

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BATUBARA

2.1.1 Proses Pembentukan Batubara

Batubara merupakan sedimen organik, lebih tepatnya merupakan batuan organik, terdiri dari kandungan bermacam-macam pseudomineral. Proses pembentukan batubara sendiri secara singkat dapat didefinisikan sebagai suatu perubahan dari sisa-sisa tumbuhan yang ada, mulai dari pembentukan peat (peatifikasi) kemudian lignit dan menjadi berbagai macam tingkat batubara, disebut juga sebagai proses coalifikasi, yang kemudian berubah menjadi antrasit. Dalam hal ini peat tidak dimasukkan sebagai golongan batubara, namun terbentuknya peat merupakan tahap awal dari terbentuknya batubara. Jadi pembentukan batubara berlangsung dengan penimbunan akumulasi dari sisa tumbuhan yang mengakibatkan perubahan seperti pengayaan unsur karbon, alterasi, dan pengurangan kandungan air^[9]

Pembentukan batubara ini sangat menentukan kualitas batubara, dimana proses 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 kenaikan 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 perlipatan 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.

2.1.2 Komponen Penyusun Batubara

Konsep bahwa batubara berasal dari sisa tumbuhan diperkuat dengan ditemukannya cetakan tumbuhan di dalam lapisan batubara. Dalam penyusunannya batubara diperkaya dengan berbagai macam polimer organik yang berasal dari antara lain karbohidrat, lignin, dan lain-lain. Namun komposisi dari polimer-polimer ini bervariasi tergantung pada spesies dari tumbuhan penyusunnya. Lignin merupakan suatu unsur yang memegang peranan penting dalam merubah susunan sisa tumbuhan menjadi batubara. Sementara ini susunan molekul umum dari lignin belum diketahui dengan pasti, namun susunannya dapat diketahui dari lignin yang terdapat pada berbagai macam jenis tanaman. Sebagai contoh lignin yang terdapat pada rumput mempunyai susunan p-koumaril alkohol yang kompleks. Pada umumnya lignin merupakan polimer dari satu atau beberapa jenis alkohol. Hingga saat ini, sangat sedikit bukti kuat yang mendukung teori bahwa lignin merupakan unsur organik utama yang menyusun batubara. Gula atau monosakarida merupakan alkohol polihirik

yang mengandung antara lima sampai delapan atom karbon. Pada umumnya gula muncul sebagai kombinasi antara gugus karbonil dengan hidroksil yang membentuk siklus hemiketal. Bentuk lainnya muncul sebagai disakarida, trisakarida, ataupun polisakarida. Jenis polisakarida inilah yang umumnya menyusun batubara, karena dalam tumbuhan jenis inilah yang paling banyak mengandung polisakarida (khususnya selulosa) yang kemudian terurai dan membentuk batubara. Protein merupakan bahan organik yang mengandung nitrogen yang selalu hadir sebagai protoplasma dalam sel makhluk hidup. Struktur dari protein pada umumnya adalah rantai asam amino yang dihubungkan oleh rantai amida. Protein pada tumbuhan umumnya muncul sebagai steroid, lilin.

Resin merupakan material yang muncul apabila tumbuhan mengalami luka pada batangnya. Tanin umumnya banyak ditemukan pada tumbuhan, khususnya pada bagian batangnya. Alkaloida merupakan komponen organik penting terakhir yang menyusun batubara. Alkaloida sendiri terdiri dari molekul nitrogen dasar yang muncul dalam bentuk rantai. Porphirin merupakan komponen nitrogen yang berdasar atas sistem pyrrole. Porphirin biasanya terdiri atas suatu struktur siklik yang terdiri atas empat cincin pyrrole yang tergabung dengan jembatan methin. Kandungan unsur porphirin dalam batubara ini telah diajukan sebagai marker yang sangat penting untuk mendeterminasi perkembangan dari proses coalifikasi.

Unsur hidrokarbon terdiri atas bisiklik alkali, hidrokarbon terpenin, dan pigmen kartenoid. Sebagai tambahan, munculnya turunan picene yang mirip dengan sistem aromatik polinuklir dalam ekstrak batubara dijadikan tanda inklusi material sterane-type dalam pembentukan batubara. Ini menandakan bahwa struktur rangka tetap utuh selama proses pematangan, dan tidak adanya perubahan serta penambahan struktur rangka yang baru.

Selain material organik yang telah dibahas diatas, juga ditemukan adanya material inorganik yang menyusun batubara. Secara umum mineral ini dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu unsur mineral inheren dan unsur mineral eksternal. Unsur mineral inheren adalah material inorganik yang berasal dari tumbuhan yang menyusun bahan organik yang terdapat dalam lapisan batubara. Sedangkan unsur mineral eksternal merupakan unsur yang dibawa dari luar kedalam lapisan batubara, pada umumnya jenis inilah yang menyusun bagian inorganik dalam sebuah lapisan batubara.

Heteroatom dalam batubara bisa berasal dari dalam (sisa-sisa tumbuhan) dan berasal dari luar yang masuk selama terjadinya proses pematangan. Nitrogen pada batubara pada umumnya ditemukan dengan kisaran 0,5 – 1,5 % w/w yang kemungkinan berasal dari cairan yang terbentuk selama proses pembentukan batubara. Oksigen pada batubara dengan kandungan 20 – 30 % w/w terdapat pada lignit atau 1,5 - 2,5 % w/w untuk antrasit, berasal dari bermacam-macam material penyusun tumbuhan yang terakumulasi ataupun berasal dari inklusi oksigen yang terjadi pada saat kontak lapisan source dengan oksigen di udara terbuka atau air pada saat terjadinya sedimentasi. Variasi kandungan sulfur pada batubara berkisar antara 0,5 – 5 % w/w yang muncul dalam bentuk sulfur organik dan sulfur inorganik yang umumnya muncul dalam bentuk pirit. Sumber sulfur dalam batubara berasal dari berbagai sumber. Pada batubara dengan kandungan sulfur rendah, sulfurnya berasal material tumbuhan penyusun batubara. Sedangkan untuk batubara dengan kandungan sulfur menengah-tinggi, sulfurnya berasal dari air laut.^[10]

2.1.3 Kualitas dan Klasifikasi Batubara

Kualitas batubara ditentukan dengan analisis batubara di laboratorium, diantaranya adalah analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air, zat terbang, karbon padat, dan kadar abu, sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara seperti : karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, unsur tambahan dan juga unsur jarang. Kualitas batubara ini diperlukan untuk menentukan apakah batubara tersebut menguntungkan untuk ditambang selain dilihat dari besarnya cadangan batubara di daerah penelitian. Untuk menentukan jenis batubara, digunakan klasifikasi *American Society for Testing and Material*. (Tabel 2.1)

2.2 DEKOMPOSISI TERMAL BATUBARA

2.2.1 Temperatur Termal Dekomposisi

Analisis termogravimetri (TGA) telah memainkan peranan penting dalam mempelajari dekomposisi termal dalam bahan bakar padat, termasuk dalam hal ini batubara.^[6] Analisa ini merupakan suatu cara yang cepat dan secara teknis efektif dalam segi biaya untuk mengamati parameter pembakaran batubara dan proses volatilisasi (dekomposisi pada *volatile matter*).

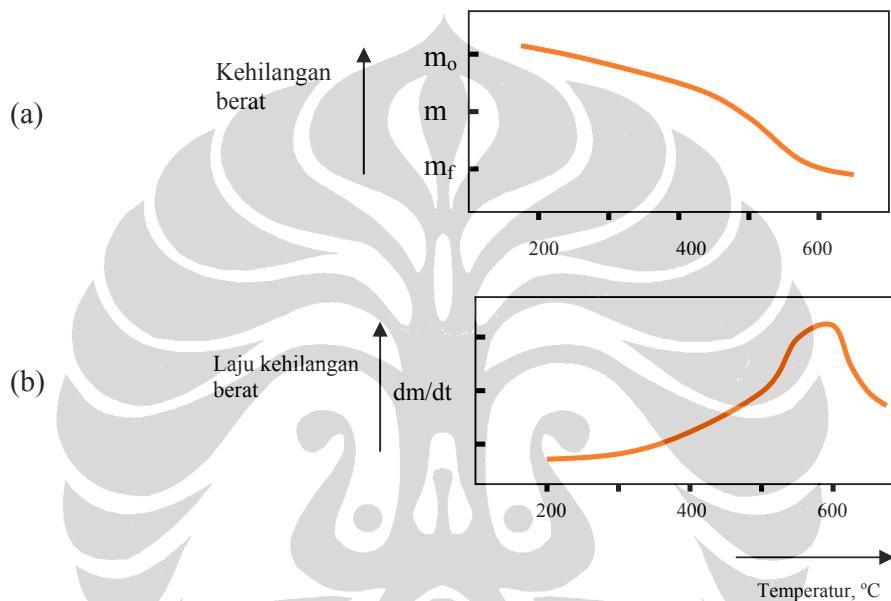
Tabel 2.1 Klasifikasi batubara berdasarkan tingkatnya (ASTM, 1981)^[2]

Class	Group	Fixed Carbon, % , dmmf		Volatile Matter Limits, % , dmmf		Calorific Value Limits BTU per pound (mmmf)		
		Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	Agglomerating Character
I Anthracite*	1.Meta-anthracite	98			2			nonagglomerating
	2.Anthracite	92	98	2	8			
	3.SemianthraciteC	86	92	8	14			
II Bituminous	1.Low volatile bituminous coal	78	86	14	22			
	2.Medium volatilebituminous coal	69	78	22	31			
	3.High volatile A bituminous coal		69	31		14000 ^D		commonly
	4.High volatile B bituminous coal					13000 ^D	14000	agglomerating ^{**E}
	5.High volatile C bituminous coal					11500	13000	
						10500	11500	agglomerating
III Subbituminous	1.Subbituminous A coal					10500	11500	
	2.Subbituminous B coal					9500	10500	
	3.Subbituminous C coal					8300	9500	nonagglomerating
IV. Lignite	1.Lignite A					6300	8300	
	1.Lignite B						6300	

Istilah dekomposisi termal atau pirolisis, maupun karbonisasi sudah sering digunakan. Pemahaman tentang kelakuan termal dari batubara seperti layaknya pemahaman tentang kelakuan kimiawi dari batubara^[11]. Saat batubara dipanaskan ke temperatur tinggi dalam suatu inert atmosfer, batubara akan terdekomposisi dengan evolusi air, tar, dan gas akan meninggalkan suatu sisa padatan dimana komposisi dan sifat-sifatnya bervariasi bergantung pada temperatur perlakuan panas. Walaupun biasanya diasosiasikan dengan kisaran temperatur (350 – 500 °C), dimana proses devolitisasi berlangsung secara cepat, dekomposisi termal sebenarnya mulai terjadi

pada temperatur yang lebih rendah. Dan diilustrasikan sebagai suatu kurva dekomposisi material, seperti pada gambar 2.1 , dan terbagi dalam tiga tingkatan.

Pada tingkat pertama batubara dengan massa, m_0 (lihat gambar 2.1.a) dibawah temperatur 200°C , dekomposisi masih terjadi perlahan dan mulai melepaskan sejumlah kecil kombinasi kimia air, oksida dari karbon, dan hidrogen. Pada massa m dari batubara di atas 200°C , terjadi pemanasan awal (preheating) yang cenderung terjadinya perubahan berbentuk 'cake'.



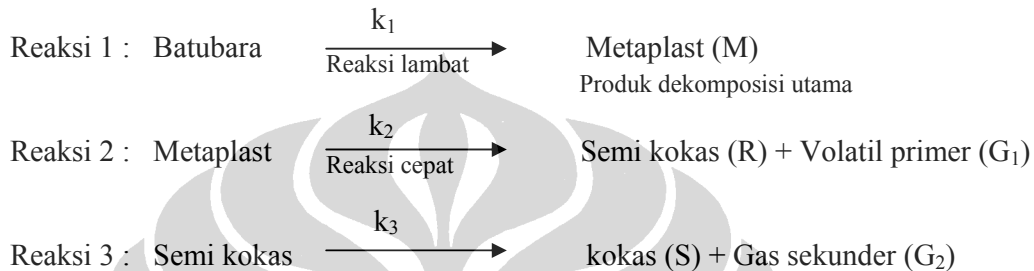
Gambar 2.1 Dekomposisi Material

Tingkatan kedua, yang kadangkala disebut sebagai dekomposisi termal aktif, mulai terjadi pada temperatur antara 350°C dan 400°C dan berakhir pada saat mendekati 550°C . Sekitar 75% *volatile matter* lepas dari batubara, termasuk juga semua tar, hidrokarbon ringan yang dapat menguap. Pada temperatur awal 400°C ini dikatakan sebagai temperatur awal untuk proses dekomposisi material. Perubahan fase terjadi antara $350 - 450^{\circ}\text{C}$ yaitu suatu karakteristik kondisi plastis dimana terbentuk kokas berpori.

Tingkat akhir dari dekomposisi ini, ditunjukkan garis yang mulai mendatar, yang pada akhirnya menjadi massa m_f (massa final, suatu residu berupa grafit yang solid). Saat ini terjadi degasifikasi kedua. Dalam prakteknya, komposisi dan jumlah *volatile matter* berubah melepaskan diri pada temperatur $800 - 850^{\circ}\text{C}$.

Dari gambar 2.1.b, dapat dilihat bahwa kehilangan berat dari material dapat digambarkan dengan hubungan antara laju kehilangan berat dm/dt terhadap temperatur. Dari kurva yang terbentuk akan terlihat beberapa puncak yang menunjukkan puncak laju kehilangan berat dari dekomposisi material pada fase waktu dan temperatur tertentu.

Dekomposisi dari batubara dapat terjadi dalam tiga tingkat reaksi yang didasarkan pada hasil pengamatan analisis termal.



Pada saat reaksi (1), terjadi pembentukan fase menengah yang tidak stabil (metaplast), pada sebagian besar massa akan terjadi pembentukan plastifikasi. Reaksi (2) adalah fase pembentukan menjadi semi kokas atau resolidifikasi dari sistem plastis batubara. Produk lainnya adalah volatil primer. Reaksi (3), fase pembentukan dari semi kokas menjadi kokas (solidifikasi) dan produk lainnya adalah gas sekunder (degasifikasi akhir), dimana k_1 , k_2 , k_3 , adalah konstanta kecepatan reaksi.

2.2.2 Analisis Kinetika

Studi kinetik non-isothermal dari kehilangan berat selama proses pembakaran sebenarnya merupakan reaksi yang sangat kompleks untuk batubara dan minyak mentah karena adanya berbagai komponen kompleks dan saling paralel serta reaksi yang saling berturutan^[11].

Model kinetik tipe Arrhenius^[12] digunakan dalam analisa data TG/DTG. Model tersebut dapat digunakan untuk mengetahui besarnya energi kinetis atau energi aktivasi yang diperlukan untuk proses termal dekomposisi material. Model ini mengansumsikan bahwa laju kehilangan berat dari total sampel bergantung pada laju pemanasan yang konstan, massa yang tertinggal dari sampel dan temperatur dengan reaksi merupakan suatu kesatuan. Sehingga, persamaan Arrhenius-model kinetik mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$-\frac{dm}{dt} = km^n \quad (1)$$

dengan k = konstanta kecepatan reaksi yang mengikuti hukum Arrhenius :

$$k = A \cdot \exp(-E/RT) \quad (2)$$

Dan diasumsikan bahwa reaksi dekomposisi batubara merupakan orde pertama, dengan:

A = faktor pre-eksponensial atau faktor frekuensi atau faktor Arrhenius

E = energi aktivasi

R = konstanta gas (8.314 J/mol^oK)

T = temperatur absolut

Massa m dapat dinyatakan dalam fraksi relatif terhadap massa awalnya m_0

$$X = \frac{m}{m_0} \quad (3)$$

Maka persamaan (1) dapat ditulis :

$$\frac{dX}{dt} = -kX \quad (4)$$

Dan diketahui bahwa laju pemanasan yang digunakan dalam TGA bernilai konstan,

$$\frac{dT}{dt} = C, \text{ maka persamaan (4) menjadi:}$$

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{k}{C} X \quad (5)$$

Atau:

$$\frac{dX}{dt} = -k' X \quad (6)$$

Dalam hal ini $k' = \frac{k}{C}$, adalah konstanta kecepatan reaksi dengan pengaruh temperatur.

Untuk perubahan dari tiap massa dekomposisi, maka massa total adalah:

$$m = \sum \alpha_i m_i = \alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2 + \alpha_3 m_3 + \dots$$

Dimana, α = fraksi perubahan massa.

Maka untuk fraksi massa TGA pada suatu waktu tertentu, juga berlaku hubungan:

$$X = \sum \beta_i X_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots$$

Dimana, β = fraksi konversi pada suatu waktu tertentu.

i = kondisi *volatile matter* pada dekomposisi tertentu

$i = 1$ untuk VM_1

2 untuk VM_2

Dengan demikian :

$$\frac{dX}{dT} = \frac{d \sum \beta_i X_i}{dT} = - \sum \beta_i A_i \exp(-E_i / RT) X_i \quad (7)$$

Persamaan ini berlaku untuk reaktivitas bertingkat yang dipengaruhi temperatur dari batubara yang mengalami dekomposisi material.

