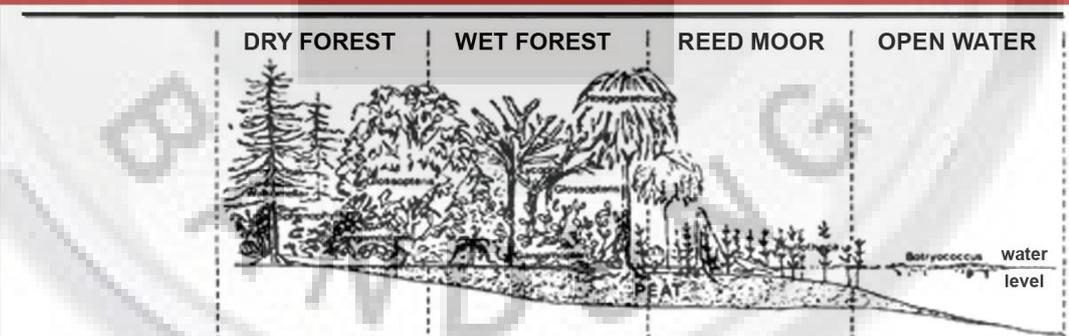


## BAB III TEORI DASAR

### 3.1 Proses Pembentukan Batubara

Batubara merupakan sedimen mampu bakar (*combustible sediment*) yang terbentuk jutaan tahun yang lalu. Sedimen ini terdiri atas sisa-sisa tumbuhan purba yang mengalami proses metamorfosa akibat proses biokimia dan geokimia. Jika proses biokimia mengubah sisa tanaman menjadi gambut maka proses geokimia yang terjadi setelah penimbunan mengubah gambut menjadi lignit – batubara paling muda. Proses geokimia seterusnya akan mengubah lignit sampai menjadi batubara paling tua, antrasit. Terdapat empat jenis tanaman pembentuk batubara (Gambar 3.1) yakni tumbuhan hutan kering (*dry forest*), tumbuhan hutan basah (*wet forest*), tumbuhan rawa (*reed moor*), dan tumbuhan air (*open water*) (Stach et. all., 1982).

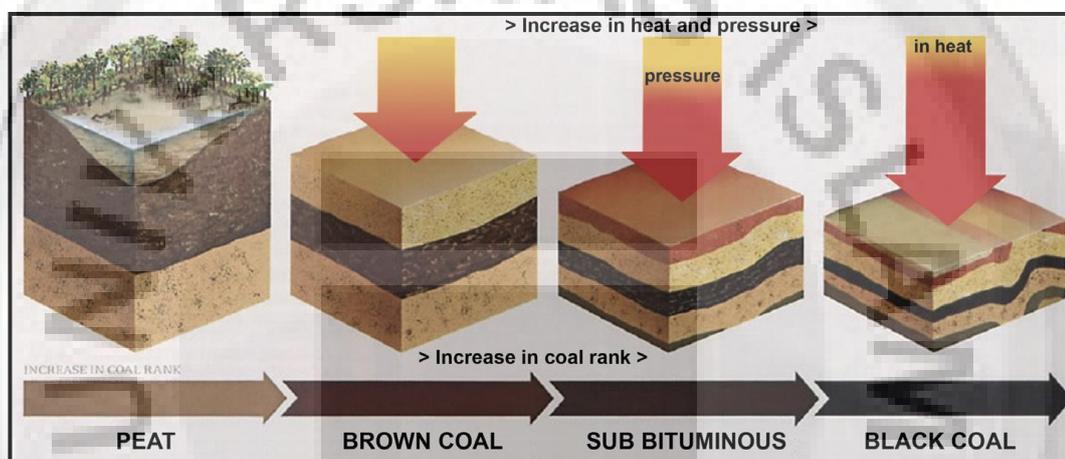


	DRY FOREST	WET FOREST	REED MOOR	OPEN WATER
Water cover	NONE	OCSILLATING	ALMOST COMPLETE	COMPLETE
Acidity	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW
Atmospheric O <sub>2</sub>	PRESENT	PARTLY PRESENT	LARGELY ABSENT	ABSENT
Chemical reactions	OXIDATION	OXIDATION and REDUCTION	MAINLY REDUCTION	REDUCTION
Organic activity	FUNGI, INSECTS AEROBIC BACTERIA	ACTINOMYCES, AEROBIC and ANAEROBIC BACTERIA	MAINLY AEROBIC BACTERIA	AEROBIC BACTERIA
Mode of plant decomposition	ROTTING	MAINZONE OF PEATIFICATION		PUTREFACTION
Peat types	WOODY WITH RESIN BODIES	WOODY with inc. HUMIC COLLOIDS	FIBROUS TO EARTHY	ORGANIC MUD
Microolithotype	SEMIFUSITE, FUSITE, DURITE	VITRITE, CLARITE, TRIMACERITE, VITRINERITE	DURITE N-E, INERTODETRITE, MACROITE (SEMIFUSITE)	TRIMACERITE E, DURITE, LIPTITE, CARBOMINERITE
Lithotype	FUSAIN (fibrous coal) some DURAIN (dull coal)	VITRAIN (bright coal), CLARAIN (banded bright coal), DURO- CLARAIN (banded coal)	CLARO-DURAIN (banded dull coal), some DURRAIN (dull coal)	DURAIN (dull coal), CANNEL and BOGHEAD COAL, OIL SHALE
Coal type		HUMIC		SAPROPELIC

Sumber : Suprpto, Slamet. *Karakteristik dan Pemanfaatan Batubara*

**Gambar 3.1**  
**Tumbuhan Pembentuk Batubara (Falcon, 1986)**

Proses perubahan lignit (*brown coal*) menjadi batubara *sub-bituminous*, kemudian batubara *bituminous* dan antrasit disebut proses pematubaraan (*coalification*). Proses pematubaraan terjadi akibat pengaruh tekanan, suhu, dan waktu. Batubara *bituminous* dan antrasit biasa disebut sebagai *black coal* (Gambar 3.2). Semakin tua dan semakin dalam lapisan batubara menunjukkan semakin besar tekanan dan panas yang dialami lapisan batubara tersebut, sehingga semakin tinggi tingkat pematubarannya.



Sumber : Suprpto, Slamet. Karakteristik dan Pemanfaatan Batubara

**Gambar 3.2**  
**Proses pematubaraan (*coalification*)**

Tingkat pematubaraan atau derajat metamorfosa endapan batubara disebut peringkat (*rank*). Selain proses pematubaraan normal (akibat tekanan, suhu dan waktu), dapat juga terjadi pematubaraan cepat. Misalnya adalah proses pematubaraan karena magma yang keluar dari bumi (intrusi) yang memanaskan batubara sehingga terjadi pematangan lokal secara cepat.

### 3.2 Klasifikasi Batubara

Klasifikasi batubara yang banyak digunakan adalah meliputi klasifikasi menurut ASTM, klasifikasi menurut ISO, Klasifikasi Internasional.

### 3.2.1 Klasifikasi Berdasarkan Peringkat Menurut ASTM

Peringkat batubara adalah posisi batubara dalam seri lignit – antrasit. Batubara diklasifikasikan berdasarkan peringkatnya oleh ASTM (*American Standards for Testing and Materials*) seperti pada Tabel 3.1. Data yang diperlukan untuk klasifikasi adalah kadar karbon padat 'dmmf' (*dry mineral matter free*), kadar zat terbang 'dmmf' (*dry mineral matter free*) dan nilai kalori 'mmf' (*moist mineral matter free*). Yang disebut kondisi *moist* adalah kondisi batubara yang masih berada dalam tanah dan mengandung *bed moisture*. Data tersebut diperoleh dari perhitungan menggunakan Rumus Parr.

Untuk batubara peringkat menengah ke atas digunakan data karbon padat 'dmmf' dan kadar zat terbang 'dmmf'. Sedangkan untuk batubara peringkat menengah ke bawah digunakan data nilai kalori 'mmf'. Menurut ASTM batubara peringkat rendah (*low rank coal*) adalah batubara yang mempunyai kadar karbon padat 'dmmf' <69% atau kadar zat terbang 'dmmf' >31% dan nilai kalori 'mmf' <10,500 Btu/lb atau <8,333 kcal/kg.

### 3.2.2 Klasifikasi menurut ISO (International Standard Organization)

ISO (*International Standardizations Organization*) juga mengeluarkan sistem klasifikasi batubara berdasarkan peringkat, tetapi penentuan peringkatnya menggunakan reflektan vitrinit (Rv) hasil analisis petrografi batubara. ISO membagi kelas/peringkat batubara menjadi tiga yakni peringkat rendah, peringkat menengah dan peringkat tinggi (Tabel 3.2). Batubara peringkat rendah adalah lignit – *sub-bituminous* yang mempunyai Rv  $\leq 0.5\%$ . Batubara peringkat menengah adalah batubara *bituminous* yang mempunyai Rv antara 0.5 – 2.0. Sedangkan batubara peringkat tinggi adalah kelompok batubara antrasit yang mempunyai Rv antara 2.0 – 6.0.

**Tabel 3.1**  
**Klasifikasi Berdasarkan Peringkat Menurut ASTM**

KELAS	GRUP	KARBON PADAT, %, d.m.m.f		ZAT TERBANG, %, d.m.m.f		NILAI KALORI, BTU/LB, m.mf	
		SAMA			SAMA	SAMA	
		ATAU >	<	>	ATAU >	ATAU >	<
Anthracite	Meta Ant.	98			2		
	Anthracite	92	98	2	8		
	Semi Ant	86	92	8	14		
Bituminous	Low Vol. Bit	78	86	14	22		
	Med. Vol. Bit	96	78	22	31		
	High Vol. A Bit		69	31		14,000	
	High Vol. B Bit					13,000	14,000
	High Vol. C Bit					10,500	13,000
	Sub Bituminous	Sub Bit. A					10,500
	Sub Bit. B					9,500	10,500
	Sub Bit. C					8,500	9,500
Lignite	Lignite A					6,300	8,500
	Lignite B						6,300

Sumber : ASTM, 2009

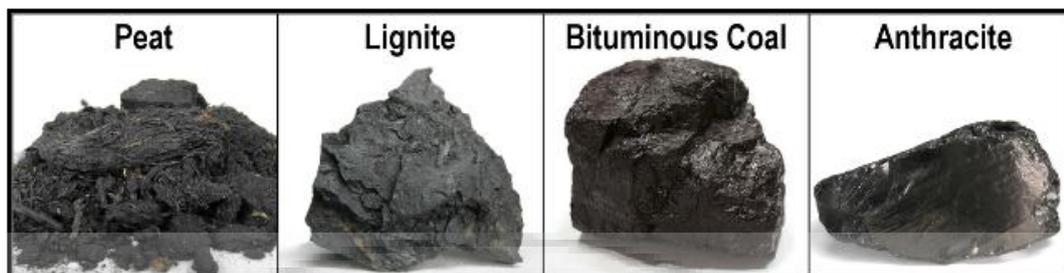
**Tabel 3.2**  
**Klasifikasi Menurut ISO**

RANK		DESKRIPSI	
		R <sub>v</sub> , %	Bed Moisture, %, ash free basis
Low Rank	Low Rank C (Lignite B)	<0.4	35 - 75
	Low Rank B (Lignite B)	<0.4	<35
	Low Rank A (Sub bituminous)	0.4 - 0.5	
Medium Rank	Medium Rank D (Bituminous D)	0.5 - 0.6	
	Medium Rank C (Bituminous C)	0.6 - 1.0	
	Medium Rank B (Bituminous B)	1.0 - 1.4	
	Medium Rank A (Bituminous A)	1.4 - 2.0	
High Rank	High Rank C (Anthracite C)	2.0 - 3.0	
	High Rank B (Anthracite B)	3.0 - 4.0	
	High Rank A (Anthracite A)	4.0 - 6.0	

Sumber : ISO, 2005

### 3.3 Karakteristik Batubara

Setiap batubara mempunyai karakteristik (ciri khusus) masing-masing tergantung peringkatnya. Karakteristik yang paling mudah dikenali adalah sifat fisiknya. Gambar 3.3 menunjukkan perubahan sifat fisik dari gambut menjadi batubara peringkat terendah (*lignit*) sampai peringkat tertinggi (*antrasit*).



Sumber : Suprpto, Slamet. Karakteristik dan Pemanfaatan Batubara

Gambar 3.3

Perubahan Fisik Gambut Menjadi Batubara Antrasit

### 3.3.1 Batubara Peringkat Rendah ( *Low Rank Coal* )

Sifat fisik batubara peringkat rendah yang umum adalah sebagai berikut:

- Warnanya cokelat kusam, disebut juga batubara cokelat (*brown coal*) kalau dipegang mengotori tangan.
- Kekerasannya rendah (lunak) rapuh, disebut juga batubara lunak (*soft coal*) mudah digerus dan HGI tinggi, kecuali kalau kadar abunya tinggi dan mengandung mineral terutama silika.
- Ketahanan terhadap cuaca (*Weathering index*) rendah, mudah hancur jika terkena perubahan cuaca (panas dan hujan). Tingkat segregasi semakin tinggi dengan semakin rendahnya peringkat batubara.
- Mudah hancur dan membentuk partikel halus dan debu, ketika dipindahkan.
- Porositasnya tinggi, mudah menyerap air sehingga selama musim hujan kadar air akan tinggi.
- Reaktivitasnya tinggi dan mudah terbakar, titik nyala rendah.
- Dalam *stockpile* (penyimpanan) mudah terjadi swabakar.
- Titik leleh abu rendah, sering menyebabkan *fouling* dan *slagging*.
- Tidak mempunyai sifat *coking* ( $FSI = 0$ ) sehingga tidak cocok untuk pembuatan kokas; umumnya untuk bahan bakar (*steam coal*)
- Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) kurang dari 0.5%.

- Bersifat hidrophilik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah meliputi:

- Kadar air-nya tinggi, kadar *bed moisture* dapat mencapai 75%; oleh karena itu tidak cocok untuk transportasi jarak jauh karena biaya mahal; jika digunakan untuk pembakaran, efisiensi pembakaran rendah; proses *upgrading* batubara sedang berkembang untuk mengurangi kadar air.
- Kadar zat terbang tinggi, pada kondisi 'dmmf' > 31% sehingga mudah terbakar.
- Sebaliknya kadar karbon rendah, pada kondisi 'dmmf' <69%.
- Nilai kalorinya rendah, pada kondisi 'mmf' (klasifikasi ASTM) <10,500 Btu/lb.
- Kadar oksigen: tinggi sampai >20% (antrasit 1-2%), menambah oksigen untuk reaksi oksidasi/pembakaran, menyebabkan batubara mudah terbakar.
- Kadar hidrogen tinggi sampai >5% (antrasit 3%), mudah terbakar.

### 3.3.2 Batubara Peringkat Menengah (*Medium Rank Coal*)

Sifat fisik batubara peringkat menengah yang umum adalah sebagai berikut:

- Warnanya hitam mengkilat, kalau dipegang tidak mengotori tangan disebut juga *black coal*.
- Kekerasannya lebih tinggi mempunyai HGI lebih rendah, disebut juga batubara keras (*hard coal*).
- Ketahanan terhadap cuaca (*weathering index*) rendah, tidak mudah hancur jika terkena perubahan cuaca (panas dan hujan).
- Tidak mudah hancur dan sedikit membentuk partikel halus dan debu, dalam proses transportasi.
- Porositasnya rendah, tidak mudah menyerap air selama musim hujan.
- Reaktivitasnya lebih rendah dari batubara peringkat rendah.

- Dalam *stockpile* (penyimpanan) tidak mudah terjadi swabakar.
- Titik leleh abu lebih tinggi, tidak menyebabkan *fouling* dan *slagging* kecuali jika mengandung pengotor alkali (*sodium dan kalium*).
- Bersifat *coking*, bahkan FSI bisa lebih dari 6 dan cocok untuk pembuatan kokas terutama batubara peringkat *medium volatile bituminous* dan *low volatile bituminous*.
- Reflektan vitrinit (Rv) antara 0.5 – 2.0 %.
- Bersifat hidrophobik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat menengah meliputi:

- Kadar air-nya rendah.
- Kadar zat terbang pada kondisi 'dmmf' >14%.
- Sebaliknya kadar karbon lebih tinggi, pada kondisi 'dmmf' bisa mencapai 78%.
- Nilai kalorinya tinggi, pada kondisi 'mmf' (klasifikasi ASTM) bisa mencapai >14,000 Btu/lb.
- Kadar oksigen lebih rendah, bisa mencapai kurang 3%
- Kadar hidrogen lebih rendah, bisa kurang dari 4%.
- Logam alkali umumnya tidak terikat dengan garam organik, sehingga tidak termasuk alkali reaktif.

### 3.3.3 Batubara Peringkat Tinggi (*High Rank Coal*)

Sifat fisik batubara peringkat tinggi yang umum adalah sebagai berikut:

- Warnanya hitam mengkilat sampai keperakan, termasuk batubara *black coal*, kalau dipegang tidak mengotori tangan.
- Kekerasannya tinggi kecuali proses pembatubarannya karena intrusi, termasuk juga batubara keras (*hard coal*), HGI-nya rendah.

- Ketahanan terhadap cuaca (*weathering index*) paling tinggi, tidak mudah hancur jika terkena perubahan cuaca (panas dan hujan).
- Tidak mudah hancur dan tidak membentuk partikel halus dan debu dalam proses transportasi.
- Porositasnya sangat rendah, hampir tidak menyerap air selama musim hujan.
- Reaktivitasnya sangat rendah dan tidak mudah terbakar, titik nyala tinggi sehingga tidak cocok untuk bahan bakar (*steam coal*), biasanya untuk bahan reduktor.
- Dalam *stockpile* (penyimpanan) tidak akan terjadi swabakar.
- Titik leleh abu tinggi, kecuali jika mengandung alkali (*sodium dan kalium*).
- Tidak mempunyai sifat *coking* ( $FSI = 0$ ) sehingga tidak cocok untuk pembuatan kokas.
- Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) antara 2.0 – 6.0%.
- Bersifat hidrophobik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat tinggi meliputi:

- Kadar air-nya paling rendah
- Kadar zat terbang paling rendah pada kondisi 'dmmf' <14%.
- Sebaliknya kadar karbon paling tinggi, pada kondisi 'dmmf' >86%.
- Nilai kalorinya tinggi, tetapi bisa lebih rendah dari nilai kalori batubara peringkat bituminous.
- Kadar oksigen paling rendah antara 1 - 2%
- Kadar hidrogen terendah lebih kurang 3%.
- Logam alkali umumnya tidak terikat dengan garam organik, sehingga tidak termasuk alkali reaktif.

### 3.4 Abu Batubara

Batubara yang didapat dari tambang ROM (*Run of Mine*) umumnya masih banyak mengandung bahan – bahan pengotor. Bahan – bahan pengotor inilah yang disebut dengan *mineral matter*. Abu batubara dihasilkan dari sisa *mineral matter* yang terbakar pada saat proses pembakaran batubara. Ada 2 tipe dari *mineral matter* atau abu dalam batubara, yaitu *inherent mineral matter* dan *extraneous mineral matter*.

*Inherent mineral matter* representasi dari kombinasi elemen anorganik dengan komponen organik dari batubara pada saat keterbentukan batubara yang berasal dari material tumbuhan pembentuknya. *Extraneous mineral matter* berasal dari dilusi atau sumber abu lainnya yang berasal dari luar batubara, seperti material kalsium, magnesium, *ferrous carbonates*, *pyrite*, *marcasite*, *clay*, *shale*, *sand* dan *gypsum*.

### 3.5 Penurunan Kadar Abu

Batubara akan disebut sebagai batubara kotor apabila kandungan abu dalam batubara tersebut cukup tinggi. Kadar abu yang tinggi tentu saja tidak disukai konsumen pengguna batubara. Oleh karena itu, proses penurunan kadar abu harus dilakukan. Penurunan kadar abu dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode konvensional dan metode ekstraksi.

Metode konvensional atau pencucian dilakukan dengan cara memanfaatkan sifat fisik dari batubara. Metode ini akan memisahkan batubara dengan *extraneous mineral matter* sehingga kadar abu batubara akan berkurang. Adapun proses yang dapat dilakukan dengan metode ini, yaitu *dense medium separation*, *jigging*, flotasi dan lain – lain.

Metode ekstraksi menurunkan kadar abu tidak hanya memisahkan *extraneous mineral matter* tetapi juga *inherent mineral matter* dengan menggunakan larutan. Salah satu proses yang dapat dilakukan dengan metode ekstraksi adalah proses *hyper coal*.

### 3.5.1 Metode Konvensional atau Pencucian

#### 1. *Dense Medium Separation*

Operasi pencucian batubara dengan DMS dilakukan dengan mencelupkan batubara asal ke dalam media yang berat jenisnya terletak di antara batubara bersih dan berat jenis impurities yang lebih berat. DMS yang beroperasi secara komersial menggunakan suspensi padatan di dalam air untuk mengolah batubara mulai dari ukuran 0.5 mm sampai berukuran 100 mm. Partikel berukuran  $> 6$  mm biasanya diolah dengan static DMS (DM vessels atau DM batch), sedangkan yang berukuran mulai 0.5 mm sampai 40 mm diolah dalam separator yang menerapkan sistem sentrifugal (DM cyclone).

Karakteristik yang diinginkan dari media pemisah adalah:

- Murah.
- Stabil selama operasi pencucian.
- Viskositas rendah pada kondisi operasi.
- Mudah diperoleh kembali setelah dipakai.

Padatan dengan berat jenis tinggi seperti magnetit (berat jenis 5) dan barit (berat jenis 4.4) banyak dipakai sebagai media walaupun menghasilkan suspensi yang kurang stabil, tetapi sangat bermanfaat untuk menghasilkan suspensi dengan berat jenis sampai 2. Kestabilan dari suspensi sebagian dapat diperbaiki dengan menambahkan lempung

sampai 10% yang dapat mengecilkan kecepatan pengendapan suspensi sampai 50%.

## 2. *Jigging*

*Jigging* adalah proses stratifikasi partikel yang menghasilkan lapisan - lapisan dengan berat jenis partikel makin membesar dari atas ke bawah oleh suatu gerakan bolak balik fluida. Proses ini dapat mengolah batubara mulai dari ukuran maksimum 20 cm sampai ukuran kecil 0,5 mm. Beberapa kelemahan dari *jigging*:

- Efisiensi pemisahan tidak sebaik DMS.
- Berat jenis pemisahan (*cut point*) tidak terkendali.

Jig yang umum dipakai adalah baum jig dengan berbagai variasinya. Batac jig juga banyak dipakai. Jig bekerja dengan dasar sederhana dengan 3 mekanisme pemisahan yaitu percepatan awal yang hanya tergantung pada berat jenis partikel, *hindered settling classification* dan *consolidation trickling* tergantung pada ukuran, berat jenis dan bentuk partikel.

## 3. Flotasi

Flotasi diterapkan pada batubara halus yang berukuran  $< 0,5\text{mm}$  dan hanya sebagai pelengkap dari alat lain seperti baum jig. Batubara seperti beberapa mineral lain seperti belerang, *talk*, adalah mineral hidrofobik yaitu bila dicelupkan ke dalam air tidak akan basah. Partikel yang tidak dibasahi ini bila berbenturan dengan gelembung udara akan langsung menempel (aerofilik). Prinsip perbedaan sifat permukaan ini yang dipakai pada flotasi. Pada kenyataannya permukaan partikel

batubara tidak betul-betul hidrofobik, oleh karena itu perlu diolah lebih dahulu untuk mengubah permukaan menjadi betul-betul hidrofobik. Pengolahan seperti ini disebut *conditioning*, yaitu partikel padatan diolah dengan reagen kimia tertentu untuk mengubah permukaannya menjadi hidrofobik.

Proses flotasi dilakukan dalam alat yang disebut sel flotasi. Umpan yang telah di *conditioning* untuk memastikan permukaan batubara telah hidrofobik masuk ke sel flotasi melalui jalur pemasukan umpan. Udara masuk ke dalam sel melalui *impeller*, dan terbentuk gelembung - gelembung udara berukuran halus. Gelembung udara berbenturan dengan partikel batubara, menempel dan naik ke permukaan. Gelembung yang naik berkumpul di atas pulp dan dikeluarkan dengan bantuan *scraper*.

### 3.5.2 Metode Ekstraksi

Salah satu cara untuk menurunkan kadar abu dalam batubara adalah proses *hyper coal*. Proses ini menghasilkan batubara yang bersih dari kadar abu yang terbentuk dari hasil ekstraksi dengan pelarut organik pada temperatur sekitar 300 - 500<sup>o</sup> C dan tekanan 3 – 5 Mpa. Secara konsep larutan akan masuk ke dalam batubara, kemudian ikatan dari batubara akan terlepas dan bagian yang larut akan terlarutkan, bagian yang tidak dapat terlarutkan dan abu terpisahkan menjadi sedimen (Gambar 3.4). Miura, dkk (2001) menjelaskan bahwa struktur makro molekul dari batubara menjadi renggang pada saat suhu yang tinggi, sehingga ikatan kovalen antara molekul batubara terpisah. Oleh karena itu, larutan dapat memisahkan dalam jumlah besar molekul kecil dari hasil renggangnya struktur batubara.



Sumber : JCOAL Energy Center. Hyper Coal

Gambar 3.4

### Konsep Proses Pembuatan *Hyper Coal* dari Batubara

Beberapa ringkasan dari beberapa larutan, aditif dan asam yang digunakan oleh beberapa peneliti dalam proses *hyper coal* (Tabel 3.3).

Tabel 3.3  
Larutan, Aditif dan Asam yang Digunakan dalam Produksi *Hyper Coal*

Peneliti	Larutan	Aditif	Asam
Yoshida et al. (2002)	- Tetralin	Tidak Digunakan	Tidak Digunakan
	- 1-methylnaphthalene		
	- dimethylnaphthalenes (DMN-W & DMN-T)		
	- light cycle oil (LCO)		
Yoshida et al. (2004)	- 1-methylnaphthalene	- Quinoline	Tidak Digunakan
	- dimethylnaphthalene	- Naphthol	
	- light cycle oil (LCO)	- Phenol	
Yoshida et al. (2004)	- crude methylnaphthalene oil	- 2-methylquinolene	Tidak digunakan
Masaki et al.(2004)	- light cycle oil (LCO)	- Quinoline	Methoxyethoxy
	- crude methylnaphthalene oil	- N-methyl-2-pyrrolidinone (NMP)	acetic acid

Sumber : Haupt, Petronella. Effective Solvent Extraction of Coal and Subsequent Separation Processes.

Keistimewaan dari *hyper coal* adalah sebagai berikut :

- Kadar abu berkurang menjadi 200 ppm atau kurang. Konsentrasi dari logam alkali (Na, K) berkurang dari pertukaran ion menjadi 0.5 ppm atau kurang.
- Nilai kalori meningkat sekitar 10 – 20% dibandingkan dengan batubara asalnya.
- Sulfur anorganik yang terkandung hilang.
- Kadar logam berat secara signifikan berkurang 1/100 atau kurang.
- Residu batubara, yang jumlahnya dari 30 – 40% dari jumlah asalnya batubaranya, dapat digunakan menjadi steam coal.
- *Hyper coal* memiliki kemampuan penyalaan dan sifat pembakaran yang bagus.
- *Hyper coal* menunjukkan plastisitas termal yang bagus dan ini merupakan material karbon yang bagus untuk peleburan logam.
- *Hyper coal* merupakan umpan yang baik digunakan untuk proses gasifikasi karena bebas dari kadar abu, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses gasifikasi.