

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pencairan Batubara

Pencairan batubara (*Coal Liquefaction*) adalah suatu teknologi proses yang mengubah wujud batubara dari padat menjadi cair. Batubara yang berupa padatan diubah menjadi bentuk cair dengan cara mereaksikannya dengan hidrogen pada temperatur dan tekanan tinggi. Tujuan dari likuifaksi batubara adalah untuk mengkonversi atau meng-*upgrading* batubara yang mempunyai nilai kalor yang rendah yang tidak laku di pasaran menjadi salah satu bentuk bahan bakar atau energi alternatif yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi.

Batubara terdiri dari lapisan-lapisan hidroaromatik yang disebut *lamellae*. Lapisan-lapisan ini dihubungkan dengan ikatan jembatan silang (*cross link*) dengan gugus fungsional disekelilingnya. Jumlah *cross link* dan gugus fungsional ini akan berkurang dengan meningkatnya rank batubara. Gugus fungsional pada batubara merupakan komponen yang sangat reaktif dan merupakan persenyawaan H, N, O dan S. Struktur batubara yang kompleks ini dalam proses pencairan harus dipecahkan untuk membentuk produk yang lebih ringan yang kaya akan hidrogen.

Pada proses pencairan batubara, katalis sangat berperan dalam reaksi hidrogenasi pelarut donor hidrogen. Molekul hidrogen kurang reaktif dibandingkan dengan pelarut donor hidrogen dalam proses stabilisasi radikal hasil fragmentasi batubara. Sifat kurang aktif dari molekul hidrogen menyebabkan pelarut donor hidrogen terlibat langsung dalam proses hidrogenasi fragmen-fragmen batubara tersebut. Hidrogen yang dikeluarkan dari donor hidrogen mengakibatkan pelarut tersebut menjadi tidak aktif. Pengaktifan kembali dapat dilakukan dengan reaksi hidrogenasi. Molekul hidrogen dengan bantuan katalis dapat merehidrogenasi pelarut donor hidrogen pada proses pencairan batubara tersebut (Nursanto dkk, 2015).

Pencairan batubara pada prinsipnya melalui dekomposisi termal batubara (biasanya 400-500°C batubara sudah/mulai mengeluarkan *liquid*). Kadang disebut karbonisasi atau *destructive distillation*, tapi istilah ini tidak tepat karena proses karbonisasi tidak ditujukan untuk menghasilkan liquid sebagai produk utama

(Corganik=Ccoke/char/carbon+liquid+gas). Proses secara kimiawi pada prinsipnya struktur kimia batubara dipecah menjadi kecil-kecil, ikatan-ikatan organik dipecah menjadi lebih kecil dan rasio atom H/C ditingkatkan (supaya menjadi liquid).

Ada empat cara pada proses pencairan batubara (Nursanto dkk, 2015) :

- a) **Pyrolysis**: Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Pencairan batubara dengan proses pirolisis baik untuk batubara dengan nilai kalori rendah sampai sedang karena pada batubara kelas ini akan didapatkan gas metana yang lebih banyak dibandingkan kelas tinggi selain itu arang yang dihasilkan dapat dibentuk menjadi kokas untuk pembriketan yang berguna untuk kebutuhan rumah tangga serta industri kecil sampai menengah. Batubara dipanaskan (mulai dari 375°C, tekanan bisa bervariasi) tanpa oksigen (disebut juga karbonisasi seperti di atas), menghasilkan char+liquid+gas. Bisa juga dengan kondisi kaya hidrogen (hidrokarbonisasi). Proses ini sederhana tapi tidak efektif karena dominan menghasilkan char daripada liquid.
- b) **Solvent extraction**: batubara dicampur solvent untuk menghasilkan liquid dengan adanya transfer hidrogen dari solvent ke batubara atau dari gas hidrogen ke batubara (temperatur sampai dengan 500°C, tekanan bisa bervariasi sampai dengan 5000 psi). Solvent bisa berupa batubara cair hasil proses sebelumnya atau produk petroleum (bitumen, heavy oil)
- c) **Catalytic Liquefaction**: penggunaan katalis untuk menambah hidrogen ke batubara. Katalis bisa berupa iron oxide, zinc chloride, tin chloride, dan lain lain, tapi harus tetap ada suplai hidrogen.
- d) **Indirect liquefaction**: meliputi 2 tahap konversi, (1) batubara direaksikan dengan uap air dan oksigen untuk menghasilkan gas terutama CO dan H<sub>2</sub>, (2) kemudian gas ini dimurnikan (membersihkan S, N, dan lain-lain), hasilnya direaksikan dengan katalis untuk dikonversi menjadi cair (kadang disebut proses Fischer-Tropsch). Bisa juga dikonversi untuk menghasilkan methanol, baru kemudian methanol dikonversi menjadi liquid.

Teknik pencairan batubara yang digunakan pada penelitian ini adalah hidrolikuifaksi (gabungan *solvent extraction* dengan *catalytic liquefaction*). Hal ini dinilai lebih menguntungkan untuk saat ini, karena selain prosesnya yang sederhana, likuifaksi ini relatif lebih murah dan lebih bersih dibanding teknik *indirect liquefaction* (gasifikasi) yang menimbulkan banyak asap, dan teknik pirolisis tidak efektif karena dominan menghasilkan char daripada *liquid*. Teknik ini juga cocok untuk batubara peringkat rendah (lignit), yang banyak terdapat di Indonesia.

Ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi proses pencairan batubara (Busron Masduki dkk, 2001) antara lain:

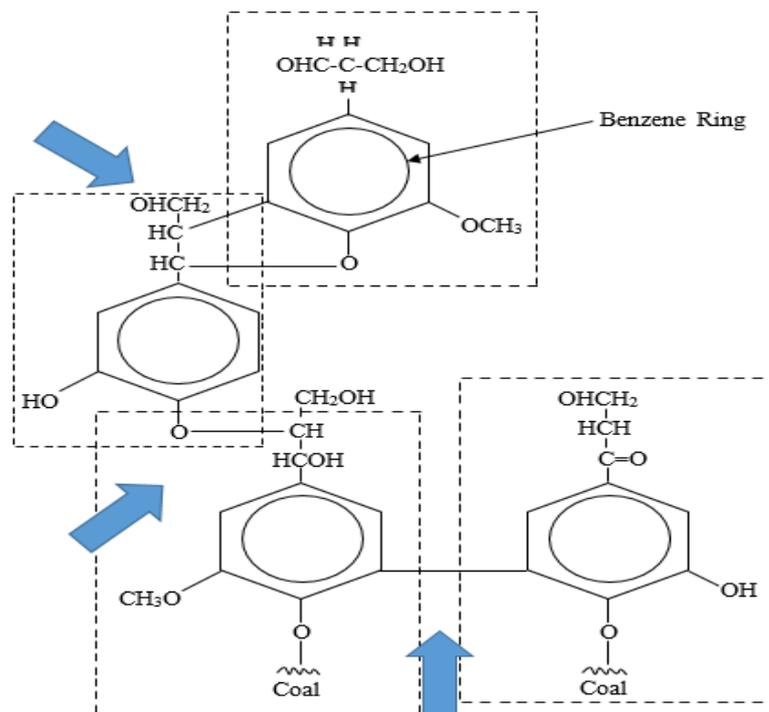
- a. **Waktu**, waktu sangat berpengaruh pada banyaknya batubara terkonversi membentuk hasil, karena makin panjang waktu untuk bereaksi akan memberi kesempatan lebih besar bagi zat-zat pereaksi untuk saling bertumbukan.
- b. **Suhu**, suhu berpengaruh terhadap likuifaksi batubara. Makin tinggi suhu hasil minyak dan gas akan makin meningkat.
- c. **Tekanan**, tekanan berpengaruh terhadap kecepatan reaksi, terutama untuk reaksi bolak-balik dalam fase gas. Pada proses pirolisis batubara, semakin tinggi tekanan, maka kehilangan berat batubara semakin kecil. Pada proses likuifaksi batubara, semakin tinggi tekanan operasi, yield akan makin tinggi sampai batas tertentu, untuk kemudian tetap yaitu pada tekanan operasi tertentu yield tidak dapat naik lagi.
- d. **Pelarut**, sifat pelarut yang karakteristik berpengaruh besar terhadap hasil cair yang diperoleh pada likuifaksi batubara sehingga diperlukan pemilihan pelarut yang tepat. Pertimbangan dalam pemilihan pelarut adalah:
  1. Dapat melarutkan umpan batubara dengan baik, -sebagai medium untuk melarutkan hasil yang diperoleh
  2. Membantu pelarutan  $H_2$  sehingga memudahkan perpindahan massa  $H_2$  menuju katalisator dan batubara

3. Berperan dalam proses hidrogenasi batubara dan produknya sebagai donor-H dan perpindahan massa  $H_2$  ke batubara dari fase gas atau dari pelarut yang digunakan untuk hidrogenasi tersebut.
- e. **Karakteristik Batubara**, karakteristik batubara berkaitan dengan kualitas batubara yang akan mempengaruhi hasil yang diperoleh dari likuifaksi batubara. Komponen batubara terdiri dari C, H, O, N, dan S yang akan mempengaruhi hasil likuifaksi batubara. Menurut Harli Talla dkk. (2013) yang melakukan pencairan dengan variabel karakteristik batubara, menyimpulkan bahwa batubara yang memiliki kandungan hydrogen (H) yang tinggi akan mempengaruhi rasio H/C menjadi semakin tinggi sehingga menghasilkan produk cair lebih tinggi.
  - f. **Ukuran Batubara**, ukuran butir batubara yang digunakan dalam proses mempengaruhi likuifaksi batubara. Semakin kecil ukuran butir, pelarutan batubara semakin baik dan berjalan cepat, sehingga mempengaruhi kecepatan reaksi keseluruhan.
  - g. **Katalisator**, katalis digunakan untuk menurunkan energi aktivasi zat-zat pereaksi, sehingga pada suhu yang tetap reaksi berlangsung lebih cepat. Makin banyak katalisator yang digunakan, konversi akan bertambah, tetapi pada suatu saat penambahan katalisator tidak akan menambah hasil yang berarti. Selain itu penggunaan katalisator dalam proses likuifaksi batubara dapat mereduksi kandungan sulfur dalam produk.
  - h. **Bahan Aditif**, bahan aditif dapat ditambahkan pada proses likuifaksi batubara disamping katalisator. Penambahan ini dimaksudkan untuk meningkatkan hasil yang diperoleh.
  - i. **Rasio batubara/pelarut**, rasio batubara/pelarut yang digunakan mempunyai peranan yang penting dalam menaikkan konversi produk yang dihasilkan. Jones dan Rotterdorf (1980) menyatakan bahwa dengan rasio berat batubara/pelarut :  $\frac{1}{4}$  dan  $\frac{1}{3}$  ternyata menunjukkan hasil konversi produk yang hampir sama.

## 2.2 Mekanisme Hipotetikal Proses Pencairan Batubara

### 1. Tahap destabilisasi

Tahapan ini merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum tahapan pemutusan ikatan secara termal. Tahapan ini dimaksudkan untuk mengganggu kestabilan ikatan senyawa kompleks batubara sehingga akan melemahkan energi ikatannya. Proses ini berjalan pada temperature 200-300°C. Selanjutnya pelarut akan masuk ke dalam pori-pori molekul sehingga akan terjadi pembengkakan (swelling) molekul-molekul batubara ini.

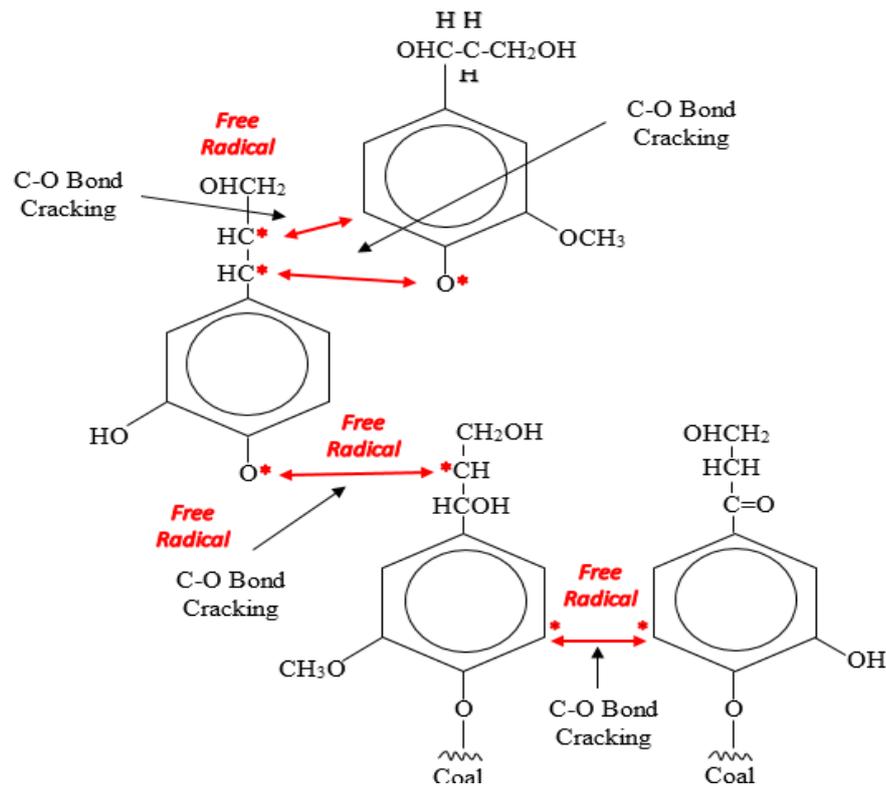


Gambar 1. Proses destabilisasi pada ikatan batubara  
(Sumber: Nurisman Enggal, 2007)

### 2. Depolimerisasi

Bagian ini lebih dikenal dengan proses perengkahan panas (*thermal cracking*). Batubara yang telah mengalami proses pembengkakan (swelling) dengan bantuan panas dari luar dan juga katalis akan membantu memutuskan ikatan antar molekul-molekul batubara. Tahapan *thermal cracking* didahului oleh ikatan inisiasi dengan pemutusan secara homolitik menjadi radikal-radikal bebas. Pemutusan ikatan menjadi radikal bebas ini terjadi pada ikatan yang terlemah yaitu ikatan tunggal C-C dan C-O. Dengan pemutusan ikatan C-C ini maka akan

terbentuk senyawa hidrokarbon baru dengan berat molekul yang lebih kecil dari senyawa kompleks batubara yang besar. Setelah terjadi inisiasi maka akan dilanjutkan dengan tahap propagasi ikatan membentuk beberapa jenis rantai hidrokarbon yang beragam. Tahapan ini akan diakhiri dengan mekanisme terminasi radikal bebas melalui proses stabilisasi. Proses ini berjalan pada temperature 300-400°C.

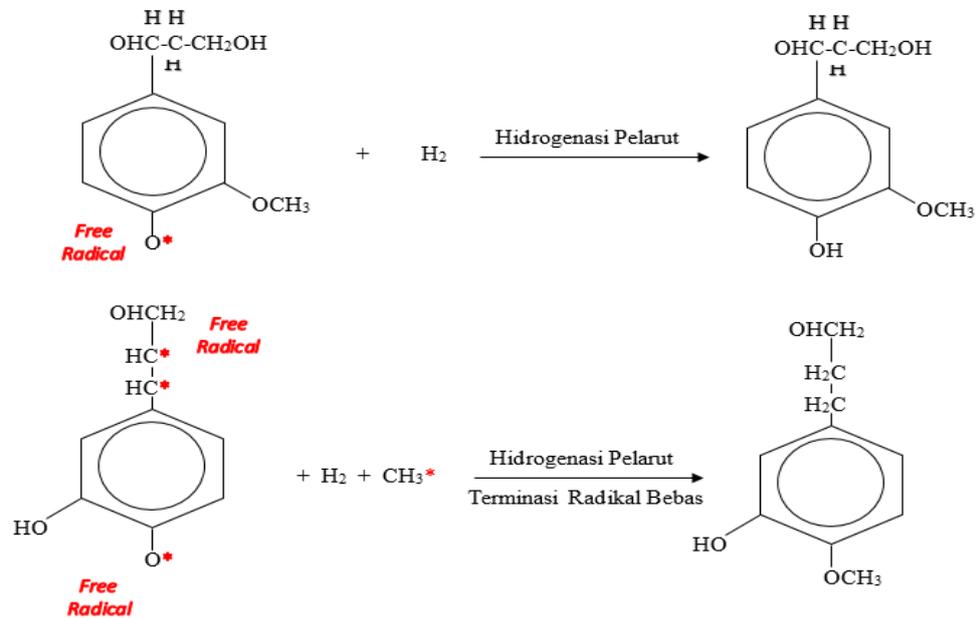


Gambar 2. Proses *Thermal Cracking* pada ikatan batubara  
(Sumber: Nurisman Enggal, 2007)

### 3. Tahap Stabilisasi

Tahap ini bertujuan untuk menstabilkan radikal bebas yang terbentuk selama *thermal cracking* terjadi. Molekul-molekul batubara dengan berat molekul yang kecil dan dalam keadaan tak stabil akan distabilkan kembali dengan bantuan pelarut donor hidrogen. Pelarut ini akan memberikan molekul hidrogennya pada molekul batubara yang tak jenuh agar batubara menjadi jenuh kembali. Selain memberikan donor hidrogen juga berkontribusi membentuk radikal lain yang akan

berikatan dengan radikal hasil proses thermal cracking sehingga dapat saling menstabilkan. Proses ini berjalan pada temperature 400-500°C.



Gambar 3. Proses stabilisasi pencairan batubara  
(Sumber: Nurisman Enggal, 2007)

### 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Likwifaksi Batubara

Kelebihan likwifaksi batubara antara lain sebagai berikut:

1. Batubara terjangkau dan tersedia di seluruh dunia, memungkinkan berbagai negara untuk mengakses cadangan batubara dalam negeri dan pasar internasional dan mengurangi ketergantungan pada impor minyak, serta meningkatkan keamanan energi.
2. Batubara Cair dapat digunakan untuk transportasi, memasak, pembangkit listrik stasioner, dan di industri kimia.
3. Batubara yang diturunkan adalah bahan bakar bebas sulfur, rendah partikulat, dan rendah oksida nitrogen.
4. Bahan bakar cair dari batubara merupakan bahan bakar olahan yang ultra-bersih, dapat mengurangi risiko kesehatan dari polusi udara dalam ruangan.

Kekurangan likuifaksi batubara antara lain sebagai berikut:

1. Meningkatkan dampak negatif dari penambangan batubara. Penyebaran skala besar pabrik batubara cair dapat menyebabkan peningkatan yang signifikan dari penambangan batubara. Penambangan batubara akan memberikan dampak negatif yang berbahaya. Penambangan ini dapat menyebabkan limbah yang beracun dan bersifat asam serta akan mengkontaminasi air tanah. Selain dapat meningkatkan efek berbahaya terhadap lingkungan, peningkatan produksi batubara juga dapat menimbulkan dampak negatif pada orang-orang yang tinggal dan bekerja di sekitar daerah penambangan.
2. Menimbulkan efek global warming sebesar hampir dua kali lipat per gallon bahan bakar. Produksi batubara cair membutuhkan batubara dan energi dalam jumlah yang besar. Proses ini juga dinilai tidak efisien. Faktanya, 1 ton batubara hanya dapat dikonversi menjadi 2-3 barel bensin. Proses konversi yang tidak efisien, sifat batubara yang kotor, dan kebutuhan energi dalam jumlah yang besar tersebut menyebabkan batubara cair menghasilkan hampir dua kali lipat emisi penyebab global warming dibandingkan dengan bensin biasa. Walaupun karbon yang terlepas selama produksi ditangkap dan disimpan, batubara cair tetap akan melepaskan 4 hingga 8 persen polusi global warming lebih banyak dibandingkan dengan bensin biasa.

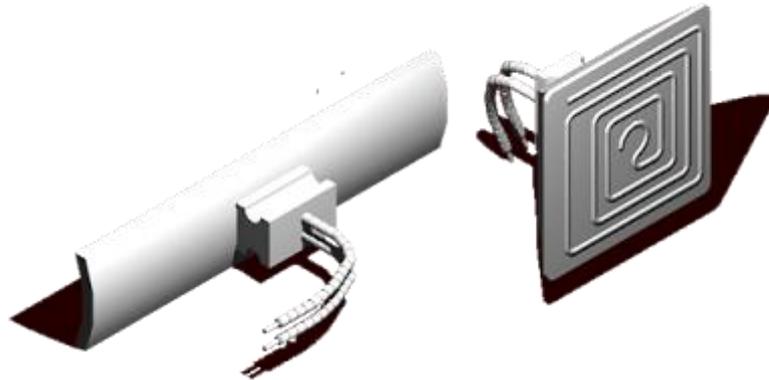
#### ***2.4 Ceramic Heater***

*Ceramic Heater* ataupun pemanas keramik adalah Item kompleks yang menghasilkan panas dengan melewati listrik melalui material ber-resistansi tinggi yang tertanam dalam piringan keramik. Dengan sepenuhnya ditanam dalam keramik maka panas langsung di transfer ke lapisan keramik tersebut. Hal ini juga bermanfaat untuk kawat pemanas sehingga terlindungi dan dapat memperpanjang umur elemen. Penemu dari pemanas keramik tersebut di atas adalah perusahaan Elstein-Werk dari Jerman.

### ***Ceramic Infrared Heater***

*Ceramic Infrared Heater* adalah pemanas infra merah keramik yang dirancang untuk suhu operasi sampai 750°C dan menghasilkan permukaan panas hingga 64 kW/m<sup>2</sup>. Pemanas ini dapat digunakan secara universal dan cocok untuk perakitan daerah radiasi dengan geometri yang diperlukan tersedia dalam tiga desain dan mencakup rentang daya dari 500 W sampai 1000 W. Pemanas *Infrared* mampu menghasilkan panas kapasitas produksi penuh dalam 40 sampai 50 detik dan dingin dalam waktu kurang dari 15 detik. Mereka Karakteristiknya yang sangat baik saat dioperasikan terus menerus atau sebentar-sebentar . Dengan panas yang cepat dan waktu respon dingin. Untuk pemanasan yang paling efisien dan masa operasi lebih lama, aplikasi pemanas kuarsa sekitar 35 sampai 40 watt per inci persegi. Perusahaan Elstein-Werk telah menetapkan standar desain, tipe, daya dan kualitas, diakui di seluruh dunia sejak tahun 1952, untuk keramik pemanas panel infra merah. Elstein dianggap sebagai produsen terkemuka dunia Pemanas Keramik Radiant; menawarkan sumber panas yang sangat efisien untuk berbagai macam aplikasi. Aplikasi-aplikasi tersebut diantaranya:

1. *Laminating*
2. *Thermoforming*
3. Pembentukan Plastik
4. *Fusing*
5. Pemanas Makanan
6. Pencairan
7. Menyalin Peralatan Elektrostatik
8. Pengolahan Makanan
9. Pengeringan Peralatan Film & Foto
10. Pengeringan Tekstil
11. Pengeringan Lacquers dan Cat
12. Pengeringan Cores Pasir
13. Ruang Pemanas



Gambar 4. *Infrared Ceramic Heater*  
(Sumber: <http://muliajaya-heater.blogspot.co.id/2013/05/>)

## 2.5 Batubara

Batubara adalah sedimen organik bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang telah mengalami pembusukan secara biokimia, kimia, dan fisika dalam kondisi bebas oksigen yang berlangsung pada tekanan serta temperatur tertentu pada kurun waktu yang sangat lama.

Pada dasarnya terdapat dua jenis bahan atau material pembentuk batubara, yaitu:

1. *Combustible Material*, yaitu bahan atau material yang dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri senyawa organik seperti dari karbon padat (*Fixed Carbon*), Hidrogen, Nitrogen, Sulfur, dan Oksigen.
2. *Non Combustible Material*, yaitu bahan atau material yang tidak dapat dibakar/dioksidasi oleh oksigen. Material tersebut umumnya terdiri dari senyawa anorganik ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  dan senyawa logam lainnya) yang akan membentuk abu dalam batubara. Kandungan *non combustible material* ini umumnya tidak diinginkan karena akan mengurangi nilai bakarnya.

## 2.6 Klasifikasi Batubara

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

### 1. Klasifikasi Berdasarkan Peringkat Menurut ASTM

ASTM (*American Society for Testing and Material*) merupakan suatu organisasi internasional yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem, dan jasa. Peringkat batubara adalah posisi batubara dalam seri lignit – antrasit. Batubara diklasifikasikan berdasarkan peringkatnya oleh ASTM (*American Standards for Testing and Materials*) seperti pada Tabel 1. Menurut ASTM batubara peringkat rendah (*low rank coal*) adalah batubara yang mempunyai kadar karbon padat ‘dmmf’ <69% atau kadar zat terbang ‘dmmf’ >31%. Urutan batubara dari tingkat tertinggi sampai terendah adalah *anthracite*, *bituminous*, *sub-bituminous*, dan *lignite*. Semakin tinggi kualitas batubara, maka kadar karbon tetap (*fixed carbon*) akan meningkat sedangkan zat terbang (*volatatile matter*) dan *moisture* akan turun. Batubara kualitas rendah seperti *lignite* dan *sub-bituminous* akan memiliki karbon tetap yang rendah dan zat terbang dan *moisture* yang tinggi. Semakin tinggi jenis batubara maka energi yang dihasilkan lebih besar dan bentuknya semakin keras dan berwarna semakin hitam (Putra A.G, 2016).

Berikut ini merupakan gambar batubara berbagai jenis mulai dari lignit sampai antrasit yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 5. Batubara Berbagai Jenis  
(sumber: Sukandarrumidi, 2006)

Ket.:

1. Batubara jenis Lignit
2. Batubara jenis Sub-bituminus
3. Batubara jenis Bituminus
4. Batubara jenis Antrasit

Untuk perhitungan hasil analisa kandungan karbon tertambat dan zat terbang dikalkulasikan dalam dmmf. Berikut ini merupakan rumus untuk merubah basis adb menjadi basis dmmf (ASTM, 1981, dalam Wood dkk,1983):

$$FC (dmmf) = \frac{\{(FC-0,15xS)x100\}}{\{100-(M+1,08xA+0,55xS)\}} \quad (1)$$

$$VM (dmmf) = 100 - FC(dmmf) \quad (2)$$

$$CV (dmmf) = \frac{\{(BTU-50xS)x100\}}{\{100-(M+1,08xA+0,55xS)\}} \quad (3)$$

Ket.:

FC = %Fixed Carbon (adb)

S = %Sulfur (adb)

M = %Moisture (adb)

A = %Abu (adb)

BTU = British Termal Unit;per pound = 1,8185 x CV (adb)

Tabel 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 ATAU >	<	>	SAMA ATAU >	SAMA 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 Bit. A					10.500	11.500
	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

## 2. Klasifikasi menurut ISO (International Standard Organization)

ISO (*International Standardizations Organization*) juga mengeluarkan sistem klasifikasi batubara berdasarkan peringkat, tetapi penentuan peringkatnya menggunakan reflektan vitrinit ( $R_v$ ) 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  $R_v = 0.5\%$ . Batubara peringkat menengah adalah batubara *bituminous* yang mempunyai  $R_v$  antara 0.5 – 2.0. Sedangkan batubara peringkat tinggi adalah kelompok batubara antrasit yang mempunyai  $R_v$  antara 2.0 – 6.0 (Putra A.G, 2016).

Tabel 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

## 2.7 Karakteristik Batubara

Setiap batubara mempunyai karakteristik (ciri khusus) masing-masing tergantung peringkatnya. Berikut ini merupakan karakteristik batubara dari sifat fisika dan kimianya (Putra A.G, 2016).

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

Sifat fisik batubara peringkat rendah yang umum adalah sebagai berikut:

- a. Warnanya coklat kusam, disebut juga batu bara coklat (*brown coal*) kalau dipegang mengotori tangan.
- b. Kekerasannya rendah (lunak) rapuh, disebut juga batu bara lunak (*soft coal*) mudah digerus dan HGI tinggi, kecuali kalau kadar abunya tinggi dan mengandung mineral terutama silika.

- c. Porositasnya tinggi, mudah menyerap air sehingga selama musim hujan kadar air akan tinggi.
- d. Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) kurang dari 0,5%.
- e. Bersifat hidrophilik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah meliputi:

- a. Kadar air-nya tinggi, kadar *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.
- b. Kadar zat terbang tinggi, pada kondisi 'dmmf' > 31% sehingga mudah terbakar.
- c. Sebaliknya kadar karbon rendah, pada kondisi 'dmmf' < 69%.
- d. Nilai kalorinya rendah, pada kondisi 'mmf' (klasifikasi ASTM) < 10.500 Btu/lb.
- e. Kadar oksigen: tinggi sampai > 20% (antrasit 1-2%), menambah oksigen untuk reaksi oksidasi/pembakaran, menyebabkan batu bara mudah terbakar.
- f. Kadar hidrogen tinggi sampai > 5% (antrasit 3%), mudah terbakar.
- g. Kadar logam alkali: bervariasi, tetapi umumnya terikat dengan garam organik, sehingga termasuk alkali reaktif. Senyawa alkali mudah meleleh dan menguap, menyebabkan slagging dan fouling.

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

Sifat fisik batubara peringkat menengah yang umum adalah sebagai berikut:

- a. Warnanya hitam mengkilat, kalau dipegang tidak mengotori tangan disebut juga *black coal*.
- b. Kekerasannya lebih tinggi mempunyai HGI lebih rendah, disebut juga batu bara keras (*hard coal*).
- c. Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) antara 0,5 – 2,0 %.
- d. Bersifat hidrophobik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah meliputi:

- a. Kadar air-nya rendah.
- b. Kadar zat terbang pada kondisi 'dmmf' >14%.
- c. Sebaliknya kadar karbon lebih tinggi, pada kondisi 'dmmf' bisa mencapai 78%.
- d. Nilai kalorinya tinggi, pada kondisi 'mmf' (klasifikasi ASTM) bisa mencapai >14.000 Btu/lb.
- e. Kadar oksigen lebih rendah, bisa mencapai kurang 3%
- f. Kadar hidrogen lebih rendah, bisa kurang dari 4%.
- g. Logam alkali umumnya tidak terikat dengan garam organik, sehingga tidak termasuk alkali reaktif.

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

Sifat fisik batu bara peringkat tinggi yang umum adalah sebagai berikut:

- a. Warnanya hitam mengkilat sampai keperakan, termasuk batubara *black coal*, kalau dipegang tidak mengotori tangan.
- b. Kekerasannya tinggi kecuali proses pembatubarannya karena intrusi, termasuk juga batubara keras (*hard coal*), HGI-nya rendah.
- c. Porositasnya sangat rendah, hampir tidak menyerap air selama musim hujan.
- d. Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) antara 2,0 – 6,0%.
- e. Bersifat hidrophobik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah meliputi:

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

## 2.7 Parameter Kualitas Batubara

Kualitas batubara ditentukan berdasarkan hasil analisis terhadap beberapa parameter kualitas batubara yakni analisis proksimat, ultimat, dan nilai kalor.

### 1. Analisis Proksimat

Analisis yang umum dilakukan pada batubara baik oleh perusahaan pertambangan atau oleh pembeli disebut analisis proksimat. Analisis proksimat ini cukup sederhana tetapi memerlukan peralatan khusus dan standar. Analisa proksimat terdiri dari empat nilai analisis dan jika dijumlahkan akan bernilai 100%. Analisis ini digunakan untuk mengetahui pengaruh pemanasan batubara pada kondisi yang berbeda-beda, yaitu pada suhu tinggi dan suhu rendah, serta dengan udara atau tanpa udara. Keempat nilai tersebut diantaranya:

#### a. Kadar Lengas/Kadar Air

Lengas/Air yang terdapat dalam batubara dapat menempel dipermukaan partikel batubara atau berada didalam batubara. Karena itu, dikenal dengan kadar lengas bebas (*free moisture*) dan kadar lengas terikat (*inherent moisture*).

Kadar lengas bebas berada pada permukaan partikel batubara akibat pengaruh dari luar seperti cuaca/iklim, penyemprotan di *stockpile* pada saat penambangan atau transportasi tergantung dari kondisi penambangan serta keadaan udara pada saat penyimpanan dan dapat hilang dengan penguapan seperti *air drying*. Sedangkan lengas tertambat adalah lengas yang terikat secara kimiawi dan fisika didalam batubara pada saat pembentukan batubara. Lengas ini banyak pengaruhnya pada pengangkutan, penanganan, penggerusan, maupun pada pembakaran batubara. Pada umumnya, kadar lengas terikat semakin tinggi dengan semakin rendahnya peringkat batubara. Batubara peringkat antrasit mengandung sekitar 1-2% lengas terikat, batubara bituminous 2-4%, batubara sub-bituminus 5-10%, dan batubara lignit mengandung lengas terikat diatas 10%.

Kadar lengas terikat diperoleh dari kehilangan berat yang terjadi setelah pemanasan sampel dalam tungku pada suhu 105-110°C.

$$\text{Kadar lengas} = \frac{m_a - m_b}{m_a} \times 100\% \quad (4)$$

Ket.:

$m_a$  = massa sampel awal sebelum dipanaskan (gr)

$m_b$  = massa sampel setelah dipanaskan (gr)

#### b. Kadar Abu

Kadar abu batubara secara sederhana didefinisikan sebagai residu anorganik yang terjadi setelah batubara dibakar sempurna. Abu didalam batubara bisa disebut juga *mineral matter*. *Inherent mineral matter* adalah berhubungan dengan tumbuhan asal pembentukan batubara, mineral matter ini tidak dapat dihilangkan atau dicuci dari batubara. Kemudian untuk *Externous matter* berasal dari tanah penutup atau lapisan-lapisan yang terdapat diantara lapisan batubara. *Mineral matter* ini dapat dikurangi pada saat pencucian batubara. Abu dalam batubara terdiri dari senyawa Si, Al, Fe dan sedikit Ti, Mn, Mg, Na, K dalam bentuk silikat, oksida, sulfide, sulfat, dan prospat, sedangkan unsure seperti As, Cu, Pb, Ni, Zn, dan Uranium terdapat sedikit sekali yang disebut *trace element*.

Kadar abu dihitung dengan cara membakar sampel batubara didalam tungku/*furnace* pada suhu 815°C selama kurang lebih 3 jam. Abu batubara terbentuk dari sisa pembakaran mineral-mineral yang terdapat didalam batubara. Makin banyak mineral yang terdapat didalam batubara maka kadar abunya juga makin tinggi.

$$\text{Kadar Abu} = (m_b - m_a) \times 100\% \quad (5)$$

Ket.:

$m_a$  = massa sampel awal sebelum dipanaskan (gr)

$m_b$  = massa sampel setelah dipanaskan (gr)

#### c. Kadar Zat Terbang

Zat terbang adalah bagian batubara yang mudah menguap saat batubara dipanaskan tanpa udara (didalam tungku tertutup) pada suhu 900°C. Sebagai contoh zat terbang dalam batubara adalah gas CH<sub>4</sub> atau

hasil dari penguraian senyawa kimia dan campuran kompleks yang membentuk batubara. Untuk menganalisis zat terbang, sampel ditempatkan didalam cawan crucible silica kemudian dimasukkan kedalam tungku selama 7 menit. Setelah pemanasan akan tertinggal residu padat yang sebagian besar terdiri dari karbon dan mineral-mineral yang telah berubah bentuk (tidak selalu abu).

$$\text{Kadar Zat Terbang} = \left( \frac{m_a - m_b}{m_a} \times 100\% \right) - \% \text{kadar lengas} \quad (6)$$

Ket.:

$m_a$  = massa sampel awal sebelum dipanaskan (gr)

$m_b$  = massa sampel setelah dipanaskan (gr)

#### d. Karbon Tertambat

Karbon tertambat dihitung dari 100% dikurangi jumlah nilai kadar lengas, kadar abu, dan zat terbang. Dalam bentuk persamaan karbon tertambat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{FC} = 100\% - (\text{M} + \text{A} + \text{VM})\% \quad (7)$$

Ket.:

FC = Fixed Carbon / Karbon Tertambat

M = Moisture / Lengas

A = Abu

VM = Volatile Matter / Zat Terbang

## 2. Analisis Ultimat

Analisis ultimat bermanfaat untuk menentukan kelas batubara. Analisis ini adalah cara yang paling sederhana untuk menunjukkan unsure pembentuk batubara dan dengan mengabaikan senyawa-senyawa kompleks yang ada dengan hanya menentukan unsur-unsur kimia pembentuknya yang penting.

Sebagian besar senyawa organik penyusun batubara terdiri dari karbon dan hydrogen. Penentuan kadar karbon dan hydrogen dapat dengan menggunakan alat *Micro Combustion Furnace*. Jumlah nitrogen yang terdapat dalam batubara biasanya jauh lebih rendah daripada unsure-unsur lain. Kadar Nitrogen

dapat ditentukan dengan metode kjedahl. Kemudian kadar oksigen total biasanya dihitung dengan cara  $100\% - (\text{abu} + \text{C} + \text{H} + \text{N} + \text{S})\%$ .

Berikut merupakan persen kandungan komposisi batubara dari berbagai jenis yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Komposisi batubara dari berbagai jenis

Jenis Batubara	Persentase Massa				
	% C	% H	% O	% H <sub>2</sub> O	% Volatile Matter
Lignit	60-70	5-6	20-30	50-70	45-55
Subbituminous	75-80	5-6	15-20	25-30	40-45
Bituminous	80-90	4-5	10-15	5-10	20-40
Antrasit	90-95	2-3	2-3	2-5	5-7

(Sumber: Sukandarrumidi, 2006)

### 3. Nilai Kalor

Nilai kalor menunjukkan jumlah panas yang dihasilkan apabila sejumlah batubara tertentu dibakar. Nilai kalor ditentukan dari kenaikan suhu pada saat sejumlah tertentu batubara pada kondisi adb dibakar didalam alat calorimeter (Bom Calorimeter) dengan udara berlebih. Nilai yang diperoleh adalah nilai kalor kotor atau *Gross Calorific Value* (GCV) pada volum konstan. Nilai GCV menyatakan jumlah panas total yang diperoleh dari suatu batubara melalui pengukuran standard an semua produk pembakaran dikembalikan pada suhu ruangan. Sedangkan nilai *Net Calorific Value* (NCV) menyatakan panas yang hilang misalnya panas sensible dan panas laten produk pembakaran.

## 2.8 Pelarut dalam Proses Likuifaksi batubara

Pertimbangan dalam pemilihan pelarut (Busron masduki dkk, 201) adalah:

- a. Dapat melarutkan umpam batubara dengan baik.
- b. Sebagai medium untuk melarutkan hasil yang diperoleh.
- c. Membantu pelarutan  $H_2$  sehingga memudahkan perpindahan massa  $H_2$  menuju katalisator dan batubara.
- d. Berperan dalam proses hidrogenasi batubara dan produknya sebagai donor-H dan perpindahan massa  $H_2$  ke batubara dari fase gas atau dari pelarut yang digunakan untuk hidrogenasi tersebut.

Salah satu pelarut yang dapat digunakan adalah kerosen. Kerosen adalah cairan minyak berwarna bening hingga kuning pucat dengan bau yang kuat. Kerosene merupakan campuran alkana dengan rantai  $C_{12}H_{26}$ - $C_{15}H_{32}$ . Komposisi kerosene terdiri dari senyawa hidrokarbon jenuh (paraffin), naftan, aromatic, dan senyawa belerang.

Adapun spesifikasi dari kerosen adalah sebagai berikut :

- Rumus Molekul :  $C_{12}H_{26}$ - $C_{15}H_{32}$
- Berat molekul : 170 gr/mol
- Densitas : 0,78 gr/mL pada  $15^\circ C$
- Titik didih :  $175^\circ C$
- Titik nyala :  $38^\circ C$
- Tekanan Uap : 0,480 mmHg pada  $20^\circ C$
- Kelarutan : Tidak larut dalam air, larut dalam petroleum lain

## 2.9 Katalis dalam Proses Likuifaksi Batubara

Katalisator digunakan untuk menurunkan energi aktivasi zat-zat pereaksi, sehingga pada suhu yang tetap reaksi berlangsung lebih cepat. Makin banyak katalisator yang digunakan, konversi akan bertambah, tetapi pada suatu saat penambahan katalisator tidak akan menambah hasil cair yang berarti. Selain itu penggunaan katalisator dalam proses likuifaksi batubara dapat mereduksi kandungan sulfur dalam produk (Masduki, dkk., 2001).

Dalam proses pencairan batubara, ada dua tipe katalis yang biasa digunakan, yaitu katalis tersangga (*supported catalyst*) dan katalis terdispersi (*dispersed catalyst*). Katalis tersangga seperti Co-Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Ni-Mo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki aktivitas yang cukup baik tetapi harganya mahal. Sementara itu katalis terdispersi sulit diresikel sehingga biasanya hanya digunakan sekali sebelum dibuang. Oleh karenanya, salah satu syarat katalis terdispersi adalah harus berharga murah seperti katalis Seng Klorida. Seng klorida yang berupa kristal putih dan tidak berbau akan cair pada kondisi reaksi dan pada gilirannya berfungsi untuk mengatasi beberapa masalah dalam katalisis heterogen. Keuntungan tambahan dari menggunakan seng klorida termasuk minim penggunaan hidrogen dan kemungkinan katalis diresikel melebihi 99%. Peneliti juga telah mengembangkan proses percontohan memanfaatkan seng klorida sebagai katalis utama (Ghandi, 2013).

Adapun spesifikasi dari zink klorida (ZnCl<sub>2</sub>) adalah sebagai berikut :

1. Berat Molekul : 136,3 gr/mol
2. Titik didih : 732°C
3. Titik Lebur : 290°C
4. Tekanan Uap pada 428°C : 1 mmHg
5. Densitas : 2,91 gr/mL
6. Kelarutan pada 25°C : 423 gr/100 gr Air
7. pH : 4