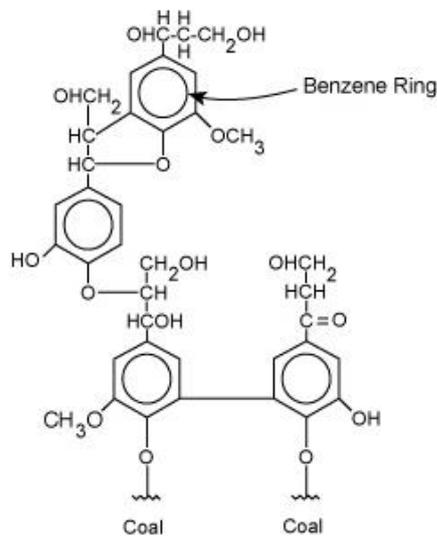


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Batubara

Batubara merupakan salah satu kekayaan alam terbesar yang dimiliki Indonesia. Batubara terdiri atas campuran senyawa-senyawa organik yang tersusun dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Senyawa-senyawa organik ini bercampur dengan air dan mineral-mineral di dalam tanah pada berbagai komposisi. Komponen-komponen ini melalui proses fisik dan kimiawi yang melibatkan panas dan pepadatan dalam kurun waktu yang lama.

Semakin tinggi peringkat batubara semakin tinggi kandungan karbon dan kekerasannya sedangkan kandungan oksigen, hidrogen dan reaktivitasnya turun. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit.



Gambar 1. Rumus bangun batubara  
(Sumber : Sukandarrumidi, 2006)

Setiap batubara mempunyai karakteristik (ciri khusus) masing-masing tergantung peringkatnya. Karakteristik yang paling mudah dikenali adalah sifat fisiknya.

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

Sifat fisik batubara peringkat rendah yang umum adalah sebagai berikut:

- Warnanya cokelat kusam, disebut juga batu bara cokelat (*brown coal*) kalau dipegang mengotori tangan.
- 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.
- Porositasnya tinggi, mudah menyerap air sehingga selama musim hujan kadar air akan tinggi.
- Reflektan vitrinit ( $R_v$ ) kurang dari 0,5%.
- Bersifat hidrophilik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah meliputi:

- 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.
- 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 batu bara mudah terbakar.
- Kadar hidrogen tinggi sampai >5% (antrasit 3%), mudah terbakar.
- 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:

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

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah 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) Batubara Peringkat Tinggi (*High Rank Coal*)

Sifat fisik batu bara 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.
- Porositasnya sangat rendah, hampir tidak menyerap air selama musim hujan.
- Reflektan vitrinit (Rv) antara 2,0 – 6,0%.
- Bersifat hidrophobik.

Sedangkan sifat kimia batubara peringkat rendah 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 batu bara 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.

## 2.2 *Coal Liquefaction* (Pencairan Batubara)

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.

Pencairan batubara:

- 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.
  - Rasio atom H/C ditingkatkan (supaya menjadi liquid).

Ada empat cara pada proses pencairan batubara:

- a) **Pyrolysis:** Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini atau disebut juga proses karbonisasi atau proses untuk memperoleh karbon atau arang, disebut juga *High Temperature Carbonization* pada suhu 450<sup>0</sup>C-500<sup>0</sup>C.

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. Pada proses pirolisis akan didapatkan residu padat berupa tar yang berkadar karbon tinggi serta minyak dan gas berkadar hidrogen tinggi yang akan digunakan untuk mengkonversi menjadi bahan bakar cair (Hidayat, 1995). 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 325°C sampai dengan 500°C, tekanan bisa bervariasi 10 bar sampai dengan 350 bar).

*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*.

Ada beberapa faktor penting yang mempengaruhi hasil konversi produk dan konsumsi hidrogen pada proses pencairan batubara, antara lain:

- a. Pengaruh peringkat batubara

Peringkat asal batubara mempengaruhi konversi produk yang dihasilkan. Batubara peringkat rendah pada umumnya tersusun dari kelompok-kelompok aromatik kecil yang mengandung banyak kelompok lintas hubungan serta fungsional yang sangat reaktif dalam menjalani pemutusan ikatan secara cepat dan luas selama proses pencairan berlangsung (Barsky dkk., 2009). Menurut Marco dkk. (1990) yang melakukan pencairan dengan variabel peringkat batubara, menyimpulkan bahwa batubara peringkat rendah menghasilkan produk cair lebih tinggi dari pada batubara peringkat tinggi.

- b. Pengaruh rasio batubara/pelarut

Rasio batubara/pelarut (*coal-solvent ratio*) yang digunakan mempunyai peranan yang penting dalam menaikkan konversi produk yang dihasilkan. Pelarut yang digunakan biasanya mengandung hidroaromatik, seperti: tetralin, dekalin, dihidroantresen, dihidrofenantren dan lain lain. Pelarut yang dipilih biasanya mempunyai temperatur super kritis pirolisis batubara, sebagai contoh: tetralin mempunyai temperatur kritis 448°C, sehingga proses pencairan biasanya dilakukan sekitar temperatur 450°C. 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.

c. Pengaruh kondisi operasi

Kondisi operasi proses pencairan batubara yang utama disini adalah :

- Pengaruh temperatur operasi

Temperatur operasi pencairan batubara biasanya terjadi antara 375°C-450°C. Batubara bituminus bila dipanaskan pada temperatur 325°C-350°C akan lunak dan bersifat plastis, keadaan ini disebut "*plasticstate*", dan pada kondisi ini kecepatan reaksi berjalan sangat lambat, bahkan belum terjadi reaksi. Laju pemanasan yang cepat untuk mencapai temperatur operasi optimum akan melindungi bagian reaktif batubara terhadap polimerisasi.

- Pengaruh waktu operasi

Waktu operasi proses pencairan batubara sekitar 20 menit sampai 2 jam, peningkatan konversi batubara menjadi produk minyak dengan kenaikan waktu operasi sampai 200 menit.

### 2.2.1 Substitusi Radikal Bebas

#### 1) Reaksi Substitusi

Reaksi ini merupakan dimana sebuah atom pada molekul digantikan oleh atau atom-atom lain. Termasuk didalam substitusi radikal bebas yaitu pemutusan ikatan karbon-hidrogen pada alkana seperti :

methane	$\text{CH}_4$
ethane	$\text{CH}_3\text{CH}_3$
propane	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$

Ikatan baru nantinya membentuk sesuatu yang lain. Juga termasuk pada alkil seperti metil dan etil.

metil	$\text{CH}_3$
etil	$\text{CH}_3\text{CH}_2$

Sebagai contoh asam etanoik berupa  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dan mengandung sebuah metil. Ikatan karbon-hidrogen sama seperti metan yang bisa diputuskan dan digantikan oleh atom yang lain.

Berikut ini contoh sederhana substitusi yaitu antara metan dan klorin dengan adanya sinar ultraviolet (atau sinar matahari).

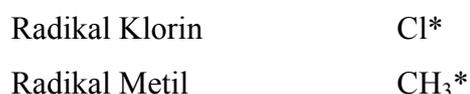


Perhatikan bahwa atom hidrogen pada metan digantikan dengan atom klorin. Itulah yang disebut dengan substitusi.

## 2) Reaksi radikal bebas

Radikal bebas merupakan atom atau grup atom yang memiliki sebuah elektron tidak berpasangan/bebas. Reaksi substitusi radikal bebas merupakan reaksi yang berhubungan dengan radikal bebas. Radikal bebas dibentuk jika ikatan terbelah menjadi dua yang sama sehingga setiap atom mendapat satu dari dua elektron yang dipakai untuk berikatan. Disebut juga sebagai pembelahan homolitik.

Untuk menunjukkan sesuatu (atom atau grup atom) merupakan radikal bebas, dituliskan dengan simbol titik untuk menunjukkan elektron yang titik berpasangan. Sebagai contoh :



### 2.2.2 Thermal Cracking pada Alkana

#### Karakteristik Alkana

Alkana merupakan molekul yang sangat tidak reaktif. Umumnya reaksi memerlukan input energi untuk menginisiasi reaksi contohnya pada pemutusan ikatan pada temperatur tinggi. Kurang reaktifnya senyawa ini disebutkan oleh dua faktor :

- a) Kekuatan ikatan  
Ikatan C-C dan C-H yang kuat sehingga tidak mudah untuk melakukan pemutusan ikatan.
- b) Sifat ikatan
  - Karbon dan hidrogen memiliki keelektronegatifan yang sama sehingga tak ada ikatan polar yang mudah memberikan atom karbon positif

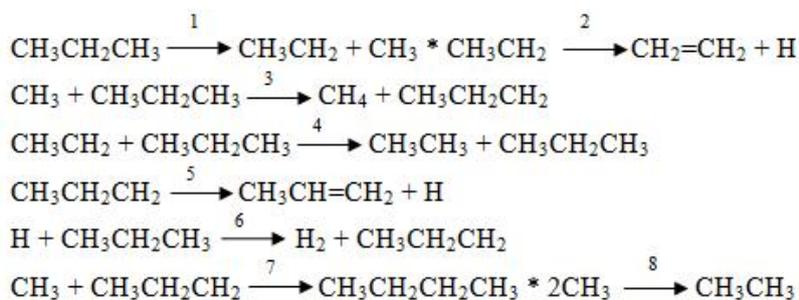
yang mudah diserang pasangan elektron donor yang bersifat elektrofilik.

- Seluruh ikatan C-C dan C-H merupakan ikatan kovalen tunggal dan tidak ada daerah yang memiliki densitas elektron yang tinggi dan dapat menyerang pasangan elektron donor yang bersifat elektrofilik.

### 2.2.3 Thermal Cracking Radikal Bebas pada Alkana

- e.g. **CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub> = => CH<sub>4</sub>, CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>=CHCH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>**
  - Persamaan ini tidak dimaksudkan untuk disetarakan tetapi hanya menunjukkan variasi produk.
- Ketika hidrokarbon alkana dipanaskan pada temperatur tinggi maka senyawa tersebut akan terdekomposisi secara termal atau terputus menjadi beberapa alkana dengan jumlah atom C yang lebih sedikit atau alkana jumlah atom C yang sama atau lebih sedikit.

Radikal bebas *thermal cracking* alkana



- Jika temperatur cukup tinggi, energi kinetik dari partikel kekurangan untuk menyebabkan fisis ikatan pada saat tumbukan dan ini menyebabkan reaksi rantai radikal bebas.
- Langkah (1) adalah langkah *inisiasi* dimana ikatan C-C pada suatu molekul alkana dipecah menjadi dua radikal bebas alkyl dengan fisis ikatan homolitik. Ini artinya pasangan elektron pada ikatan C-C dipecah antara dua radikal yang terbentuk.
- Ikatan terlemah yang pertama kali akan terputus dalam langkah inisiasi, ikatan C-C (entalpi ikatan 348 kJ/mol) akan cenderung pertama kali terputus. Sedangkan ikatan C-H lebih kuat (entalpi ikatan 412 kJ/mol).

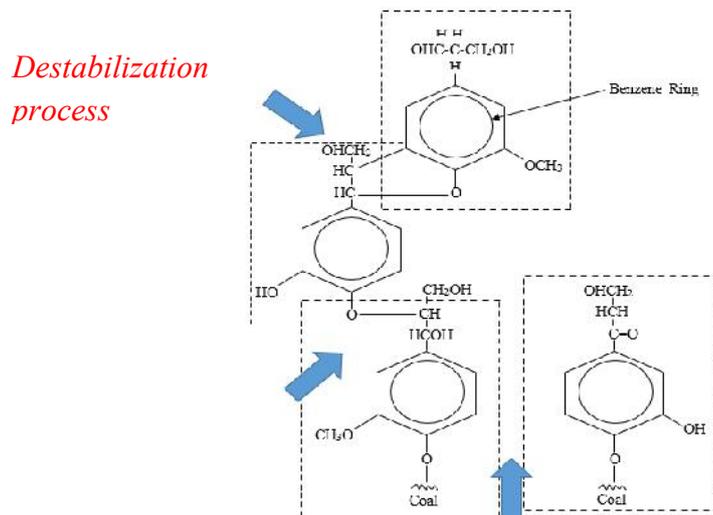
- Titik merah menunjukkan elektron yang tidak berpasangan pada radikal bebas.
- Radikal bebas adalah jenis yang kereaktifannya tinggi dengan elektron yang tidak berpasangan dan cenderung membentuk ikatan baru dengan cepat, dalam hal ini dengan cara :
  - Menghilangkan hidrogen dari molekul dengan langkah (2) sampai (6) atau berpasangan dengan radikal lainnya contohnya langkah (7) dan (8).
- Langkah (2) sampai (6) adalah langkah *propagasi* rantai, karena sama halnya dengan hasil, radikal bebas juga terus dihasilkan untuk melanjutkan reaksi rantai dan menyebabkan, dalam hal ini bermacam-macam produk lain.
- Langkah (7) dan (8) adalah dua kemungkinan langkah *terminasi* rantai yang menghilangkan kereaktifan alkyl radikal bebas yang tinggi. Elektron yang tidak berpasangan dari dua radikal akan berpasangan sehingga membentuk ikatan baru.
- Juga dapat melakukan terminasi dengan bentuk alkena dan alkana secara simultan.
  - Contoh,  $2\text{CH}_3\text{CH}_2 \longrightarrow \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}_3\text{CH}_3$
  - Atau kombinasi isomer untuk membentuk methylpropana  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$  seperti butan yang diharapkan.

#### 2.2.4 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 destabilisasi ini dilakukan dengan menggunakan medan elektromagnet dan elektrolisis secara simultan. Medan elektrolisis akan menyebabkan terjadinya gangguan dan *splitting* pada level energi bilangan kuantum magnetik atom yang berikatan sedangkan elektrolisis akan mengacaukan gaya Van der Waalsnya. Dengan memanfaatkan senyawa-senyawa minor pada

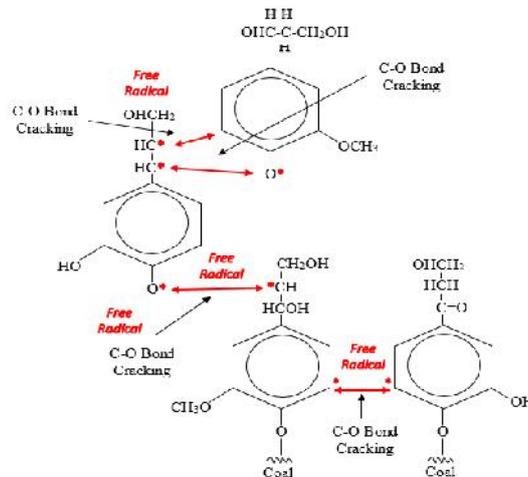
batubara maka akan membantu untuk melemahkan gaya van der Waals molekul-molekul batubara sehingga molekul ini merenggang jaraknya. Selanjutnya pelarut akan masuk ke dalam pori-pori molekul sehingga akan terjadi pembengkakan (*swelling*) molekul-molekul batubara ini.



Gambar 2. Proses Destabilisasi pada ikatan batubara  
(Sumber : Nurisman, 2007)

## 2. Depolymerisation

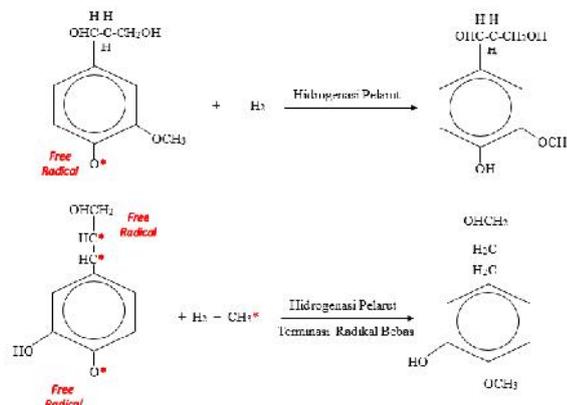
Bagian ini lebih dikenal dengan proses perengkahan panas (*thermal cracking*). Batubara yang telah mengalami proses pembengkakan (*swelling*) dengan bantuan panas dari luar akan membantu memutuskan ikatan antar molekul-molekul batubara. Tahapan *thermal cracking* didahului oleh ikatan inisiasi dengan 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.



Gambar 3. Proses *Thermal Cracking* pada ikatan batubara  
(Sumber : Nurisman, 2007)

### 3. Tahap Stabilisasi

Tahap ini bertujuan untuk menstabilkan radikal bebas yang terbentuk selama *thermal cracking* terjadi. Bagian ini dikenal dengan proses ekstraksi pelarut (*solvent extraction*). 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. tahap ini juga diharapkan dalam keadaan yang turbulensi agar proses ekstraksi batubara oleh pelarut lebih cepat dan homogen.



Gambar 4. Proses *Thermal Cracking* pada ikatan batubara  
(Sumber : Nurisman, 2007)

### 2.3 Pelarut dalam Proses Pencairan Batubara

Proses likuifaksi batubara dijalankan pada suhu 315-470°C, melalui dua cara yaitu dengan menggunakan proses pelarutan (solvasi) dan tanpa menggunakan pelarut. Cara pertama batubara dilarutkan dalam pelarut tertentu yang mempunyai sifat donor-H ataupun tidak, kemudian hidrogen bertekanan diinjeksikan ke dalamnya. Pada cara kedua dilakukan hidrogenisasi secara langsung tanpa menggunakan 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 :

- dapat melarutkan umpan batubara dengan baik,
- sebagai medium untuk melarutkan hasil yang diperoleh,
- membantu pelarutan H<sub>2</sub> sehingga memudahkan perpindahan massa H<sub>2</sub> menuju katalisator dan batubara,
- berperan dalam proses hidrogenasi batubara dan produknya sebagai donor-H dan perpindahan massa H<sub>2</sub> ke batubara dari fase gas atau dari pelarut yang digunakan untuk hidrogenasi tersebut (Masduki, dkk., 2001).

Salah satu pelarut yang umum digunakan adalah kerosin adalah cairan minyak berwarna bening hingga kuning pucat dengan bau yang kuat. Kerosin merupakan campuran alkana dengan rantai C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>-C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>. Komposisi kerosin terdiri dari senyawa hidrokarbon jenuh (paraffin), naftan, aromatik, dan senyawa belerang.

Adapun spesifikasi dari kerosin adalah sebagai berikut :

- Rumus Molekul : C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>-C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>
- Berat molekul : 170 gr/mol
- Densitas : 0,78 gr/mL pada 15°C
- Titik didih : 175°C
- Titik nyala : 30 °C
- Tekanan Uap : 0,480 mmHg pada 20°C
- Kelarutan : Tidak larut dalam air, larut dalam petroleum lain

## 2.4 Katalis dalam Proses Pencairan 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 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. Katalis terdispersi, sementara itu, sulit diresikel sehingga biasanya hanya digunakan sekali sebelum dibuang. Oleh karenanya, salah satu syarat katalis terdispersi adalah harus berharga murah seperti katalis dasar besi (*Fe based catalyst*) (Hidayat, 2007).

Selain kedua katalis tersebut, dalam proses pencairan batubara, halida logam berpotensi sebagai katalis dan memiliki aktivitas yang ditunjukkan untuk pencairan batubara. Di antara berbagai halida logam, seng klorida adalah salah satunya. 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 :

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

## 2.5 Kelebihan dan Kekurangan Likuifaksi Batubara

Kelebihan likuifaksi 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.

## **2.6 Ceramic IR Heater**

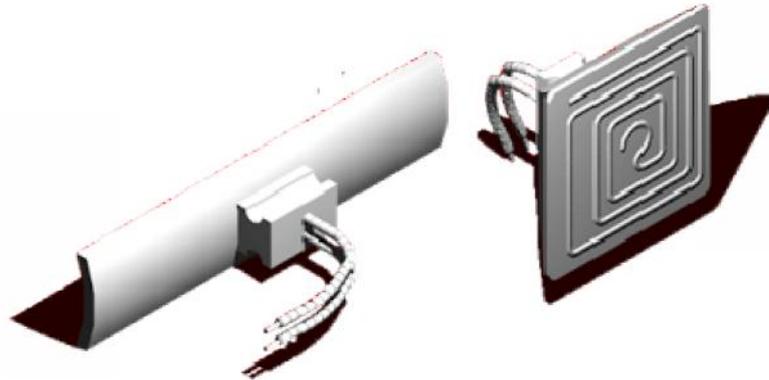
*Ceramic IR Heater* ataupun pemanas keramik adalah Item kompleks yang menghasilkan panas dengan melewati listrik melalui material ber-resistansi tinggi yang tertanam dalam piringan keramik. Dengan sepenuhnya ditanam dalam keramik maka panas langsung di transfer ke lapisan keramik tersebut. Hal ini juga 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* 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 *Infra red* mampu menghasilkan panas kapasitas produksi penuh dalam 40 sampai 50 detik dan dingin dalam waktu kurang dari 15 detik.

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