberapa masalah lingkungan yang ditimbulkan dari adanya abu dan sulfur adalah sebagai berikut :

∞ Abu

Abu adalah bahan mineral yang terdapat pada batubara, abu tidak dapat dibakar. Dilihat dari asal terjadinya, abu pada batubara terbagi ke dalam dua jenis ^[12], yaitu : *inherent* : abu yang berhubungan dengan tumbuhan asal pembentukan batubara, abu ini tidak dapat dihilangkan atau dicuci dari batubara. *Extraneous* : berasal dari tanah penutup atau lapisan-lapisan yang

terdapat di antara lapisan batubara, yang biasanya terdiri dari batu pasir, lempung atau batu gamping. Bahan-bahan mineral tersebut dapat dihilangkan dengan pencucian.

Kandungan abu berkisar 5% sampai dengan 35% dan hampir tidak dapat diprediksi jumlahnya dibanding dengan materi lain^[15]. Penelitian di China^[16, 17] menunjukkan bahwa abu dari pembakaran batubara yang mengandung kadar *Flour* tinggi dapat mengakibatkan timbulnya beberapa jenis penyakit kulit antara lain kanker kulit dan kelainan genetika pada manusia.

Sejumlah elemen telah didapat dari abu terbang, tanah pertanian, tanaman dan hewan yang menunjukkan 25 elemen yang berpotensi bagi kehidupan^[17].

☞ Sulfur

Sebagai pencemar, gas buang berupa gas asam seperti SO_2 , SO_3 , dan NO_x didapat dari pembakaran langsung batubara. Sedangkan H_2S didapat dari karbonisasi, gasifikasi dan liquifaksi batubara^[18]. Beberapa gas buang dan pengaruhnya terhadap lingkungan adalah^[18] :

- Karbon monoksida (CO) : tidak berbau, tetapi beracun akibat pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Gas CO dapat bereaksi dengan Haemoglobin membentuk karbonhaemoglobin (CO-Hb) yang selanjutnya menurunkan kemampuan darah untuk mengikat oksigen. Seperseribu bagian CO dalam darah akan menyebabkan 50% *haemoglobin* dalam darah terikat CO .
- Karbon dioksida (CO_2) : gas yang keluar sebagai hasil pembakaran, termasuk dari pernafasan manusia dan kendaraan bermotor.
- Nitrogen oksida (NO_x) : gas yang tidak berbau, tidak berwarna, tetapi beracun yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Gas NO_x dapat bergabung dengan haemoglobin dan mengganggu penyerapan oksigen dalam darah. NO_2 dapat menyebabkan iritasi di bagian tertentu paru-paru..
- Sulfur oksida (SO_x) : gas yang bersifat korosif dan beracun. Gas SO_2 menyebabkan iritasi membran lendir pada daerah pernafasan serta menyebabkan penyakit pernafasan kronis khususnya *bronchitis*.

Pada saat pembakaran batubara, Suganal ^[19] menyatakan bahwa senyawa sulfur dalam batubara terkonversi menjadi sulfur oksida (umumnya SO₂) yang sebagian besar (90%) terbawa aliran gas buang ke udara bebas. Dalam perdagangan internasional umumnya kandungan sulfur total yang diperkenankan adalah 1% berat atau lebih kecil. Briket batubara yang dibuat di Indonesia harus memenuhi Standar Emisi Gas Buang Indonesia dan Negara lain. Lihat tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2: Standar Emisi Gas Buang Indonesia ^[19]

Parameter	1966-2000 (mg/m ³)	2000 ke atas (mg/m ³)
Total Partikel	300	150
SO ₂	1500	750
NO ₂	1700	850
Kapasitas	40%	20%

Tabel 2.3: Standar Emisi Gas Buang Indonesia dan Negara Lain, (mg/m³) ^[19]

Negara	Sulfur Dioksida	Nitrogen Dioksida
Indonesia (sebelum 2000)	1500	1700
Indonesia (mulai 2000)	750	850
Australia	2000	800
Canada	715	740
European Union	400	650
Germany	400	200
Japan	170-860	410-720
Korea	2200	875
New Zealand	125	410
Thailand	1300	940
United Kingdom	400	650
United States	740-1480	615-740
World Bank	-	750

Menurut Suganal ^[19], ada enam daerah tambang di Indonesia, yaitu Banjarsari (Sumsel), Kitadin (Kaltim), Tanito Harum (Kaltim), Ombilin (Sumbar), Bukit Sunur (Bengkulu), dan Adaro Wara (Kalsel) yang batubaranya mengandung kadar sulfur rendah sehingga emisi gas SO₂ < 750 mg/m³, dan ini memenuhi standar emisi SO₂.

II.2. TEKNOLOGI BATUBARA BERSIH

Teknologi batubara bersih dimaksudkan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat pembakaran batubara. Teknologi batubara bersih ini dapat memberikan solusi agar batubara yang dibakar dapat lebih ramah terhadap lingkungan. Dampak langsung pembakaran batubara adalah asap yang dihasilkan dapat menyebabkan timbulnya hujan asam, dan bila terhisap langsung akan menyebabkan penyakit paru. Sedangkan abu yang terbang akan menempel pada permukaan tanaman dan tanah, sehingga akan menyebabkan terjadinya perubahan yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup tanaman. Khusus bagi manusia akan menyebabkan penyakit kulit dan mutasi genetika.

Teknologi batubara bersih dapat mereduksi emisi-emisi dari Sulfur Oksida, Nitrogen Oksida, dan polutan lainnya, mulai dari tambang batubara ke pembangkit tenaga listrik yang memakai batubara sebagai pembakar atau pabrik-pabrik.

Ada empat teknologi yang ada untuk mereduksi polutan ini ^[5] :

a. Pembersihan Sebelum Pembakaran

Pembersihan ini dilakukan sebelum batubara tersebut dibakar, yaitu dengan cara antara lain secara fisik (*Physical Cleaning*) – pencucian batubara, dan secara kimia/biologi (*Chemical/Biological Cleaning*).

b. Pembersihan Selama Pembakaran

Pembersihan dilakukan dengan cara mengontrol pembakaran yaitu dengan cara kontrol suplai udara, temperatur dan menambah zat-zat kimia penyerap unsur polutan.

c. Pembersihan Sesudah Pembakaran

Cara ini dilakukan antara lain dengan menangkap abu terbang

d. Konversi batubara dengan Nilai Tambah

Cara yang dilakukan antara lain, gasifikasi batubara, liquifaksi batubara.

Dalam penelitian ini dilakukan teknologi pembersihan sebelum pembakaran, yaitu dengan pencucian batubara, yang dikenal sebagai metode aglomerasi. Media aglomerasi yang digunakan adalah campuran air – minyak mentah (*crude oil*).

Sebelum penelitian ini dilakukan telah banyak penelitian lainnya yang menggunakan metode aglomerasi dengan berbagai media yang berlainan. Antara lain minyak sayur (*vegetable oils*) seperti bunga matahari dan kacang kedelai sebagai media aglomerasi batubara digunakan untuk membersihkan batubara Spanish High Rank^[20]. Untuk aglomerasi, air distilasi sebanyak 400 ml dicampur dengan 169 gram batubara dalam blender dan kemudian diaduk pada putaran 11.000 rpm selama 5 menit untuk membuyarkan partikel-partikel. Sejumlah minyak sekitar 5 sampai 40 % dari berat batubara ditambahkan dan diaduk pada kecepatan yang sama selama 60 detik, untuk menghasilkan aglomerat. Kemudian disaring dengan menggunakan air distilasi, difilter, dan dicuci dengan *ethyl ether* untuk mengeliminasi minyak, air cucian, didinginkan semalaman pada suhu 50⁰C, kemudian ditimbang dan dianalisis kadar air, abu dan sulfur piritnya.

Sedangkan G.A. Robbins, et al.^[21], dengan memakai minyak diesel, minyak bakar, dan ketiga jenis minyak lainnya sebagai media aglomerasi untuk mencuci enam jenis batubara di Amerika Serikat. Abu yang dapat dibuang tertinggi 50% untuk lignit, dan 15% samapi 20% untuk Sub-Bituminus.

Alfonso, et al.^[22], memakai colza oil untuk aglomerasi tiga jenis batubara Spanyol. Hasil pembakarannya ternyata menurunkan resiko pembakaran spontan pada penimbunan (*dump*) batubara.

M. Ulum A. Ghani^[23], meneliti kandungan abu dengan proses aglomerasi dengan memakai minyak diesel 5, 10 dan 15 %. Berdasarkan analisis proksimat batubara dari Todongkurah, Sulawesi Selatan, hasilnya tertera pada tabel 2.4.

Tabel 2.4: Analisis Proksimat Batubara Tondongkurah

Parameter	% Berat
Kadar Air	4.90
<i>Volatile Matter</i>	31.15
Abu	8.80
Karbon	53.65

Air, minyak diesel dan fraksi batubara diaduk selama 15 menit. Hasil penelitian M. Ulum A. Ghani ini menunjukkan bahwa abu batubara tersebut menjadi 7.69% untuk ukuran fraksi -60 + 80 mesh dan persen berat minyak diesel sebesar 15 %.

II.3. BRIKET BATUBARA

Briket Batubara adalah bahan bakar padat yang terbuat dari batubara dengan sedikit campuran seperti tanah liat dan tapioka. Tujuan utama pembriketan batubara adalah untuk membuat bahan bakar padat serbaguna dengan kemasan dan komposisi yang lebih baik dan nyaman digunakan jika dibandingkan dengan menggunakan batubara secara langsung. Briket Batubara mampu menggantikan sebagian dari kegunaan minyak tanah seperti untuk : pengolahan makanan, pengeringan, pembakaran dan pemanasan. Bahan baku utama briket batubara adalah batubara yang sumbernya berlimpah di Indonesia dan mempunyai cadangan untuk selama lebih kurang 150 tahun. Teknologi pembuatan briket tidaklah terlalu rumit dan dapat dikembangkan oleh masyarakat maupun pihak swasta dalam waktu singkat. Sebetulnya di Indonesia telah mengembangkan briket batubara sejak tahun 1994 namun tidak dapat berkembang dengan baik mengingat minyak tanah masih disubsidi sehingga harganya masih sangat murah, sehingga masyarakat lebih memilih minyak tanah untuk bahan bakar sehari-hari. Namun dengan kenaikan harga BBM per 1 Oktober 2005, mau tidak mau masyarakat harus berpaling pada bahan bakar alternatif yang lebih murah seperti briket batubara.

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 047 tahun 2006 tentang pedoman pembuatan dan pemanfaatan briket batubara dan bahan padat berbasis batubara terdapat tiga jenis briket batubara yang berbeda-beda komposisinya, yaitu ^[25] :

1. Briket batubara tanpa karbonisasi

Bahan baku utama briket batubara tanpa karbonisasi adalah batubara yang tidak melalui proses karbonisasi. Komposisi campurannya adalah batubara 80% - 95%, bahan pengikat 5% - 20%, bahan imbuhan 0% - 5%.

2. Briket batubara terkarbonisasi

Bahan baku utama briket batubara terkarbonisasi adalah batubara dengan persentase antara 80% - 90%, sisanya 5% - 15% merupakan bahan pengikat dan bahan imbuhan. Bahan imbuhan yang biasa digunakan adalah kapur dengan kadar maksimum 5% yang berfungsi sebagai adsorbant untuk menangkap SO₂.

3. Briket bio-batubara

Bahan baku utama briket bio-batubara terdiri dari : batubara, biomassa, bahan pengikat dan kapur. Komposisi campurannya adalah batubara 50% - 80%, biomassa 10% - 40%, bahan pengikat 5% - 10%, bahan imbuhan (kapur) 05 - 5%.

Produsen terbesar briket batubara di Indonesia saat ini adalah PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero), atau PT. BA yang mempunyai 3 pabrik yaitu di Tanjung Enim Sumatera Selatan, Bandar Lampung dan Gresik Jawa Timur dengan kapasitas terpasang 115.000 ton per tahun. Disamping PT. BA terdapat beberapa perusahaan swasta lain yang memproduksi briket batubara namun jumlahnya jauh lebih kecil dibanding PT. BA dan belum berproduksi secara kontinyu.

Dengan adanya kenaikan BBM khususnya minyak tanah dan solar, tentunya penggunaan briket batubara oleh kalangan rumah tangga maupun industri kecil/menengah akan lebih ekonomis dan menguntungkan, namun demikian kemampuan produksi dari PT. BA. masih sangat kecil, untuk mengatasi kekurangan tersebut diharapkan partisipasi serta keikutsertaan pihak swasta untuk

memproduksi dan mensosialisasikan penggunaan briket batubara disetiap daerah. Beberapa keunggulan penggunaan briket batubara dibandingkan dengan minyak tanah :

- Lebih murah
- Panas yang tinggi dan kontinyu sehingga sangat baik untk pembakaran yang lama
- Tidak beresiko meledak/terbakar
- Tidak mengeluarkan suara bising serta tidak berjelaga
- Sumber batubara berlimpah

Namun demikian briket memiliki keterbatasan yaitu waktu penyalaan awal memakan waktu 5 – 10 menit dan diperlukan sedikit penyiraman minyak tanah sebagai penyalaan awal, briket batubara hanya efisien jika digunakan untuk jangka waktu di atas 2 jam^[26 pt.ba, bppt].

Perbandingan Pemakaian Minyak Tanah dengan Briket ^[xx]

Penggunaan	Minyak Tanah	Briket	Penghematan
Rumah tangga 3 ltr/hari	Rp. 9000/hari	Rp. 5400/hari	Rp. 3600/hari
Warung Makan 10 ltr/hari	Rp. 30.000/hari	Rp. 18.000/hari	Rp. 12.000/hari
Industri Kecil 25 ltr/hari	Rp. 75.000/hari	45.000/hari	Rp. 30.000/hari
Industri Menengah 1000 ltr/hari	Rp. 2.000.000/hari	Rp. 1.502.450/hari	Rp. 497.550/hari

II.4. MINYAK BUMI (*CRUDE OIL*)

II.4.a. Asal Mula Minyak Bumi

Minyak bumi berasal dari formasi batuan yang berumur antara sepuluh juta sampai empat ratus juta tahun, dan sekarang ini telah terbukti bahwa pembentukan minyak bumi berkaitan dengan pengembangan batuan sedimen berbutir halus, yang mengendap di laut atau di dekat laut dan bahwa minyak bumi adalah produk dari binatang dan tumbuh-tumbuhan yang hidup di laut. Walaupun demikian mengenai asal-usul minyak bumi ini telah banyak teori yang diajukan di

antaranya ada yang menganggap bahwa minyak bumi berasal dari bahan anorganik^[27].

Pada tahun 1866, Berthelot mengajukan teori bahwa minyak bumi berasal dari reaksi antara karbid dengan air yang menghasilkan asetilen, yang selanjutnya karena suhu dan tekanan yang tinggi asetilen berubah menjadi minyak bumi. Berthelot menganggap bahwa karbid terjadi karena reaksi antara karbonat dengan logam alkali.



Teori anorganik yang lain, dimana asetilen juga merupakan bahan dasar, diajukan oleh Mendelejeff. Menurut Mendelejeff asetilen terjadi karena reaksi antara logam karbid dengan asam.

Teori anorganik mengenai terjadinya minyak bumi diajukan oleh Engler pada tahun 1911 yang mengatakan bahwa minyak bumi terjadi dari bahan organik melalui tiga tahap. Tahap pertama, deposit binatang dan tumbuh-tumbuhan berkumpul pada dasar laut, yang selanjutnya terurai oleh bakteri. Karbohidrat dan protein yang diubah menjadi bahan yang dapat larut dalam air atau menjadi gas, akan terbawa oleh aliran air atau aliran udara. Sedangkan lemak, malam, dan bahan lain yang stabil (rosin, kolesterol, dll) akan tetap tinggal. Tahap kedua, suhu dan tekanan yang tinggi akan mengakibatkan terbentuknya karbon dioksida dari senyawa yang mengandung gugus karboksil, dan air akan terbentuk dari asam hidroksi dan alkohol dan akan menghasilkan residu bitumen. Panas dan tekanan selanjutnya dapat menyebabkan terjadinya rengkahan, yang menghasilkan cairan yang mempunyai kandungan olefin yang tinggi, yang disebut *protopetroleum*. Pada tahap ketiga, komponen tidak jenuh yang ada dalam *protopetroleum* akan berpolimerisasi karena pengaruh katalis, sehingga poliolefin akan berubah menjadi senyawa hidrokarbon naften dan parafin. Senyawa hidrokarbon aromatis dianggap terbentuk secara langsung pada proses siklisasi melalui reaksi kondensasi. Keberatan dari teori ini ialah bahwa hasil akhir yang diperoleh pada percobaan berbeda dengan komposisi minyak bumi yang terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon parafin, naften dan aromatis.

II.4.b. Komposisi Minyak Bumi

Minyak bumi adalah suatu campuran yang sangat kompleks yang terutama terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa-senyawa organik di mana setiap molekulnya hanya mempunyai unsur karbon dan hidrogen saja. Kandungan senyawa hidrokarbon murni dapat mencapai 97 sampai 98% untuk minyak bumi Pennsylvania, dan dapat hanya 50% saja untuk beberapa minyak berat dari Mexico dan Mississippi. Disamping itu dalam minyak bumi juga terdapat unsur-unsur belerang, nitrogen, oksigen dan logam-logam khususnya vanadium, nikel, besi dan tembaga yang terdapat dalam jumlah yang relatif sedikit yang terikat sebagai senyawa-senyawa organik. Air dan garam hampir selalu terdapat dalam minyak bumi dalam keadaan terdispersi. Bahan-bahan bukan hidrokarbon ini biasanya dianggap sebagai kotoran karena umumnya akan memberikan gangguan pada proses pengolahan minyak bumi dalam kilang minyak dan berpengaruh jelek terhadap mutu produk

Baik senyawa hidrokarbon maupun senyawa bukan hidrokarbon keduanya akan berpengaruh dalam menentukan cara-cara pengolahan yang dilakukan dalam kilang minyak.

• Senyawa Hidrokarbon

- Senyawa hidrokarbon parafin

Senyawa hidrokarbon parafin adalah senyawa hidrokarbon jenuh dengan rumus C_nH_{2n+2} . Senyawa ini mempunyai sifat-sifat kimia stabil pada suhu biasa tidak bereaksi dengan asam sulfat berasap, larutan alkali pekat, asam nitrat maupun oksidator kuat seperti khromat, kecuali senyawa yang mempunyai atom karbon tersier. Bereaksi lambat dengan klor dan brom kalau ada katalis.

Senyawa hidrokarbon parafin sampai dengan empat buah atom karbon, pada suhu kamar dan tekanan atmosfer berupa gas. Metan dan etan terutama gas alam, sedangkan propan, butan dan i-butan merupakan komponen utama elpiji. Senyawa hidrokarbon parafin dengan lima sampai enam belas buah atom karbon pada suhu kamar dan tekanan atmosfer berupa cairan, dan terdapat dalam fraksi nafta, bensin, kerosin, solar, minyak diesel dan

minyak bakar. Senyawa hidrokarbon parafin dengan lebih dari enam belas buah atom karbon, pada suhu kamar dan tekanan atmosfer berupa zat padat, dan terutama terdapat dalam malam parafin.

- Senyawa hidrokarbon naften

Senyawa hidrokarbon naften adalah senyawa hidrokarbon jenuh dengan rumus C_nH_{2n} . Karena senyawa hidrokarbon ini mempunyai sifat kimia seperti senyawa hidrokarbon parafin dan mempunyai struktur molekul siklis, maka senyawa ini disebut juga senyawa sikloparafin. Senyawa hidrokarbon naften yang terdapat dalam minyak bumi ialah siklopentan dan sikloheksan, yang terdapat dalam fraksi nafta dan fraksi minyak bumi dengan titik didih lebih tinggi. Walaupun jumlah atom karbon dalam cincin naften dapat mempunyai harga 3, 4, 5, 6, 7 dan 8, namun umumnya dianggap orang bahwa senyawa naften dalam fraksi minyak bumi hanyalah senyawa naften yang mempunyai cincin dengan 5 dan 6 atom karbon, karena memang senyawa naften inilah yang dapat diisolasi dari fraksi minyak bumi.

- Senyawa hidrokarbon aromatik

Senyawa hidrokarbon aromatik adalah senyawa hidrokarbon tidak jenuh dengan rumus umum C_nH_{2n-6} , sehingga karena senyawa ini mempunyai sifat kimia yang sangat reaktif. Senyawa ini mudah dioksidasi menjadi asam, dapat mengalami reaksi substitusi atau reaksi adisi tergantung pada kondisi reaksi. Hanya sedikit sekali minyak mentah yang mengandung senyawa aromatik dengan titik didih rendah. Minyak mentah dari Sumatera dan Kalimantan ada yang mengandung senyawa aromatik yang tinggi.

Di samping senyawa hidrokarbon aromatik sederhana bensen, dalam minyak mentah juga terdapat senyawa hidrokarbon poliaromatik seperti naftalen dan antrasen, terutama dalam fraksi beratnya.

☞ Senyawa Bukan Hidrokarbon

- Senyawa belerang

Disamping sebagai senyawa belerang, di dalam minyak bumi belerang juga terdapat sebagai unsur belerang terlarut, karena sedikit banyak belerang

dapat larut dalam minyak bumi. Kadar belerang dalam minyak mentah berkisar 0.04% sampai 6%.

Minyak bumi Indonesia terkenal sebagai minyak bumi berkadar belerang rendah sampai sedang yang pada umumnya kandungannya kurang dari 1% berat. Apabila minyak mentah didistilasi, maka belerang akan terdistribusi sedemikian sehingga makin berat fraksinya kandungan belerangnya makin besar, dan kira-kira 95% berat dari belerang berasal dari umpan akan terdapat dalam fraksi minyak gas dan residu.

- Senyawa oksigen

Kadar oksigen dalam minyak bumi bervariasi dari sekitar 0.1 sampai 2 % berat. Oksidasi minyak bumi dengan oksigen karena kontak yang lama dengan udara juga dapat menaikkan kadar oksigen dalam minyak bumi.

Dalam minyak bumi, oksigen terutama terdapat sebagai asam organik yang terdistribusi dalam semua fraksi dengan konsentrasi yang tertinggi pada fraksi minyak gas. Asam organik tersebut terutama terdapat sebagai asam naftenat dan sebagian kecil sebagai asam alifatik. Disamping itu dalam distilat rengkahan dapat terdapat fenol dan kresol. Asam naftenat mempunyai sifat sedikit korosif dan mempunyai bau tidak enak.

- Senyawa nitrogen
- Senyawa logam

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

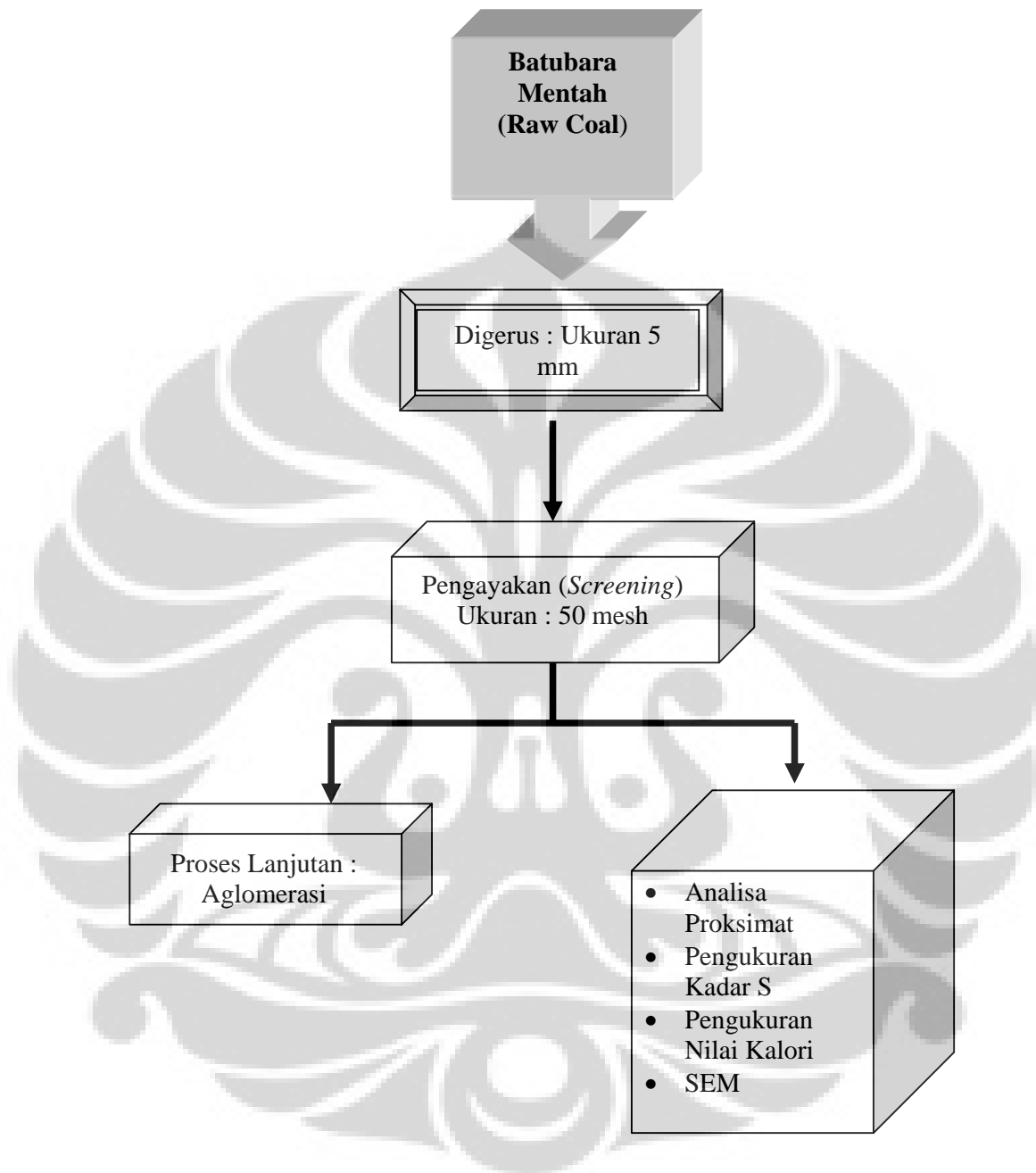
III.1. PREPARASI MATERIAL

III.1.a. Sampel Batubara

Bahan baku material batubara diambil dari penambangan di Kabupaten Muaro Bungo, Jambi. Sampel penelitian ini diambil dari penambangan lapisan (*seam*) A yaitu dari jenis batubara Sub Bituminus. Batubara kemudian dihancurkan dalam ukuran minimal 5 mm dengan menggunakan *Jaw Crusher*.

Batubara yang sudah dihancurkan dengan ukuran minimal 5 mm kemudian digerus dengan ukuran 50 mesh dan dibagi menjadi dua yaitu satu digunakan untuk pengukuran TGA sebelum dilakukan aglomerasi, baik untuk batubara fresh maupun untuk batubara yang telah mengalami oksidasi sedangkan yang satunya lagi siap dipakai untuk diproses lebih lanjut. Lihat gambar 3.1.

Sampel batubara Sub Bituminus dianalisis proksimat untuk mengetahui kadar air, kadar abu, kadar *volatile matter*, kadar karbon tertambat (*fixed carbon*). *Fixed carbon* merupakan sisa dari perhitungan langsung dari pengurangan 100% - kadar air - kadar abu - kadar *volatile matter*.



Gambar 3.1 : Diagram Alir Preparasi Bahan Baku Sampel Batubara

III.1.b. Media Aglomerasi

Minyak yang digunakan sebagai media aglomerasi adalah minyak bumi (*crude oil*) yang diperoleh dari penambangan PT. Pertamina di daerah Bajubang, Jambi. Minyak mentah merupakan cairan kental, coklat gelap, atau kehijauan yang mudah terbakar, yang berada di lapisan atas dari beberapa area di kerak Bumi^[33]. Minyak mentah terdiri dari campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon, sebagian besar seri alkana, tetapi bervariasi dalam penampilan, komposisi, dan kemurniannya.

III.2. PROSEDUR DAN ALAT YANG DIGUNAKAN

III.2.a. Aglomerasi Air-Minyak Bumi

Seiring dengan semakin besarnya peningkatan permintaan energi di Indonesia, maka berbagai teknologi terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi batubara melalui proses pembersihan batubara, diantaranya yang umum digunakan antara lain: *flotation*, *flocculation* dan *oil agglomeration*. Keringkasan operasi dan mineral *beneficiation* dengan tingkat *recovery* yang tinggi, menjadikan *oil agglomeration* sebagai metode alternatif yang lebih baik dibandingkan dengan metode-metode lainnya^[34]. Selain itu *oil agglomeration* memainkan peranan penting dalam mengeliminasi kadar abu dari batubara sehingga dapat meningkatkan kualitas batubara dimana metode lainnya kurang efektif. Lebih jauh lagi, teknik *oil agglomeration* dapat digunakan dengan sangat efisien untuk *ultra fine particle* ($-75\mu\text{m}$)^[22].

Metode *oil agglomeration* merupakan metode pencucian secara Fisika, yaitu dengan cara menambahkan media pemisah yang berupa cairan.. Teknik aglomerasi ini menggunakan perbedaan dari sifat permukaan batubara dan mineral pengotornya untuk meningkatkan kualitas dan *recovery* partikel batubara halus.

Aglomerasi minyak dapat digunakan untuk menghasilkan suatu padatan, produk kental yang digabung dari berbagai ukuran partikel batubara, yang disebut sebagai aglomerat. Tiap aglomerat dapat mengandung *fragment* (bagian-bagian kecil) batubara yang bervariasi pada bentuk ukuran sebesar 2 mm sampai partikel

yang sangat halus dengan ukuran beberapa mikrometer, dan akan memiliki kekuatan melekat yang cukup besar untuk tetap utuh. Metode aglomerasi ini dapat diterapkan karena sifat *lipophilic* (*oil loving*) dan *hydrophobic* (*water hating*) dari permukaan batubara^[22].

Karena partikel-partikel batubara pada dasarnya *hydrophobic*, mereka dapat dibuat menjadi aglomerat dalam bentuk campuran batubara minyak. Pada sisi lain, partikel-partikel mineral yang bersifat *hydrophilic* (yang menjadi sumber kadar abu dan sulfur pada batubara) tidak dipengaruhi dan tetap bertahan dalam air. Karena partikel-partikel aglomerat batubara lebih besar daripada partikel mineral, maka mereka dapat dipisahkan. Dengan adanya minyak saat pencucian, mengakibatkan air bercampur abu tidak akan melekat lagi ke permukaan batubara.

Dalam penelitian ini proses aglomerasi dilakukan dengan menggunakan tabung silinder berdiameter 5 inci dan tinggi 10 inci. Tabung dilengkapi dengan stir pengaduk (agitasi) berbentuk spiral yang dapat diputar pada kecepatan 1450 rpm. Silinder dan stir dibuat dari baja tahan karat (lihat lampiran 1). Di atas tutup tabung dilengkapi dengan motor yang berfungsi menggerakkan stir pengaduk. Partikel batubara dimasukkan ke dalam tabung yang sebelumnya sudah diisi dengan air dengan persentase yang telah ditentukan sebelumnya. Air dan partikel batubara diaduk dengan stir spiral pada putaran mesin 1450 rpm selama 5 menit. Pada akhir menit ke lima, sejumlah minyak mentah dimasukkan ke dalam silinder dan mesin tetap diputar selama dua menit. Putaran stir dihentikan pada akhir menit ketujuh.

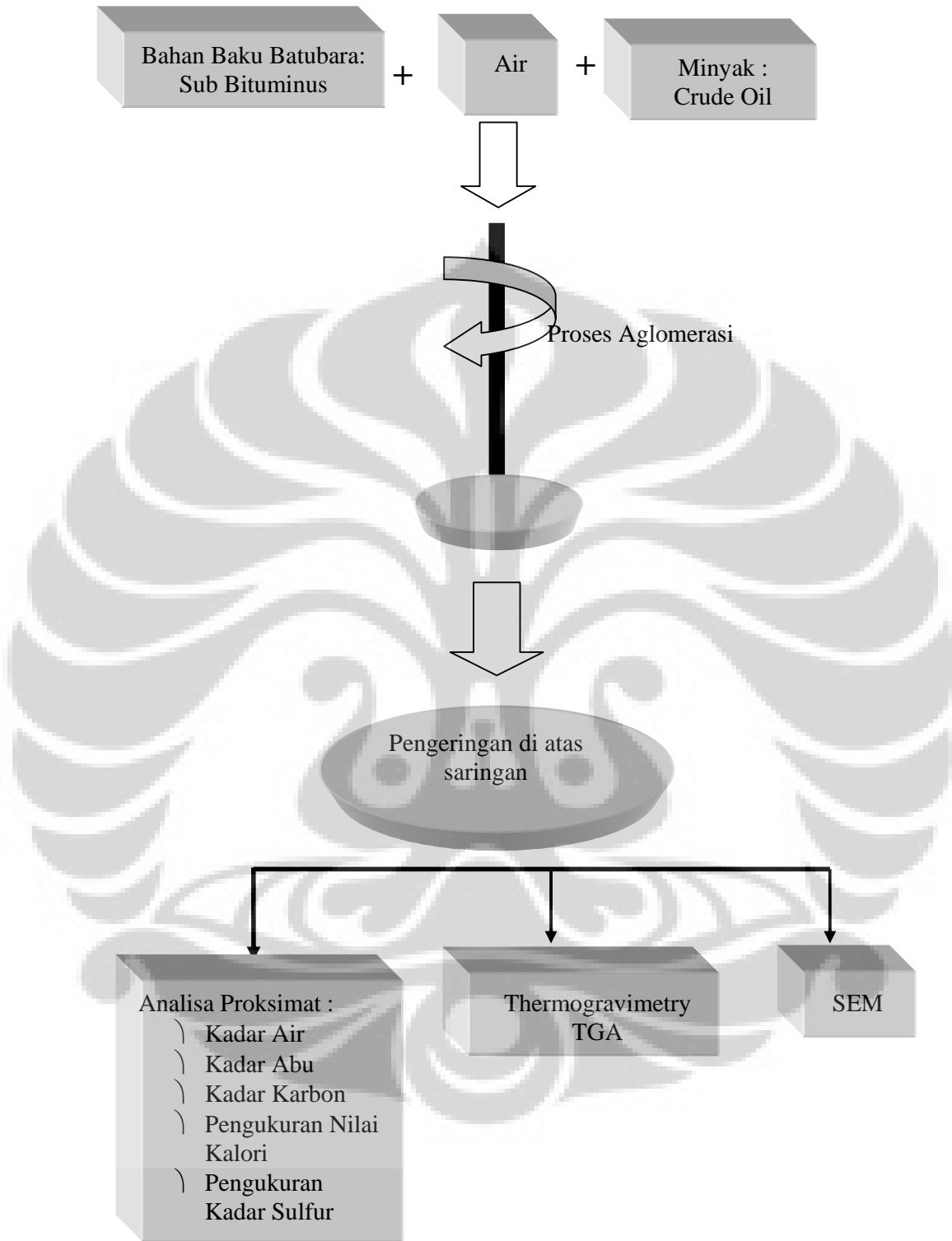
Untuk pengukuran kadar abu, kadar sulfur dan nilai kalori, hasil proses aglomerasi yang merupakan campuran butiran halus batubara, sedikit air dan minyak, dipanaskan pada temperatur 110⁰C selama dua jam, yang tujuannya untuk meminimalisasi kadar air yang merupakan kadar *inherent moisture* (air di dalam pori-pori). Pengukuran dilakukan pada kondisi *air dry basic* (adb). Lihat gambar 3.2.

III.2.b. Analisis Proksimat

Air oven digunakan untuk memanaskan sampel dengan berat 1 gram yang berada di dalam botol gelas timbang. Air oven digunakan untuk mengukur kadar air dengan mengacu kepada ASTM D3173.

Muffle furnace digunakan untuk mengukur kadar abu yang ditimbang seberat 1 gram dalam ash vessel dengan mengacu kepada ASTM D3174. *Furnace* ini juga dipakai untuk mengukur kadar volatile matter yang berat sampelnya 1 gram yang diletakkan dalam *crusible* dengan acuan ASTM D3175.





Gambar 3.2 : Diagram Alir Proses Aglomerasi dan Karakterisasi

a. Nilai Kalori

Pengukuran nilai kalori dilakukan terhadap 1 gram sampel dengan alat *bomb calorimeter* dengan mengacu ASTM D5865.

b. Kadar Sulfur

Kadar sulfur total diukur dengan alat *Bomb Washing*, sampel yang diperlukan seberat 50 gram dan pengukuran ini mengacu pada ASTM D4239.

III.2.c. Alat Ukur Analitik

1. Mikroskop Elektron mode Scanning (SEM) JEOL JSM – 5310 LV

Mikroskop dari Oxford Instruments ini dipakai untuk mengetahui morfologi ikatan antar partikel batubara baik yang belum dicuci maupun sudah dicuci.

2. Alat Uji Titik Nyala Briket (*Ignitation Point*)

Alat uji titik nyala (*ignitation point*) digunakan untuk mengetahui titik nyala produk hasil aglomerasi yang telah dicetak menjadi briket serta untuk mengetahui karakteristik pembakaran briket tersebut.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. DATA-DATA HASIL PENGUKURAN

Setiap sampel akan diberi kode identifikasi :XxPyQz, dengan pengertian :

Xx = jenis batubara (untuk sub bituminus: X = SB) dengan ukuran x mesh (x = 50 mesh);

Py = jumlah padatan batubara (y% relatif terhadap total volume cairan aglomerat, dengan y = 100%, 50%, 10%);

Qz = minyak mentah dalam jumlah z% relatif terhadap total volume cairan (z = 100%, 50%, 10%).

Material utama penyusun batubara, yang merupakan faktor penentu kualitas batubara adalah karbon. Jumlah kandungan karbon di dalam batubara akan menentukan nilai kalori batubara tersebut. Namun di dalam setiap batubara juga terkandung komponen lain seperti air, abu, dan material-material lain yang akan lenyap apabila dibakar (*volatile matter*). Kadar masing-masing komponen dinyatakan sebagai perbandingan berat komponen tersebut terhadap berat batubara. Dengan demikian jumlah kadar air, abu, *volatile matter* (VM) dan karbon di dalam batubara adalah 100%.

Data-data hasil pengukuran terdiri dari analisa proksimat, analisis titik nyala, dan foto SEM.

Hasil analisa proksimat untuk batubara yang belum dicuci terdapat pada tabel 4.1 dan hasil analisa proksimat untuk batubara yang telah mengalami proses pencucian terdapat pada tabel 4.2.

IV.1.a. Analisa Proksimat, Kadar Sulfur dan Nilai Kalori

Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan data hasil pengukuran kadar air, volatile matter dan kadar abu yang diperoleh dari hasil analisa proksimat, serta hasil pengukuran kadar sulfur dan nilai kalori untuk batubara jenis sub bituminus.

Tabel 4.1 : Karakterisasi Batubara Sub Bituminus

No	Jenis	Kadar Air (%)	Volatile Matter (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Sulfur (%)	Fixed Carbon	Nilai Kalori (cal/gr)
1	Sub Bituminus	16,90	37,11	6,39	0,63	39,60	5459

Data-data spesifik minyak mentah (*crude oil*) yang digunakan sebagai media aglomerasi dapat dilihat pada tabel 4.2.

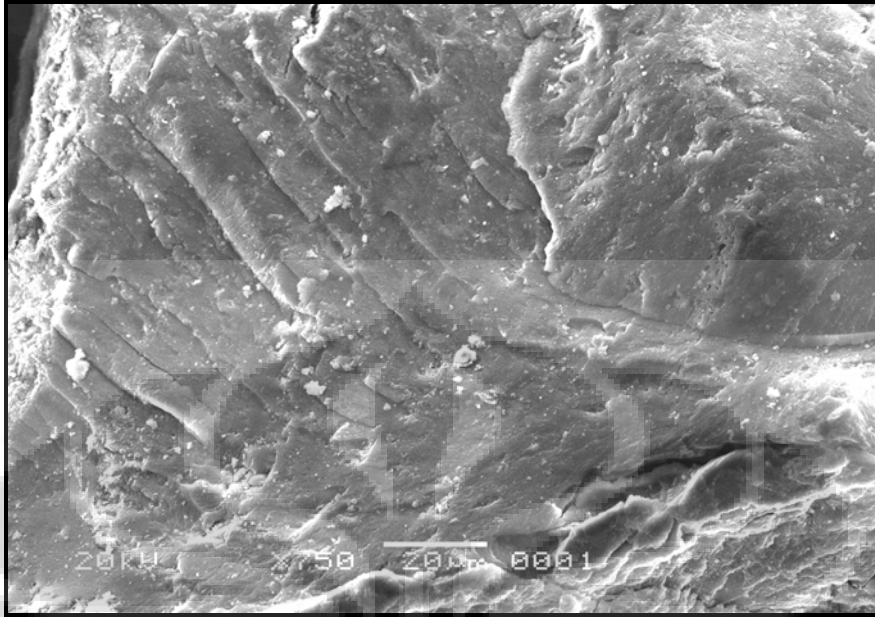
Tabel 4.2: Karakterisasi Minyak Bumi

Sifat Fisika	Nilai
Nilai Kalori	10853 kal/gr
Kadar Sulfur	0.44%
Kadar Karbon	83%
Berat Jenis	0.830 – 0.850

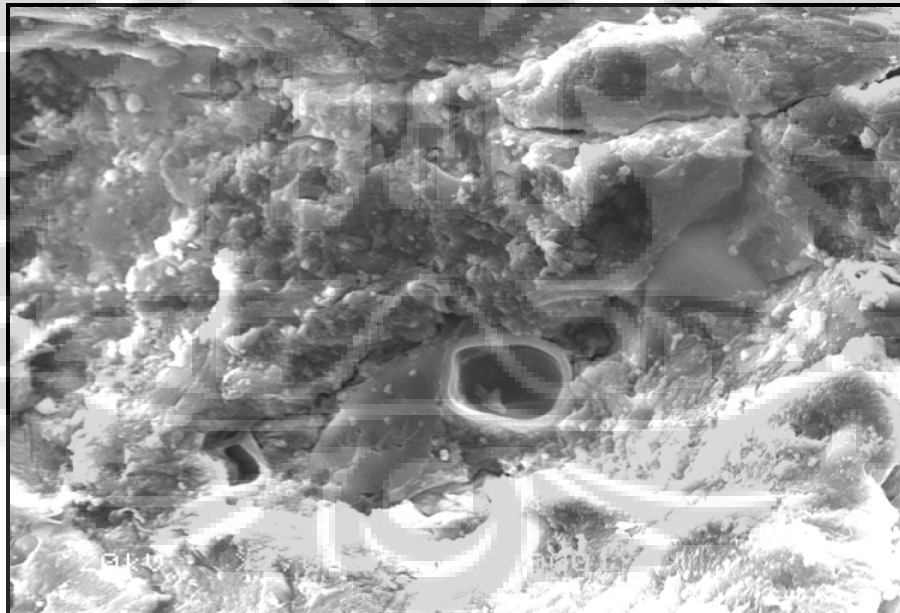
IV.1.b. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Hasil pemeriksaan SEM dari batubara yang belum mengalami proses aglomerasi terdapat pada gambar 4.1.a dan 4.1.b, sedangkan batubara yang telah mengalami proses aglomerasi dapat dilihat pada gambar 4.2.a dan 4.2.b.

Gambar 4.1.a merupakan perbesaran sampel yang belum diaglomerasi dengan perbesaran 750 X. Pada gambar ini terlihat adanya beberapa batas butir, kemudian terlihat pula bentukan berupa lipatan-lipatan. Kemudian pada bentukan tersebut diperbesar 2000x dan setelah mengalami perbesaran baru terlihat adanya beberapa jarak antar butir. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa jarak antar butir dari partikel yang belum diaglomerasi cukup rapat karena belum ada minyak yang melapisi permukaan partikel batubara



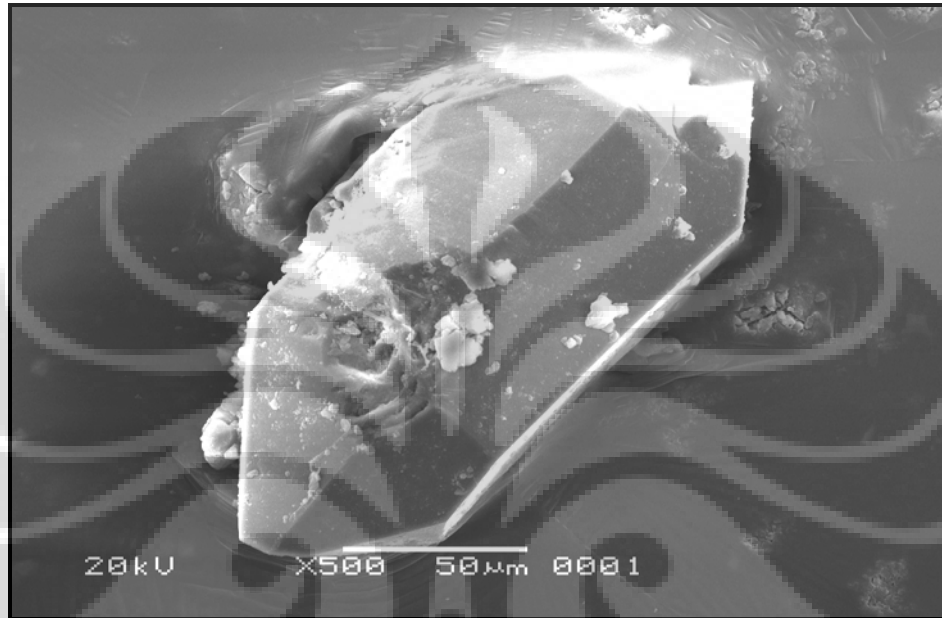
Gambar 4.1.a: Foto mikro sampel batubara Sub-bituminus yang tidak dicuci dengan ukuran perbesaran 750x



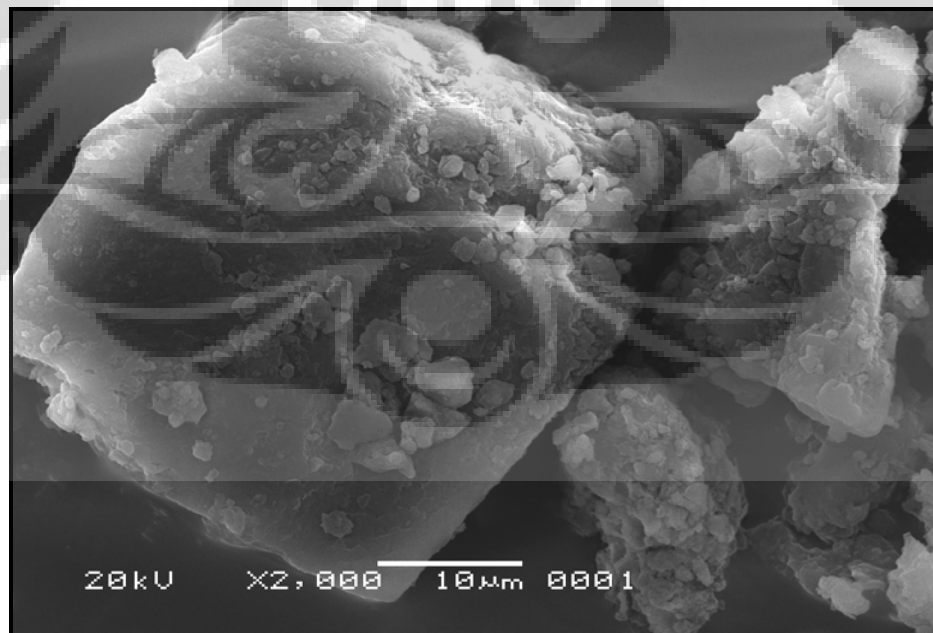
Gambar 4.1.b : Foto mikro sampel batubara Sub-bituminus yang tidak dicuci dengan perbesaran 2000x

Gambar 4.2.a dan 4.a.b merupakan hasil foto mikro sampel SB50P100C50 dengan perbesarn masing-masing 500x dan 2000x. Pada gambar 4.2.a terlihat perbesaran dari satu butiran kecil yang menempel pada butiran yang lebih besar,

dapat dilihat pula bagian gelap berwarna hitam merupakan permukaan butir yang dilapisi oleh minyak bumi yang digunakan dalam proses aglomerasi. Pada perbesaran 2000x (Gambar 4.2.b) batas antar butir kelihatan lebih jelas dan agak renggang, hal ini disebabkan akibat dari prosea aglomerasi minyak bumi mengisi rongga-rongga batas butir tersebut.



Gambar 4.2.b: Foto mikro sampel SB50P100C50 dengan ukuran perbesaran 500x



Gambar 4.2.b: Foto Mikro sampel SB50P100C50 dengan ukuran perbesaran 2000

IV.2. PEMBAHASAN

Partikel batubara dengan berbagai ukuran ditingkatkan efisiensinya dengan menggunakan berbagai teknik yang berbeda-beda sesuai dengan sifat *physico-chemical* dan kandungan *inorganic* material batubara tersebut. Metode konvensional tidak efektif untuk membersihkan batubara dengan ukuran partikel di bawah 0.5 mm. Peningkatan kualitas batubara di Indonesia sangat penting mengingat sebagian besar cadangan batubara yang dimiliki negara ini adalah jenis batubara peringkat rendah (*low rank*), yaitu batubara Sub-bituminus dan Lignit dengan nilai kalori berkisar antara 4000 – 6000 kal/gr.

Metode aglomerasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan benefisiasi atau kualitas batubara peringkat rendah dengan memanfaatkan perbedaan dari sifat permukaan batubara dengan mineral-mineral pengotornya. Keringkasan operasi dan kemampuan untuk meningkatkan kualitas batubara dengan cara mengurangi kadar abu dan meningkatkan nilai kalori secara signifikan menjadikan metode *oil agglomeration* sebagai metode alternatif yang lebih baik dibandingkan metode-metode lainnya^[22].

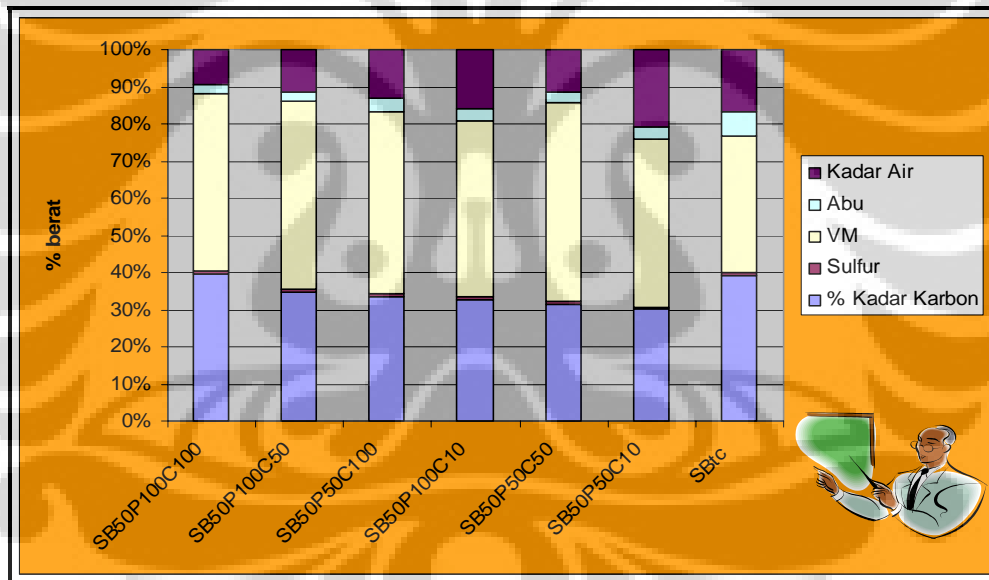
Dalam penelitian kali ini digunakan metode aglomerasi air – minyak bumi (*crude oil*) untuk mengamati pengaruh aglomerasi terhadap peningkatan nilai kalori dan penurunan kadar abu batubara Sub-bituminus yang berasal dari penambangan pada lapisan (*seam*) A di daerah Muaro Bungo, propinsi Jambi.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa metode aglomerasi air – minyak bumi tidak efektif untuk menurunkan kadar sulfur yang terikat secara anorganik dengan partikel batubara. Oleh karena itu pembahasan terhadap hasil penelitian akan difokuskan pada beberapa poin penting yaitu pengaruh metode aglomerasi air – minyak bumi terhadap :

1. Nilai Kalori
2. Persentase Kadar Karbon
3. Persentase Kadar Abu

IV.2.a. Pengaruh Kadar Karbon terhadap Nilai Kalori

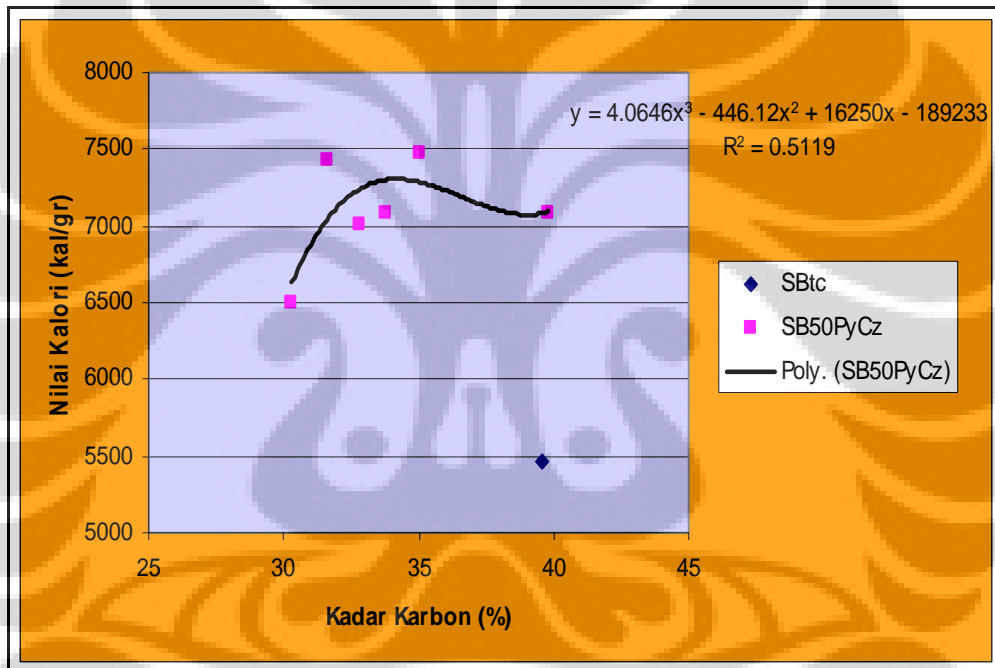
Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh dari proses aglomerasi terhadap kualitas batubara Sub-bituminus, yaitu terhadap kadar karbon, sulfur, *volatile matter*, abu dan kadar air batubara. Secara umum terlihat bahwa kadar karbon menurun setelah sampel mengalami proses aglomerasi dengan media air – minyak bumi (*crude oil*). Tetapi turunnya kadar karbon akibat proses aglomerasi ini tidak menyebabkan nilai kalori batubara menurun, melainkan justru mengalami peningkatan. Tendensi peningkatan nilai kalori masing-masing sampel batubara tidak sama. Selain kadar karbon, perubahan juga terjadi pada kadar abu, air, dan *volatile matter*, terkecuali pada kadar sulfur. Pada gambar 4.3 terlihat bahwa kadar sulfur masing-masing sampel setelah mengalami proses aglomerasi cenderung tidak mengalami perubahan, namun persentase kadar sulfur ini masih bisa ditolerir karena berada di bawah 1%.



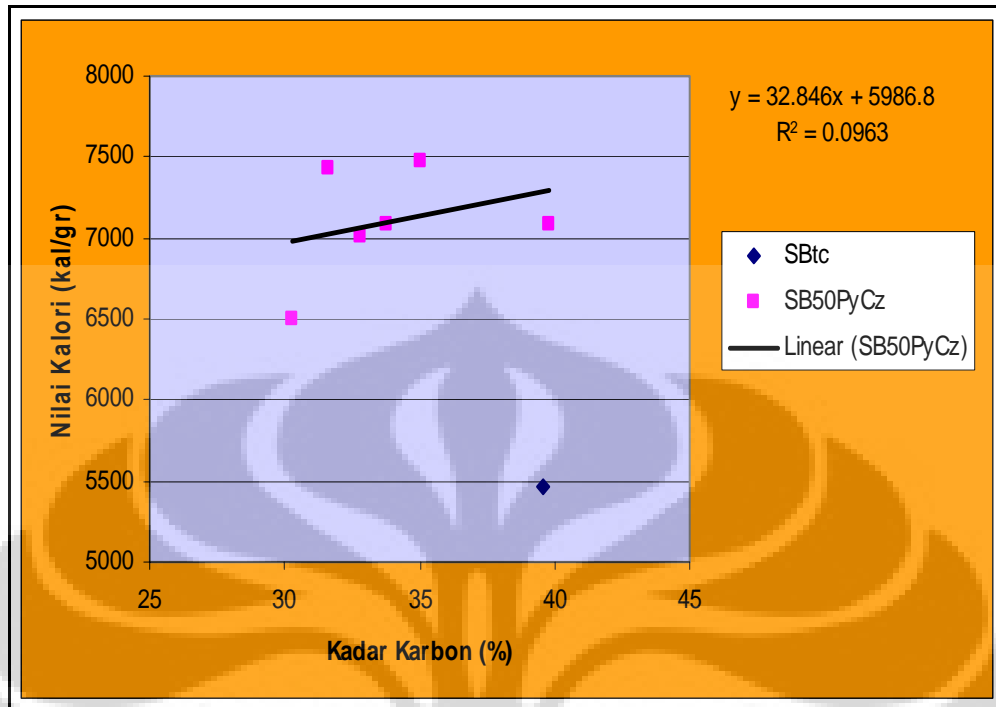
Gambar 4.3 : Perbandingan kadar air, abu, volatile matter, sulfur dan karbon pada batubara Sub Bituminus sebelum (SBtc) dan sesudah (SBxPyCz) mengalami proses aglomerasi pada ukuran partikel 50 mesh

Untuk melihat bagaimana kaitan antara kadar karbon yang dimiliki sampel dengan nilai kalorinya, peneliti berusaha mencari kecenderungan (trend) dari grafik kadar karbon terhadap nilai kalori batubara sesudah mengalami proses aglomerasi.

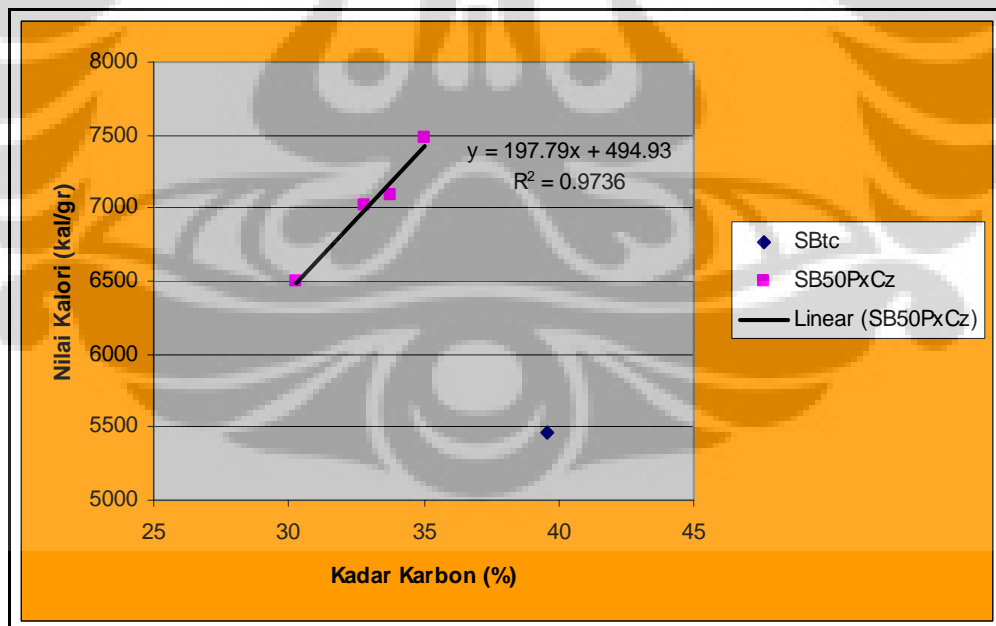
Terlihat pada gambar 4.4.a trend grafik berupa polynomial dengan orde 3 menghasilkan kesalahan pengukuran yang cukup besar dengan nilai $R^2 = 0.5119$. Kemudian jika trend grafik antara kadar karbon dan nilai kalori berupa linear maka didapat tingkat kesalahan pengukuran yang sangat tinggi dengan nilai $R^2 = 0.09$ (gambar 4.4.b). Agar dapat dianalisa secara kuantitatif maka peneliti tidak menyertakan dua buah sampel yang dianggap memberikan kontribusi terhadap terjadinya penyimpangan pengukuran, yaitu sampel SB50P50C50 dan SB50P100C100, meskipun secara kualitatif kedua sampel ini cukup baik karena nilai kalori dari kedua sampel ini tetap mengalami peningkatan.



Gambar 4.4.a : Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe polynomial orde 3



Gambar 4.4.b : Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe regresi linear

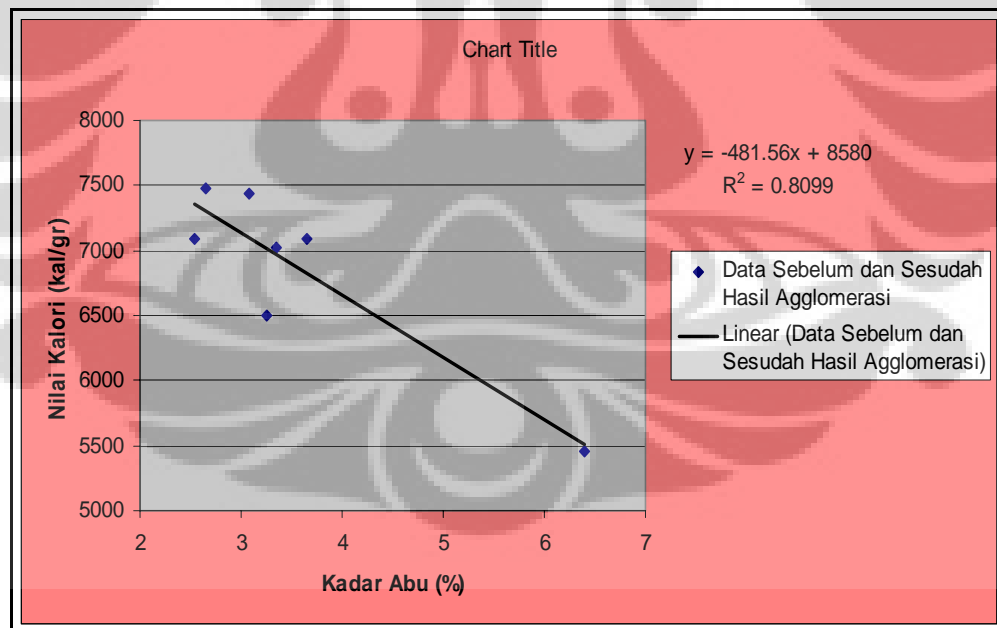


Gambar 4.4.c : Trend grafik kadar karbon terhadap nilai kalori setelah mengalami proses aglomerasi, tipe regresi linear untuk sampel SB50P50C10, SB50P50C100, SB50P100C10, SB50P100C50

Gambar 4.4.c menunjukkan hubungan linearitas antara kadar karbon dan nilai kalori sebelum dan sesudah mengalami proses aglomerasi. Makin tinggi kadar karbonnya makin tinggi pula nilai kalori yang dihasilkan. Nilai kalori dan kadar karbon tertinggi dicapai oleh sampel SB50P100C50, dengan nilai kalori meningkat dari 5459 kal/gr menjadi 7499 kal/gr atau naik sekitar 37.37% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi, dengan kadar karbon sampel setelah diaglomerasi adalah sebesar 35.03%. Sementara peningkatan nilai kalori terendah terjadi pada sampel SB50P50C10, yaitu naik dari 5459 kal/gr sebelum diaglomerasi menjadi 6499 kal/gr setelah mengalami proses aglomerasi atau naik sekitar 19.05% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi dengan kadar karbon sebesar 3.25%.

Ditinjau dari kadar karbon dan nilai kalorinya maka hasil aglomerasi optimum terjadi pada sampel SB50P100C50.

IV.2.b. Pengaruh Persentase Kadar Abu terhadap Nilai Kalori

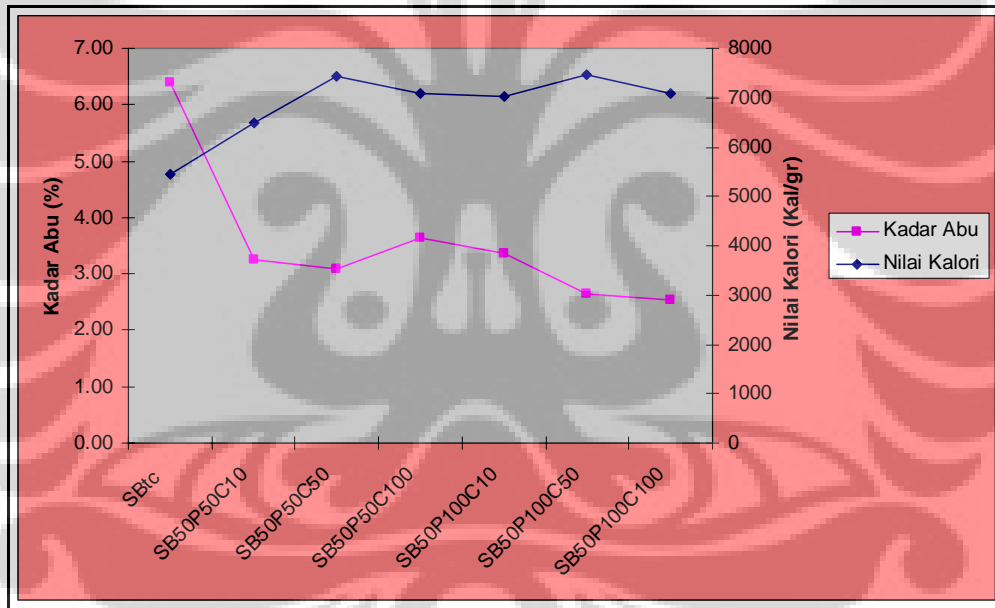


Gambar 4.5 : Grafik kadar abu terhadap nilai kalori batubara Sub Bituminus sebelum dan sesudah proses aglomerasi

Abu (*ash*) dan kadar air (*inherent moisture*) merupakan material yang tidak terbakar (*incombustible material*) atau merupakan bagian yang inert dari batubara. Karena keberadaannya tidak menguntungkan maka abu (*ash*) ini harus dikurangi persentasenya di dalam batubara.

Untuk melihat pengaruh aglomerasi terhadap kadar abu dan nilai kalorinya dibuatlah grafik yang terdapat pada gambar 4.5.. Dari sebaran data pada gambar 4.5 kita dapat melihat pengaruh aglomerasi air – minyak bumi terhadap penurunan kadar abu dan peningkatan nilai kalori batubara. Dari gambar di atas terlihat bahwa kadar abu sampel hasil aglomerasi menurun relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi. Penurunan kadar abu ini diikuti oleh kenaikan nilai kalori masing-masing sampel.

Pengaruh Persen Padatan



Gambar 4.6.a : Grafik kadar abu terhadap nilai kalori pada padatan 10% dan 20% dari batubara Sub Bituminus sebelum dan sesudah mengalami proses aglomerasi

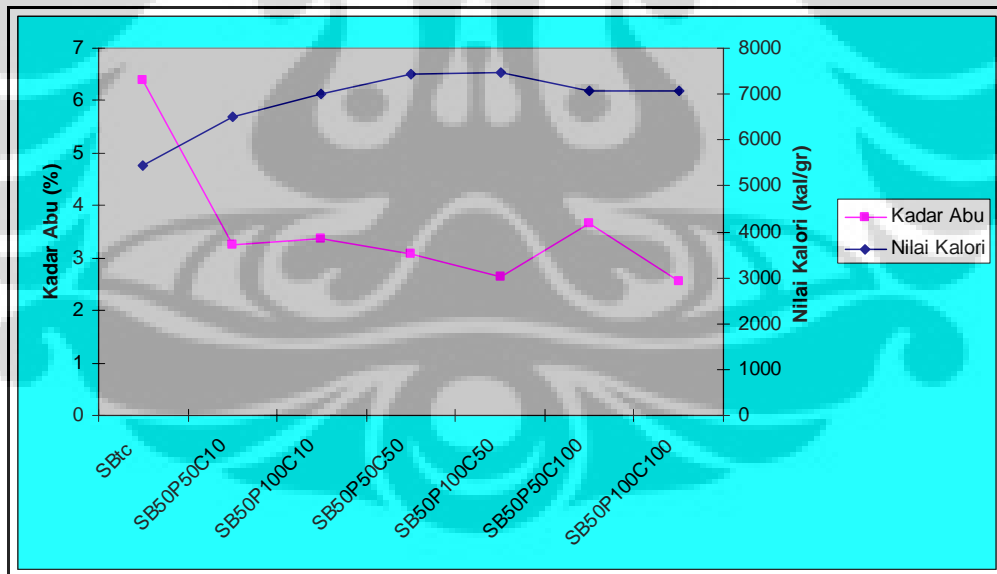
Gambar 4.6.a memperlihatkan pengaruh persen padatan terhadap peningkatan nilai kalori dan penurunan kadar abu dalam proses aglomerasi air – minyak bumi (*crude oil*). Dari gambar di atas terlihat bahwa penurunan kadar abu terbesar dan peningkatan nilai kalori maksimum terjadi pada sampel-sampel dengan persentase padatan 20%. Penurunan kadar abu maksimum terjadi pada

sampel dengan kode SB50P100C100, dimana kadar abu turun dari 6.39% sebelum diaglomerasi menjadi 2.55% setelah proses aglomerasi atau turun sebesar 60.09% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi. Nilai kalori pada sampel ini juga mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 5459 kal/gr sebelum diaglomerasi menjadi 7086 kal/gr setelah mengalami proses aglomerasi atau naik sekitar 29.80%.

Untuk padatan 10%, penurunan kadar abu maksimum terjadi pada sampel dengan kode SB50P50C50, dimana kadar abu turun dari 6.39% menjadi 3.08% setelah mengalami proses aglomerasi atau turun sebesar 51.88% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi. Nilai kalori pada sampel ini juga mengalami peningkatan, yaitu dari 5459 kal/gr menjadi 7435 kal/gr setelah mengalami proses aglomerasi atau naik sekitar 36.19% relatif terhadap sampel sebelum mengalami proses aglomerasi.

Melihat dari kedua kondisi padatan ini, maka padatan 20% memberikan nilai kalori yang terbesar dibandingkan dengan padatan 10%.

Pengaruh Persentase Minyak



Gambar 4.6.b : Grafik kadar abu terhadap nilai kalori pada padatan 10% dan 20% dari batubara Sub Bituminus dengan persentase minyak bumi 10%, 50% dan 100%

Gambar 4.6.b di atas menunjukkan bahwa nilai kalori tertinggi terjadi pada sampel-sampel yang diaglomerasi dengan persentase minyak 50%. Hal ini sangat menarik untuk dikaji lebih jauh karena sebelumnya peneliti berhipotesa bahwa semakin besar persentase minyak yang digunakan, semakin besar pula terjadi peningkatan nilai kalori batubara. Fakta dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan minyak bumi yang maksimum (100%) tidak menghasilkan nilai kalori tertinggi. Nilai kalori tertinggi terjadi pada sampel dengan kode SB50P100C50 dimana nilai kalori meningkat dari 5459 kal/gr sebelum mengalami proses aglomerasi menjadi 7478 kal/gr atau meningkat sekitar 36.98% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi. Kadar abu pada sampel ini menurun sebesar 58.37% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi atau turun dari 6.39% menjadi 2.66% setelah mengalami proses aglomerasi.

Tujuan utama dari dilakukannya proses aglomerasi ini adalah untuk mengoptimalkan semua parameter dengan cara yang paling memungkinkan. Dari pemaparan di atas dapat dibuat tabel yang menyatakan hasil-hasil terbaik (optimum), yaitu sampel-sampel yang memiliki nilai kalori tinggi dan kadar abu rendah dari proses aglomerasi, sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil Aglomerasi Terbaik

Kode Sampel	Variabel		Kadar Abu (%)	Nilai Kalori (kal/gr)
	% Padatan	% Minyak Bumi		
SB50P100C50	20	50	2.66	7478
S50P100C100	20	100	2.55	7087

Padatan 10% dinilai tidak efektif dalam proses aglomerasi ini, hal ini disebabkan jumlah padatan yang terlalu kecil menyebabkan banyaknya pertikel batubara yang terdispersi dalam surplus total cairan aglomerat, sehingga hal ini tentu saja akan merugikan bila ditinjau dari segi ekonomis.

IV.2.c. Karakteristik Pembakaran Briket

Tujuan utama pembriketan batu bara adalah untuk membuat bahan bakar padat serbaguna dari batu bara dengan kemasan dan komposisi yang lebih baik agar mudah dan nyaman digunakan jika dibandingkan dengan menggunakan batu bara secara langsung. Untuk memperoleh briket batu bara yang baik diperlukan batu bara yang “baik”, terutama yang memiliki kandungan sulfur dan abu rendah. Bahan binder (pengikat) juga harus dipilih dari kualitas yang baik agar dapat berfungsi optimal sebagai perekat, mempercepat nyala, serta menyerap emisi dan zat-zat berbahaya lainnya. Batu bara dan bahan binder (pengikat) ini dihaluskan secara sendiri-sendiri sampai ukuran tertentu, dicampurkan dengan memakai pencampur (*mixer*) mekanis, untuk kemudian “dicetak” (dibriket) ke dalam bentuk kemasan tertentu^[24].

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 047 tahun 2006 tentang pedoman dan pemanfaatan briket batubara dan bahan bakar padat berbasis batubara, maka ditentukanlah standar kualitas batubara sebagai bahan baku briket batubara dan bahan bakar padat berbasis batubara seperti yang terdapat pada tabel 4.2 serta standar kualitas briket batubara seperti yang terdapat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

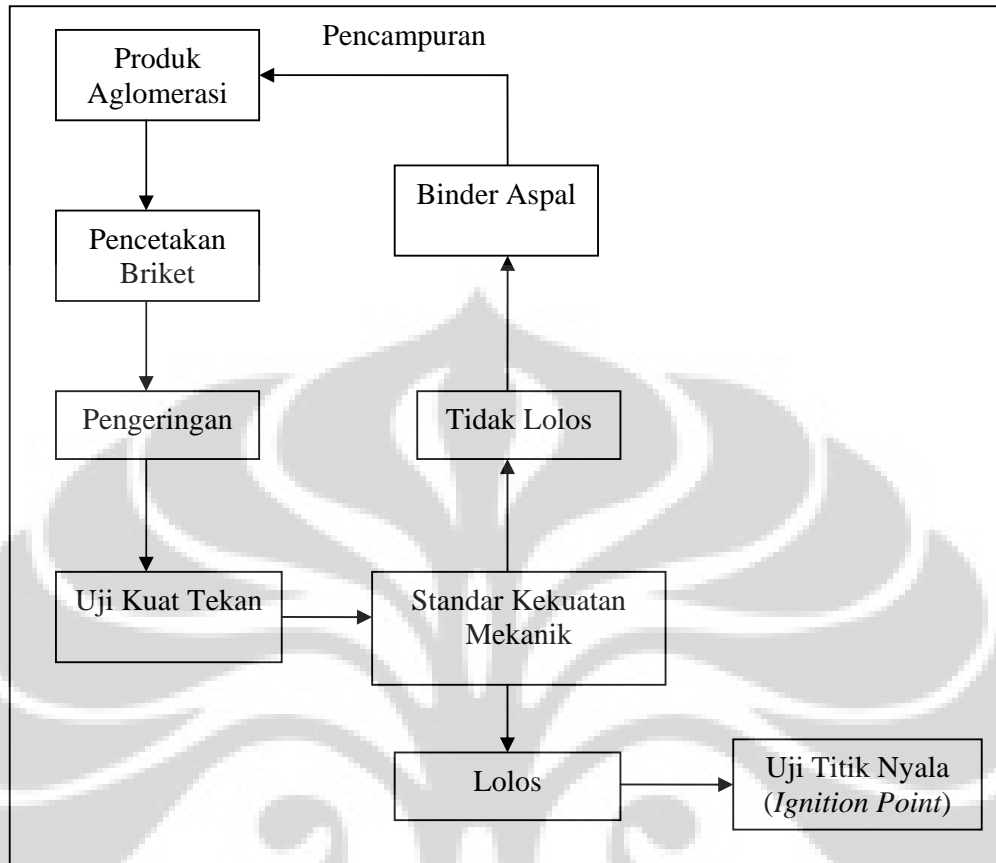
Tabel 4.4 Standar kualitas batubara sebagai bahan baku briket batubara dan bahan bakar padat berbasis batubara^[25]

No	Jenis Briket Batubara/Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara	Abu % (adb)	Nilai Kalor % (adb)	Total Sulfur % (adb)	Keterangan
1	Briket Batubara Tanpa Karbonisasi dan Briket Bio-Batubara	< 10	Min 5100	Maks 1	Penambahan bahan pengikat akan menaikkan kadar abu dan menurunkan nilai kalori
2	Briket Batubara Terkarbonisasi dan <i>Light Coal</i>	< 5	Min 3500	Maks 1	Karbonisasi akan menaikkan nilai kalori dan kadar abu

Tabel 4.5 : Standar Kualitas Briket Batubara^[25]

No	Jenis Briket Batubara	Air Lembab %	Zat Terbang % (adb)	Nilai Kalori kkal/kg (adb)	Total Sulfur % (adb)	Beban Pecah Kg/cm ²
1	Briket Batubara Terkarbonisasi Jenis Batubara Muda	Maks 20	Maks 15	Min 4000	Maks 1	Min 60
2	Briket Batubara Terkarbonisasi Jenis Batubara bukan batubara muda	Maks 7.5	Maks 15	Min 5500	Maks 1	Min 60
3	Briket Batubara Tanpa karbonisasi Tipe Telur	Maks 12	Sesuai dengan batubara asal	Min 4400	Maks 1	Min 65
4	Briket Batubara Tanpa Terkarbonisasi	Maks 12	Sesuai dengan batubara asal	Min 4400	Maks	Min 10
5	Briket Bio-Batubara	Maks 15	Sesuai dengan batubara asal	Min 4400	Maks 1	Min 65

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa partikel batubara hasil aglomerasi dari sampel SB50P100C50 memenuhi syarat sebagai bahan baku briket batubara. Proses pembuatan briket batubara dari hasil aglomerasi dapat dilihat pada gambar 4.7 .



Gambar 4.7 : Bagan alir proses pembuatan briket batubara hasil aglomerasi

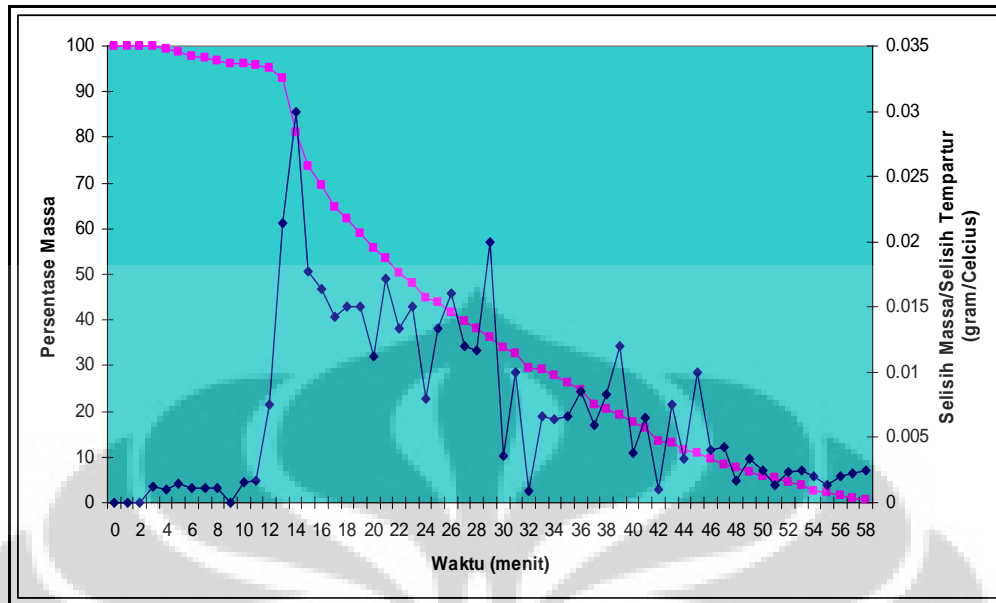
Dari gambar 4.7 terlihat bahwa pembuatan briket diawali dengan proses pengeringan batubara yang telah diaglomerasi. Kemudian produk aglomerat yang telah kering ditekan dalam mesin pres sehingga didapatkan keluaran berupa briket berbentuk silindris. Untuk mengetahui kekuatannya, briket yang telah dicetak kemudian di uji tekan dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM). Hasil pengamatan diperoleh dengan binder 0% uji tekan sebesar 2.5kg/cm^2 . Nilai ini masih terlalu kecil dan tidak memenuhi standar uji tekan untuk briket tanpa karbonisasi. Oleh karena itu selanjutnya peneliti menggunakan binder untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Binder yang dipilih adalah aspal dengan alasan bahwa aspal merupakan hasil destilasi akhir dari minyak bumi sehingga memiliki karakteristik kimia yang hampir sama dengan minyak bumi dan batubara. Persentase aspal yang ditambahkan sebagai bahan pengikat adalah

10% dan 15% dari total berat briket yang akan dicetak. Dari kedua persentase aspal ini didapatkan hasil uji tekan briket berturut-turut 6.35 kg/cm² dan 9.8 kg/cm². Terlihat bahwa briket yang dicetak dengan menggunakan binder aspal sebesar 15% nilai uji tekan mendekati standar minimal yang ditentukan untuk briket batubara tanpa karbonisasi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Ringkasan dari hasil uji tekan terhadap sampel SB50P100C50 dapat dilihat pada tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4: Hasil Uji Tekan Briket dengan Berbagai Variasi Persentase Binder Aspal

No	Kode Sampel	Persentase Binder (%)	Uji Tekan (Kg/cm ²)
1	SB50P100C50	0	2.5
2		10	6.35
3		15	9.8

Untuk mengetahui karakteristik pembakarannya, briket yang telah dicetak dan dikeringkan kemudian diuji dengan menggunakan pengujian titik nyala. Dalam pengujian titik nyala briket tipe silinder dengan diameter 1.1 cm, tinggi 3.2 cm dan berat 3.78 gram dimasukkan ke dalam tabung pembakaran. Temperatur awal ruang bakar diukur dan kenaikan temperatur setiap menit pembakaran dicatat, selain itu kondisi briket yang telah berada di ruang pembakaran juga diamati agar dapat melihat pada temperatur berapa mulai timbul asap dan nyala. Gambar 4.8 di bawah menunjukkan data hasil pembakaran briket.



Gambar 4.8 : Grafik Profil pembakaran Briket dengan Komposisi 85% Batubara, 10% Aspal dan Tekanan 3 ton/cm²

Gambar 4.8 memperlihatkan kinerja pembakaran briket dengan persentase aspal 15%. Pada awal proses pembakaran persen kehilangan berat yang terjadi tidak terlalu besar hal ini disebabkan terjadinya penguapan air yang terjadi pada briket tersebut. Penguapan air ini terjadi pada menit awal dengan temperatur ruang bakar 25⁰C sampai menit kesebelas dengan temperatur ruang bakar 207⁰C, sedangkan persen kehilangan berat menurun drastis sebesar 11.90% pada menit ke tiga belas yang merupakan nyala awal yang disebut titik nyala, titik nyala tersebut terjadi pada suhu ruang bakar 231⁰C. Pada periode ini telah terjadi devolatilisasi yaitu proses pembakaran zat terbang (*volatile matter*) dan karbon.

Pada Gambar 4.8 di atas terlihat bahwa kecepatan pembakaran briket ini berlangsung antara menit ke-13 sampai menit ke-48 yang merupakan periode devolatilisasi dengan temperatur tertinggi dicapai pada suhu ruangan antara 219⁰C – 537⁰C. Nilai yang terkonversi pada akhir pembakaran adalah sebesar 92.33%.

Pada proses akhir pembakaran ini, penurunan berat relatif konstan yang disebabkan *volatile matter* sudah tidak ada sehingga kecepatan pembakaran pada karbon menjadi lambat. Abu yang tersisa dari pembakaran briket ini sebesar 0.15 gram. Berat abu yang tersisa dari hasil pembakaran briket melalui uji titik nyala

ini lebih besar dibandingkan dengan kadar abu yang terdapat pada sampel SB50P100C50 yang dijadikan bahan baku utama pembuatan briket yaitu sebesar 2.66% dari berat sampel atau sekitar 0.0266 gram. Penambahan kadar abu sebagai sisa pembakaran briket disebabkan oleh penggunaan binder aspal dalam proses pencetakan briket.

IV.2.d.Optimasi untuk Aglomerat yang Berkadar Abu dan Bernilai Kalori yang Tinggi dan Harga Terendah

Berdasarkan nilai kadar abu terendah dan nilai kalori tertinggi dari sampel hasil aglomerasi, serta memperhitungkan harga minyak bumi dan batubara maka dipilih beberapa aglomerat yang memenuhi dapat memenuhi persyaratan tersebut.

Harga bahan dasar yaitu batubara dan minyak bumi adalah :

a. Batubara

Dengan nilai kalori 5000 s/d 6500 kkal/kg = Rp130/kg atau Rp 0,13/gram

Nilai Kalori 6000 s/d 7500 kkal/kg = Rp 230/kg atau Rp 0,23/gram

Nilai Kalori 7500 s/d lebih 8000 kkal/kg = RP 400/kg atau Rp 0,40/gram

b. Minyak Bumi

Minyak bumi (*Crude Oil*) : Rp 5.381/liter = Rp 5,4 /ml

Dengan memperhitungkan banyaknya batubara dan minyak bumi yang digunakan maka dapat diperhitungkan harga aglomerat batubara tanpa memperhitungkan biaya operasional, dsbnya.

Dengan berdasarkan perhitungan tersebut maka, dapat diperhitungkan harga kalori per rupiah bahan baku yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4. Dari tabel ini terlihat bahwa untuk tiap sampel dipilih dengan pertimbangan rendahnya kadar abu dan nilai kalori yang tinggi serta harga kalori per harga dasar batubara dan minyak bumi.

Tabel 4.5: Perbandingan Dasar untuk Batubara yang dicuci dan yang tidak dicuci dan Briket buatan Pabrik serta Minyak Tanah

PERBANDINGAN DASAR					
NO	Kode	Ash	Nilai Kalori	Harga	Rasio
		(%)	(kkal/kg)	(Rp)	(kkal/rupiah)
1	SBtc	6.39	5459	130	42.00
2	SB50P100C50	2.66	7478	269	27,79
3	SB50P100C100	2.55	7086	363	19,52
4	Briket Super	8.28	5317	500	10.63
5	Minyak Tanah		8800	3000	2.93

Perlu diperhatikan bahwa, ternyata harga kalori batubara jauh lebih murah daripada minyak tanah. Dengan nilai rupiah yang sama, dapat diperoleh nilai kalori pada briket super (briket yang sudah dijual di pasaran) lebih dari tiga kali lipat dibandingkan dengan minyak tanah (10,63 dibanding 2,93). Sedangkan harga kalori briket super masih sekitar dua kali lebih mahal bila dibandingkan dengan harga kalori batubara jenis yang sama (Sub-bituminus) setelah mengalami proses aglomerasi dengan minyak bumi (SB50P100C50 dengan perbandingan harga 10,63 banding 27,79). Dengan demikian harga kalori SB50P100C50 adalah sekitar 11% lebih murah bila dibandingkan daripada minyak tanah (27.79 banding 2.93).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Dari pembahasan pada bab terdahulu dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Minyak bumi (*crude oil*) dapat dipakai sebagai media untuk meningkatkan nilai kalori dan menurunkan kadar abu pada batubara jenis Sub Bituminus dari penambangan lapisan A (*seam A*) di daerah Kabupaten Muaro Bungo Propinsi Jambi, tetapi media ini tidak efektif untuk menurunkan kadar sulfur yang terdapat pada partikel batubara tersebut.

Pada pengamatan hubungan antara kadar karbon dan nilai kalori, dari hasil penelitian didapatkan bahwa terdapat hubungan linearitas antara kadar karbon dan nilai kalori, artinya semakin tinggi kadar karbon maka semakin tinggi pula nilai kalori batubara.

Peningkatan nilai kalori batubara akibat proses aglomerasi cukup baik. Nilai kalori batubara Sub-bituminus dapat ditingkatkan dari 5459 kal/gr menjadi 7499 kal/gr atau naik sekitar 37.37% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi.

Penurunan kadar abu pada batubara Sub-bituminus diikuti dengan kenaikan nilai kalori masing-masing sampel. Penurunan kadar abu maksimum terjadi pada sampel dengan kode SB50P100C100, dimana kadar abu dapat diturunkan sampai 60.09% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi, sementara nilai kalori tertinggi terjadi pada sampel SB50P100C50, dengan nilai kalori meningkat sebesar 37.37% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi, sementara kadar abu turun 58.37% relatif terhadap batubara sebelum mengalami proses aglomerasi.

Hasil aglomerasi terbaik terdapat pada sampel SB50P100C50 dengan persentase padatan 20% dan kadar minyak aglomerasi 50%, komposisi ini menghasilkan peningkatan nilai kalori yang optimum.

Sampel dengan nilai kalori tertinggi dibuat briket agar praktis untuk dimanfaatkan baik untuk keperluan industri maupun keperluan rumah tangga. Tetapi dalam proses pencetakannya briket dengan bahan baku partikel batubara yang telah mengalami proses aglomerasi ini tetap membutuhkan bahan pengikat (*binder*) agar briket yang dihasilkan tidak mudah pecah. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa briket yang dicetak dengan persentase binder 15% menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan persentase binder 10%. Kecepatan pembakaran briket ini berlangsung antara menit ke-13 sampai menit ke-48 yang merupakan periode devolatilisasi dengan temperatur tertinggi dicapai pada suhu ruangan antara 219°C – 537°C . Nilai yang terkonversi pada akhir pembakaran adalah sebesar 92.33%.

V.2. Saran

Hasil pencucian batubara dengan metode aglomerasi air – minyak bumi belum dapat dijadikan briket dengan kualitas yang baik (ditinjau dari analisa kuat tekan), untuk itu disarankan adanya penelitian lanjutan tentang pencetakan briket dari hasil aglomerasi air – minyak bumi dengan memperhitungkan metode yang baik untuk mencampur bahan baku partikel batubara dengan bahan pengikat (*binder*) agar betul-betul homogen, sehingga didapatkan briket dengan nilai kuat tekan yang memenuhi standar briket yang baik.

Dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan karakterisasi minyak bumi yang akan digunakan sebagai cairan aglomerat terutama densitas dari minyak bumi tersebut, sehingga diharapkan dengan diketahuinya densitas akan diketahui pula apakah minyak bumi tersebut tergolong jenis minyak bumi ringan atau minyak bumi berat agar dapat dihasilkan proses aglomerasi dan pencetakan briket yang lebih optimum lagi.

Penelitian lebih lanjut juga perlu dilakukan dengan menggunakan minyak residu hasil pengilangan minyak bumi agar dapat dibandingkan hasilnya dengan hasil yang diperoleh dari proses aglomerasi air-minyak bumi.

DAFTAR ACUAN

- [1] Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, "Kamus Pertambangan dan Istilah Terkait", Bandung, (2005), halaman 28.
- [2] Sukandarmidi, "Batubara dan Pemanfaatannya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (2006), halaman 7.
- [3] Djoko Sulaksono, "Teknologi Batubara Bersih di Indonesia", Prosiding Konferensi Energi, Sumber Daya Alam dan Lingkungan, BPP Teknologi, Jakarta, (1997), halaman 1.
- [4] Sukandarmidi, "Batubara dan Pemanfaatannya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (2006), halaman 50.
- [5] James G. Speight, "*The Chemistry and Technology of Coal*", Marcel Dekker, Inc. New York, (1994), page 569.
- [6] Sukandarmidi, "Batubara dan Pemanfaatannya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (2006), halaman 163.
- [7] Krevelen, "Coal", Elsevier, Tokyo, (1993).
- [8] Sukandarmidi, "Batubara dan Pemanfaatannya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (2006), halaman 16.
- [9] Meyers, Robert., "*Coal Structure*", Academic Press, Inc. London, (1982), page 21.
- [10] Daman Suyadi, "Upaya Peningkatan Mutu Karbonisasi pada Pabrik Briket Batubara Bukit Asam, Tanjung Enim Sumatera Selatan", Prosiding Hasil-Hasil Penelitian Puslitbang Geoteknologi, LIPI, (1995), 678
- [11] Djoko Sulaksono, "Proses Peningkatan Mutu Sumberdaya Batubara Kualitas Rendah", Publikasi Ilmiah Seminar Peranan Energi Dalam Menunjang Pembangunan Berkelanjutan, Direktorat Teknologi Energi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, Mei (1995), 351.
- [12] Koester, R.A., Yulianto SN, Iwan Masri, Martino RS, Nandy S, "Studi Tentang Batubara Indonesia", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, (1997), VII-8.

- [13] Sukandarrumidi, "Batubara dan Pemanfaatannya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (2006), halaman 46.
- [14] ASTM part 26 D388
- [15] Berkowitz, N., "An Introduction to Coal Technology", Academic Press, New York, (1979), 49.
- [16] Gu SL, Ji RD, CaoSR, " The Physical and chemical Characteristic of Particles in Door Air where High Flouride Coal Burning Takes Place", Chinese Academy of Preventive Medicine, Beijing, Biomed Enviro Sci, (1990), 384.
- [17] Chen Y, Lin M, He Z, Xie X, Liu Y, Xiao Y, Zhou J, Fan Y, Xiao X, Xu F, " Air Pollution Type Fluorosys in The Region of Pingxiang, Jiangxi, Peoples' republic of China", Jiangxi Institute of Labor Hygiene ang Occupational Medicine, Nanchang, Jiangxi, Peoples' Republic of China, Arch Enviro Health, (1993), Jul – Aug, page 246.
- [18] R.F. Keefer, "Coal Ashes-Industrial Wastes or Beneficial By-Product, in Trace Elements in Coal and Coal Combustion Residues", page 3, Lewis Publishers, (1993), page 3.
- [19] Suganal, " Pengaruh Kadar Sulfur Batubara Indonesia Terhadap Emisi SO₂ pada Pembakaran Pulverized Coal untuk PLTU", Prosiding Seminar Nasional Kimia VIII, Jurusan Kimia FMIPA, UGM, (2000), halaman 123.
- [20] Ana B. Garsia, M. Rosa Martinez-Tarazona and Jose M, G. Vega, "Cleaning of Spanish High Rank Coals by Agglomeration with Vegetable Oil", Fuel (1996), (75-7), 885.
- [21] G. A. Robbins, R.A, Winschel, C. L. Amos and F.P. Burke, "Agglomeration of Low-Rank Coal as a Pretreatment for Direct Coal Liquefaction", Fuel, (1992), 1039.
- [22] M. l. Alonso, A.F. Valdes, R.M. Martinez-Tarazona and A. B. Garcia, " Coal Recovery from fines wastes by agglomeration with colza oil : a contribution to the environment and energy preservation", Fuel Processing Technology, 75-2, (2002).

- [23] Ghani, M. Ulum A, "Removal of Todongkurah Coal Ash by Oil Agglomeration Method", Proceedings Southeast Asian Coal Geology Conference, Bandung Indonesia (2000), 307-311.
- [24] M. Lobo Balla, "Briket Batubara", <http://www.tekmira.esdm.go.id>.
- [25] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 047 Tahun 2006, "Pedoman Pembuatan Briket Batubara dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara", (2006).

**Lampiran 1: Daerah Tambang Batubara di Kabupaten Muaro
Bungo Propinsi Jambi**



Lampiran 2: Alat yang Digunakan dalam Penelitian



a. Alat Aglomerasi



b. *Universal Testing Machine*



c. Mesin Pres Pencetak Briket



d. Alat Uji Ignition Point

Lampiran 3: Hasil pengukuran analisa proksimat, kadar sulfur dan nilai kalori untuk sampel-sampel yang telah mengalami proses aglomerasi dengan minyak bumi (crude oil)

No	Kode	% Karbon	% Air	% VM	% Abu	% S	Nilai Kalori (kkal/kg)
1	SBtc	39.60	16.90	37.11	6.39	0.63	5459
2	SB50P50C10	30.30	20.85	45.60	3.25	0.63	6499
3	SB50P50C50	31.60	11.48	53.85	3.08	0.71	7317
4	SB50P50C100	33.81	13.18	49.37	3.65	0.74	7087
5	SB50P100C10	32.83	16.06	47.77	3.36	0.70	7018
6	SB50P100C50	35.03	11.42	50.90	2.66	0.63	7499
7	SB50P100C100	39.81	9.52	48.13	2.55	0.69	7086

Lampiran 4 : Hasil Pengukuran TGA Batubara Sebelum Diaglomerasi dan Setelah Mengalami Aglomerasi

