

Sudi Pendahuluan Pengaruh Karakteristik Batubara Peringkat Rendah Cekungan Kutai Terhadap Gasifikasi Batubara (Preliminary Study Effect of Characteristic Low Rank Coal Kutai Basin Against Coal Gasification)

Agus Winarno¹, D. Hendra Amijaya², Agung Harijoko²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Mulawarman

²Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

Abstract

The utilization of low rank coal (lignite and sub-bituminous) especially gasification is part of the development of coal conversion in Indonesia as drivers of the increase in value-added coal. Gasification is a process of change in the solid fuel into gas. In contrast to combustion, gasification process is the process of breaking the carbon chains to form other chemical elements or compounds. This research was conducted by looking at the effect of the type of maceral, mineral and geochemical low rank coal in the Kutai Basin. It also saw the effect of operating conditions (time and temperature), the condition of pyrolysis and gasification catalyst, so it will know the volume of the gas content of CH₄, CO, CO₂ and H₂ results of the low rank coal gasification.

Keywords: lignite, sub-bituminous, maceral, mineral, geochemical.

1. Pendahuluan

Pengembangan konversi batubara di Indonesia pada dasarnya merupakan bagian yang tidak bisa dipisahkan dari pendorongan peningkatan nilai tambah batubara yang harus dilakukan oleh pengusaha batubara yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 pasal 94, 95, dan 96 dan kebijakan energi nasional berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang diversifikasi energi, dimana pada pasal 18 ayat 2 butir b menyebutkan bahwa salah satu diversifikasi energi tersebut adalah melalui peningkatan pemanfaatan batubara kualitas rendah untuk batubara tergaskan (*gasified coal*).

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat menjadi gas. Berbeda dengan pembakaran, proses gasifikasi adalah proses pemecahan rantai karbon ke bentuk unsur atau senyawa kimia lain. Proses gasifikasi memerlukan sedikit oksigen dan seringkali digunakan uap air untuk proses pembakaran (Highman dkk, 2008). Dengan mengubah batubara menjadi gas, maka material yang tidak diinginkan yang terkandung dalam batubara seperti senyawa sulfur, karbon dioksida (CO₂),

dan abu dapat dihilangkan dari gas dengan menggunakan metode tertentu sehingga dapat dihasilkan gas bersih.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Mengetahui tipe maseral, mineral dan geokimia batubara peringkat rendah di Cekungan Kutai dan pengaruhnya terhadap gas hasil gasifikasi.
2. Mengetahui pengaruh variabel waktu dan temperatur serta penggunaan katalis terhadap gas hasil gasifikasi.
3. Mengetahui volume kandungan gas CH₄, CO, CO₂, dan H₂ hasil gasifikasi batubara peringkat rendah dari Cekungan Kutai.

Lokasi Penelitian

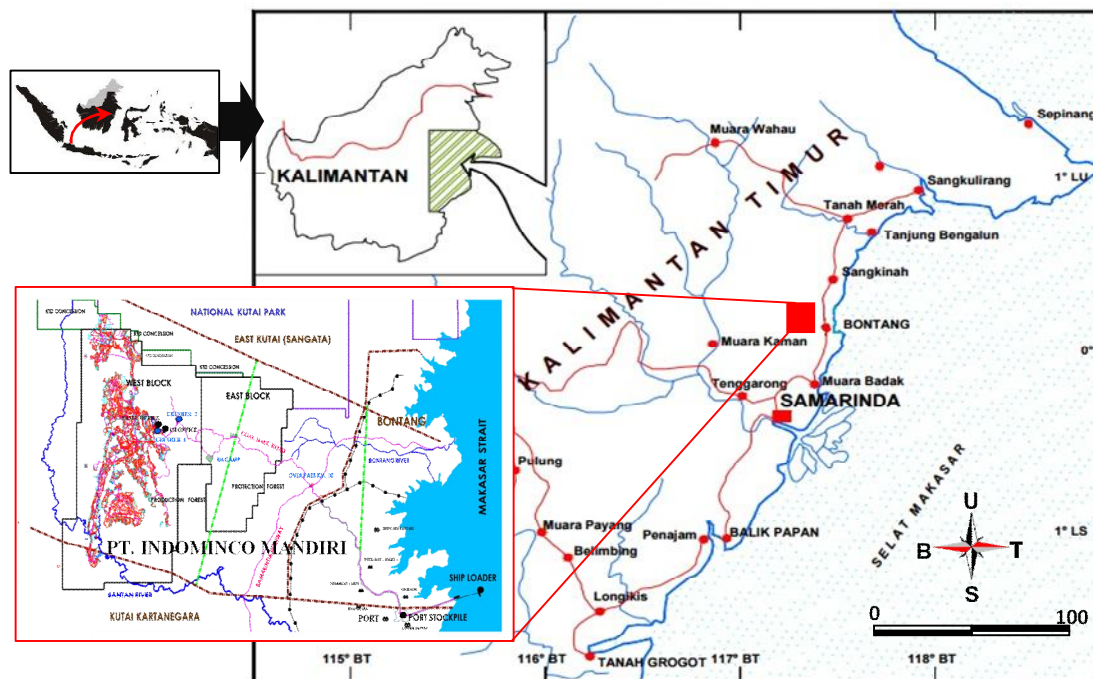
Lokasi pengambilan sampel pada penelitian berada di PKP2B PT Indominco Mandiri KW 01PB0435, di mana secara administratif terletak di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Wilayah PKP2B PT Indominco Mandiri ini terdapat dalam 2 (dua) blok, yaitu Blok Barat seluas 18.100 ha dan Blok Timur seluas 7.021 ha. Secara geografis lokasi ini terletak pada koordinat 117°12'50" - 117°23'30" BT dan 00°02'20" - 00°13'00" LU (Gambar 1).

Tinjauan Pustaka

Geologi Regional

Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan Tersier yang terbesar di Indonesia,

* Koreponden penulis: (Agus Winarno) Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No. 9 Kampus Gn. Kelua, Samarinda 75119.
E-mail: aguswinar71@gmail.com
HP. 081253295227



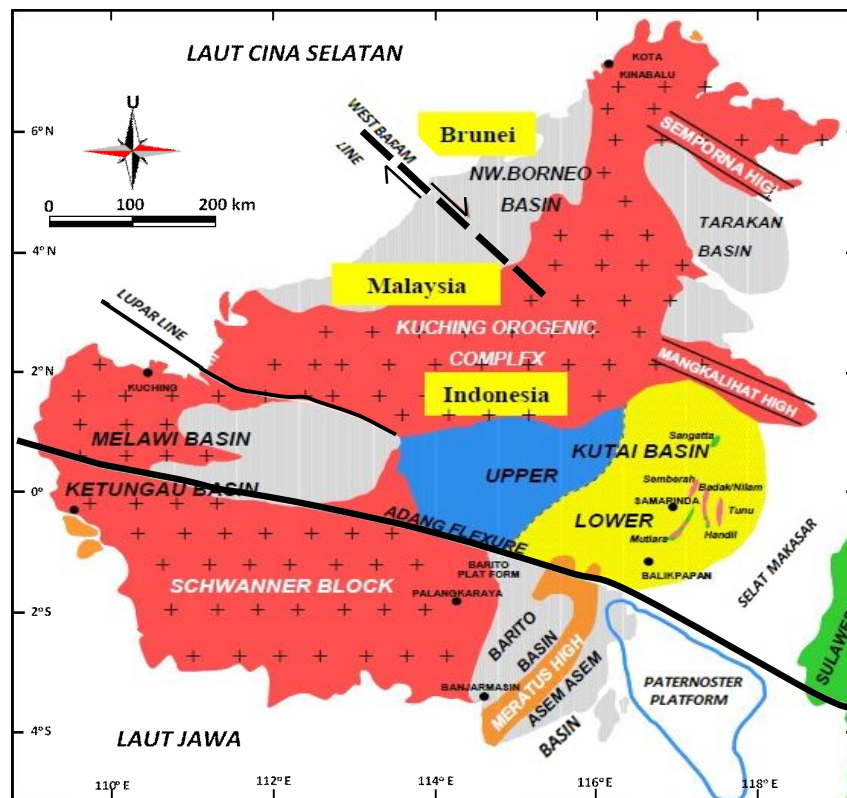
Gambar 1. Lokasi dan kesampaian daerah penelitian

luasnya 165.000 km² dan kedalamannya kurang lebih mencapai 14.000 m. Cekungan Kutai (Gambar 2) dibatasi di bagian utara oleh suatu daerah tinggian batuan dasar yang terjadi pada Oligosen yaitu Tinggian Mangkalihat dan Sesar Sangkulirang yang memisahkannya dengan Cekungan Tarakan. Di bagian timur daerah cekungan ini, terdapat Delta Mahakam yang terbuka ke Selat Makasar. Di bagian barat, cekungan dibatasi oleh daerah Tinggian Kuching (*Central Kalimantan Ranges*) yang berumur Kapur. Di bagian tenggara cekungan ini, terdapat Paparan *Paternoster* yang dipisahkan oleh gugusan Pegunungan Meratus. Di bagian selatan cekungan ini, dijumpai Cekungan Barito yang dipisahkan oleh Sesar Adang (Biantoro dkk, 1992; Moss dkk, 1997; Moss dkk, 1999; Satyana dkk, 1999; Bachtiar, 2004).

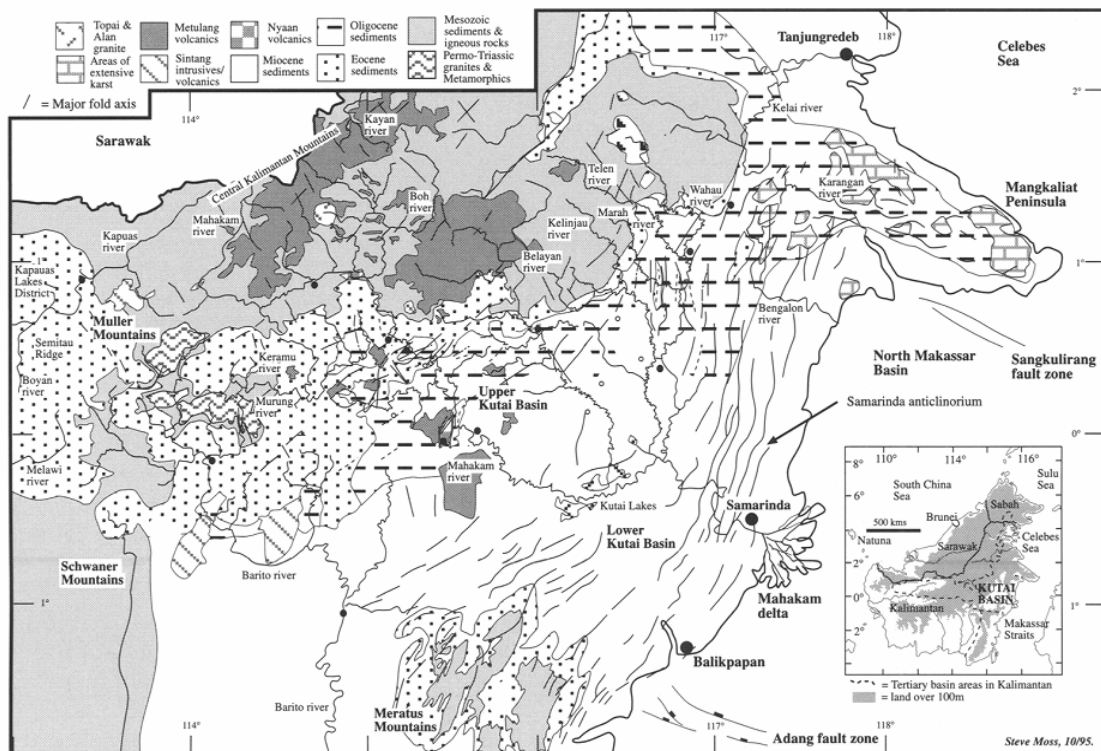
Moss dkk (1999), mengemukakan bahwasanya Cekungan Kutai dapat dibagi dalam dua bagian atau sub Cekungan, yaitu Cekungan Kutai bagian atas dan Cekungan Kutai bagian bawah. Cekungan Kutai bagian atas terdapat di bagian barat laut yang merupakan area yang terangkat karena proses tektonik pada Miosen Bawah, sedangkan Cekungan Kutai bagian bawah terdapat di bagian timur dan lebih banyak dikenali pada endapan Neogennya daripada endapan-endapan regangan selama Paleogen yang merupakan deposenter di Cekungan Kutai bagian atas. Regangan-regangan yang terbentuk selama Paleogen tersebut telah mengalami inversi dan tererosi selama Neogen (Gambar 3).

Urutan regresif di Cekungan Kutai mengandung lapisan-lapisan klastik deltaik hingga paralik yang mengandung banyak lapisan-lapisan batubara dan lignit, sehingga merupakan kompleks delta yang terdiri dari siklus endapan delta. Tiap siklus dimulai dengan endapan paparan delta (*delta plain*) yang terdiri dari endapan rawa (*marsh*), endapan alur sungai (*channel*), *point bar*, tanggul-tanggul sungai (*natural levees*) dan *crevasse splay*. Di tempat yang lebih dalam diendapkan sedimen *delta front* dan *prodelta*. Kemudian terjadi transgresi dan diendapkan sedimen laut di atas endapan paparan delta. Disusul adanya regresi dan sedimen paparan delta diendapkan kembali di atas endapan *delta front* dan *prodelta*. Siklus-siklus endapan delta ini terlihat jelas di Cekungan Kutai bagian bawah dari Eosen hingga Tersier Muda *prograding* dari barat ke timur. Ditandai oleh pengendapan Formasi Pamaluan, Formasi Bebulu (Miosen Awal-Miosen Tengah), Formasi Pulau Balang (Miosen Tengah), Formasi Balikpapan (Miosen Tengah-Miosen Akhir), Formasi Kampung Baru (Miosen Akhir-Pliosen) dan endapan rawa yang merupakan endapan Kuarter.

Urut-urutan stratigrafinya Cekungan Kutai bagian bawah dari tua ke muda menurut Sukardi dkk (1995) dan Satyana dkk (1999) (Gambar 4) adalah Formasi Pamaluan (Tmp), Formasi Bebulu (Tmbe), Formasi Pulau Balang (Tmpb), Formasi Balikpapan (Tmbp), Formasi Kampung Baru (Tmkb) dan Aluvium (Qal).



Gambar 2. Kerangka tektonik Pulau Kalimantan (modifikasi dari Bachtiar, 2004)



Gambar 3. Peta geologi Cekungan Kutai, Kalimantan Timur dan perkiraan kontak *basement-Tertiary*, Eosen, Oligosen dan Miosen (Moss dkk, 1999)

UMUR	FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
KUARTER	HOLOSEN	Alluvial (Qa)	?	Material lepas berukuran lempung hingga pasir halus, dan material organik.	Fluvial Lacustrine
	PLISTOSEN				
TERSIER	PLIOSEN	Kampungbaru	900	Batupasir kuarsa yang bersifat lepas dengan sisipan batulempung, serpih, batulanau dan lignit.	Delta
	MIOSEN ATAS	Balikpapan	3000	Batulempung dan batupasir kuarsa dengan sisipan batulanau serpih, dan batubara	Delta
	MIOSEN TENGAH	Pulau Balang	2750	Batupasir (greywacke), batupasir kuarsa, batugamping, batulempung dengan sisipan batubara.	Darat - laut dangkal
	MIOSEN BAWAH	Bebulu	2000	Formasi Bebulu : batugamping dengan sisipan batugamping pasiran dan serpih.	Laut Dangkal (Neritik)
		Pamalu	3000	Formasi Pamalu : batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau.	

Gambar 4. Stratigrafi regional Cekungan Kutai bagian bawah (modifikasi dari Sukardi dkk, 1995 dan Satyana dkk, 1999)

Formasi lapisan batubara utama di Cekungan Kutai adalah Formasi Pulau Balang Miosen Awal, Formasi Balikpapan Miosen Akhir dan Formasi Kampungbaru Pliosen (Gambar 4 dan 5). Peringkat batubara di Cekungan Kutai dari rendah sampai sedang, mulai dari lignit sampai *high-volatile bituminous*. Reflektansi Vitrinit batubara dangkal dari daerah batubara terbuka biasanya antara 0,45% sampai 0,63%, lebih tinggi dari cekungan batubara Indonesia lainnya (Situmorang dkk, 2006).

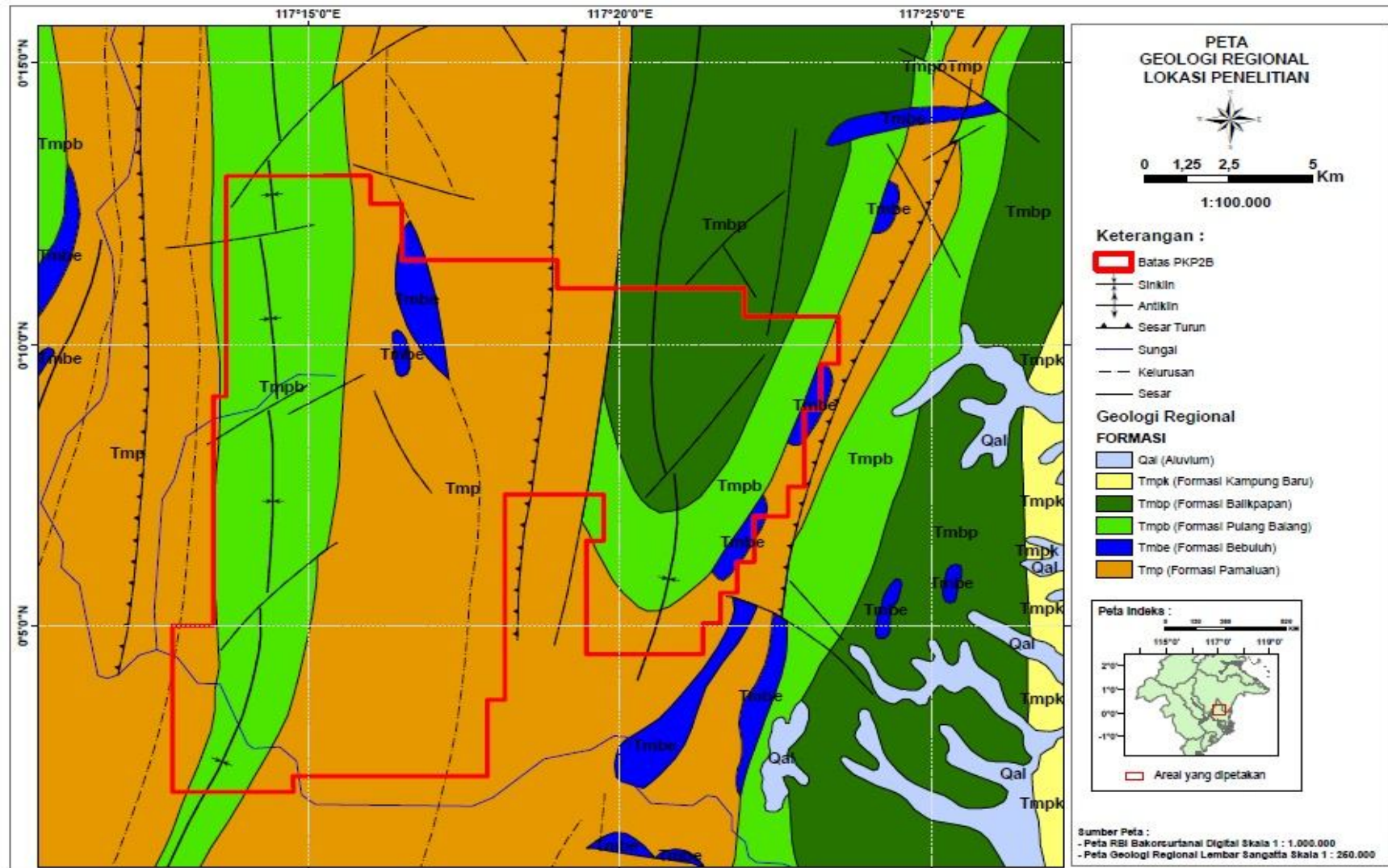
Gasifikasi Batubara

Proses gasifikasi menunjukkan adanya hubungan antara proses gasifikasi batubara dengan komposisi mineral pada batubara. Misalnya bahwa oksida besi menyebabkan reaksi termal karbon pada reaksi gasifikasi meningkat (Bai dkk, 2011). Pengaruh maseral dalam proses gasifikasi juga ditunjukkan misalnya dengan semakin banyak kandungan persen maseral intertinit ditemukan maka lebih reaktif proses gasifikasinya (Huang dkk, 1991). Menurut Lin dkk (2007) yang meneliti tentang pengaruh peringkat batubara pada gasifikasi uap

air dengan campuran batubara dan CaO menyimpulkan bahwa hasil gas H_2 per mol karbon dalam conto batubara (*char*) menurun dengan urutan lignit > sub-bituminous > bituminous. Beberapa variabel yang digunakan untuk proses gasifikasi antara lain: waktu reaksi, temperatur proses, pemakaian katalis, agen gasifikasi telah dikemukakan oleh Kodama dkk (2001); Septianyah (2008); Wang dkk (2010); Sobah (2012); Triantoro dkk (2013); Prasetyana (2014) dan Sundari (2015). Penelitian gasifikasi batubara sudah dilakukan oleh Septianyah (2014) dengan sampel dari batubara Berau Kalimantan Timur; Triantoro dkk (2013) dengan sampel batubara peringkat rendah Indonesia; dan Sundari (2015) dengan sampel batubara lignit dari Kalimantan Timur.

2. Dasar Teori

Batubara adalah batuan sedimen organik yang mengandung berbagai jumlah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur serta sejumlah elemen jejak lainnya, termasuk bahan mineral (van Krevelen, 1993).



Gambar 5. Peta Geologi Daerah Penelitian (modifikasi Peta Lembar Sangatta, Kalimantan Timur Skala 1:250.000 dari Sukardi dkk, 1995)

Komponen Pembentuk Batubara

Komponen Organik

Dalam Stach dkk (1982), dijelaskan bahwa secara mikroskopis bahan-bahan organik pembentuk batubara disebut maseral (*maceral*), analog dengan mineral dalam batuan. Dengan mikroskop (sinar pantul) maseral dapat dibedakan berdasarkan pada reflektifitas dan morfologinya. Maseral dengan sifat optis dan susunan kimia yang sama dimasukkan dalam satu grup maseral.

Secara mikroskopis bentuk maseral ditentukan dari tumbuhan asal dan dekomposisi awal sebelum dan selama tahap *peatification* dan *coalification*. Grup maseral terbagi tiga yaitu grup maseral huminit/vitrinit (*woody materials*), liptinit (*spores, resins, and cutiles*), dan inertinit (*oxidized plant material*). Liptinit dan inertinit memiliki nama yang sama dalam *brown coal* dan *hard coal*, sedangkan huminit pada *brown coal* dan virinit pada *hard coal* (Teichmuller, 1989; Thomas, 2013).

Komponen Anorganik

Mineral atau *mineral matter* pada batubara berasal dari unsur anorganik pada tumbuh-tumbuhan pembentuk batubara atau disebut *inherent mineral* serta mineral yang berasal dari luar rawa atau endapan kemudian ditransport ke dalam cekungan pengendapan batubara melalui air atau angin dan disebut *extraneous* atau *adventitious mineral matter* (Falcon dan Snyman, 1986; Speight, 2013).

Berdasarkan episode pembentukannya (Mackowsky dalam Stach dkk, 1982; Yossifova, 2007) membagi *mineral matter* menjadi dua kategori yaitu: singenetik dan epigenetik. Sedangkan berdasarkan atas kelimpahannya, mineral-mineral pada batubara dibedakan atas: mineral utama (*major minerals*), mineral tambahan (*minor minerals*) dan mineral jejak (*trace minerals*) (Kostova dkk, 2007; Yossifova, 2007; Fatimah dkk, 2009). Ranton (1982) menggolongkan mineral utama jika kadarnya >10% berat, mineral tambahan 1-10% dan mineral jejak, 1% berat. Umumnya yang termasuk kelompok mineral utama adalah kelompok mineral lempung dan kuarsa sedangkan kelompok mineral tambahan adalah kelompok mineral karbonat, sulfida dan sulfat.

Kualitas Batubara

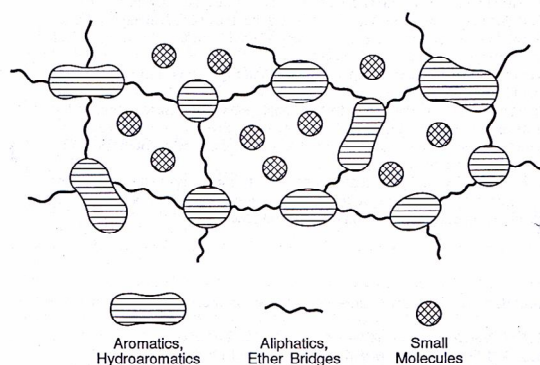
Untuk mengetahui kualitas batubara salah satunya dengan melakukan analisis kualitas batubara secara kimia yaitu *proximate* dan *ultimate analysis* (van Krevelen, 1993). Analisis klasifikasi batubara diperlukan untuk mengetahui peringkat (*rank*) dari batubara. *Rank* dipakai

untuk menyatakan tahap yang telah dicapai oleh batubara dalam urutan proses pembatubaraan (Anggayana, 1999). Klasifikasi yang saat ini umum digunakan yaitu klasifikasi yang dibuat oleh *American Society for Testing and Materials* dalam Speight (2005) dari peringkat tinggi ke rendah adalah antrasit, bituminous, sub-bituminous, dan lignit.

Struktur Kimia Batubara

Batubara adalah batuan heterogen baik secara fisik dan kimia dimana tersusun dari material organik, yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan. Material organik dalam batubara mengandung unsur-unsur seperti: karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), sulfur (S) dan nitrogen (N) dalam bentuk ikatan kimia (Haenel, 1992). Komposisi unsur-unsur ini akan berubah sesuai dengan bertambahnya peringkat batubara. Unsur karbon pada lignit sekitar 55 wt% akan menjadi sekitar 92 wt% pada antrasit, hidrogen sekitar 10 wt% akan turun menjadi 3 wt% dan oksigen dari sekitar 35 wt% menjadi 2 wt%. Sulfur dan nitrogen prosentasenya hanya sedikit dan perubahannya tidak terlalu signifikan.

Menurut Thomas (1986); Haenel (1992); dan Speight (2013) model struktur organik batubara terdiri dari tiga jenis utama yaitu: model alifatik/*polyamantane*, model aromatik/hidroaromatik, dan model saringan molekuler (Gambar 6).



Gambar 6. Konsep model batubara: sistem dua komponen yang melibatkan hubungan jaringan tiga dimensi dengan molekul kecil tersebar didalamnya (Haenel, 1992; Speight, 2013)

Batubara lignit didominasi oleh struktur alifatik, struktur aromatik dalam jumlah kecil dan gugus fungsional eter ($-O-$) serta gugus samping dihidroksil fenol (katekol) dan metoksil (CH_3O-). Batubara sub-bituminous dan bituminous dibentuk oleh campuran struktur alifatik (rantai lurus) dan beberapa struktur aromatik siklik (tetrahidrofuran) serta gugus fungsional (karboksil dan hidroksil), gugus sampingnya didominasi fenol ($HO-$). Batubara antrasit didominasi oleh struktur aromatik (benzena) yang kompak dan sebagian

kecil aromatik siklik, alifatik serta fungsional (eter). Struktur hidrokarbon batubara dari peringkat lignit sampai antrasit menunjukkan kecenderungan dari struktur alifatik ke aromatik.

Gasifikasi Batubara

Gasifikasi batubara adalah proses untuk mengkonversi batubara yang berwujud padat menjadi campuran gas yang memiliki nilai bakar. Pada proses gasifikasi digunakan pereaksi udara, O_2 , CO_2 , H_2 atau campuran dari gas tersebut. Gas produk gasifikasi memiliki komponen utama H_2 , CO dan CO_2 (Nowacki, 1981 dalam Triantoro dkk, 2013). Medium penggasifikasi yang dapat digunakan sebagai penggasifikasi (*gasfying agent*) adalah udara, steam, CO_2 , H_2 , atau campuran medium tersebut. Medium penggasifikasi mempunyai pengaruh yang besar terhadap nilai kalor dari gas produk dan komposisi gas yang dihasilkan. Menurut Speight (2013) gas hasil gasifikasi batubara ada yang memiliki konten panas rendah, sedang, atau tinggi yang ditentukan oleh proses maupun pemanfaatannya (Tabel 1).

Tabel 1. Gas hasil dari gasifikasi batubara (Speight, 2013)

Product	Characteristics
Low-Btu gas (150-300 Btu.scf)	Around 50% nitrogen, with smaller quantitie of combustible H_2 and CO, CO_2 and trace gases, such as methane
Medium-Btu gas (300-550 Btu/scf)	Predominantly CO and H_2 , with some incombustible gases and sometimes methane
High-Btu gas (980-1080 Btu/scf)	Almost pure methane

Dasar Proses Gasifikasi

Proses gasifikasi terdiri dari beberapa tahap dan tidak ada batasan yang pasti antara tahap satu dengan tahap lainnya. Gasifikasi batubara diawali dengan proses pirolisis kemudian diikuti dengan proses gasifikasi. Hidrokarbon rantai pendek, tar, fenol akan terlebih dahulu dilepaskan sebagai *volatile matter*. Arang hasil pirolisis akan bereaksi dengan reaktan gas untuk melepaskan gas, uap, tar, dan residu padat berupa arang dan abu. Produk utama dari proses gasifikasi adalah gas yang mengandung CO, H_2 , dan sebagian CH_4 dan CO_2 . Mekanisme gasifikasi batubara digambarkan Cortes dkk. (2009) seperti Gambar 7. Sedangkan proses-proses yang terjadi di dalam reaktor gasifikasi

menurut Basu (2006); Rajvanshi (1986); Nurhadi dkk (2009); dan Heiskanen (2011) dapat dilihat pada Gambar 8.

Faktor yang Berpengaruh pada Proses Gasifikasi

Menurut Heiskanen (2011), proses gasifikasi dipengaruhi oleh komposisi bahan baku, ukuran partikel, medium penggasifikasi, suhu, dan tekanan proses, begitu juga dengan Sawetaporn dkk (2009) menyebutkan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi reaktivitas arang batubara: sifat batubara (*coal properties*), efek katalitik dari lapisan anorganik (*inorganic matter*) dalam batubara, kondisi dari reaksi pirolisis, dan faktor-faktor lainnya.

1. Kandungan mineral batubara

Menurut penelitian yang dilakukan Skodras dan Sakellaropoulos (2002) terdapat korelasi yang cukup baik antara laju gasifikasi dan indeks alkali pada proses gasifikasi batubara. Laju gasifikasi meningkat secara proporsional dengan konsentrasi Ca, tetapi korelasi ini tidak jelas dengan Na dan K. Sedangkan menurut Kim dkk., (2011), indeks alkali dapat digunakan untuk mengukur kemampuan katalis mineral yang terkandung dalam batubara. Semakin tinggi indeks alkali semakin tinggi pula efek katalitiknya.

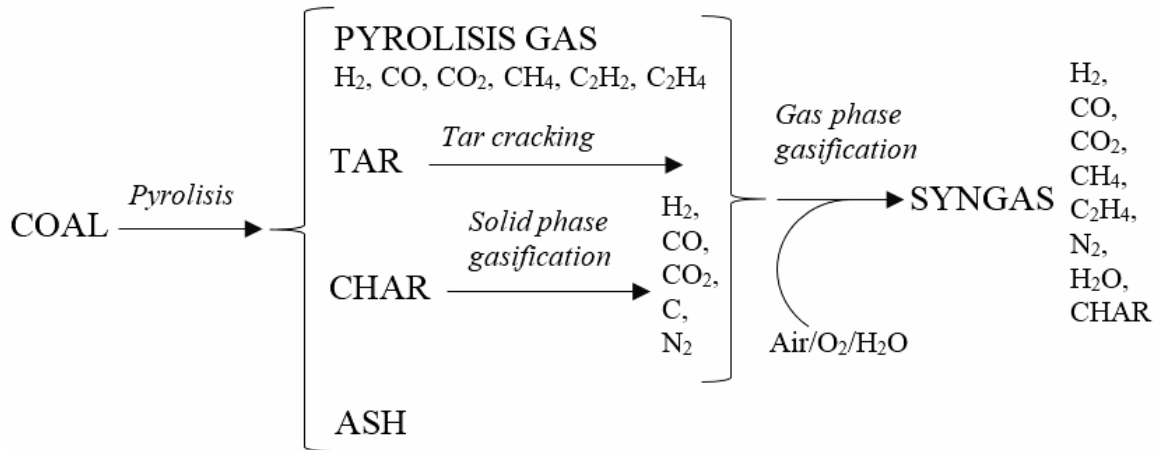
2. Kondisi operasi (suhu dan tekanan gasifikasi)

Suhu adalah parameter yang paling penting dalam mengontrol laju gasifikasi. Pada suhu rendah (kurang dari $1050^\circ C$) laju gasifikasi dikontrol oleh reaksi kimia, sedangkan pada suhu tinggi (di atas $1050^\circ C$) laju gasifikasi dikontrol oleh difusi melalui pori (Kim dkk, 2011).

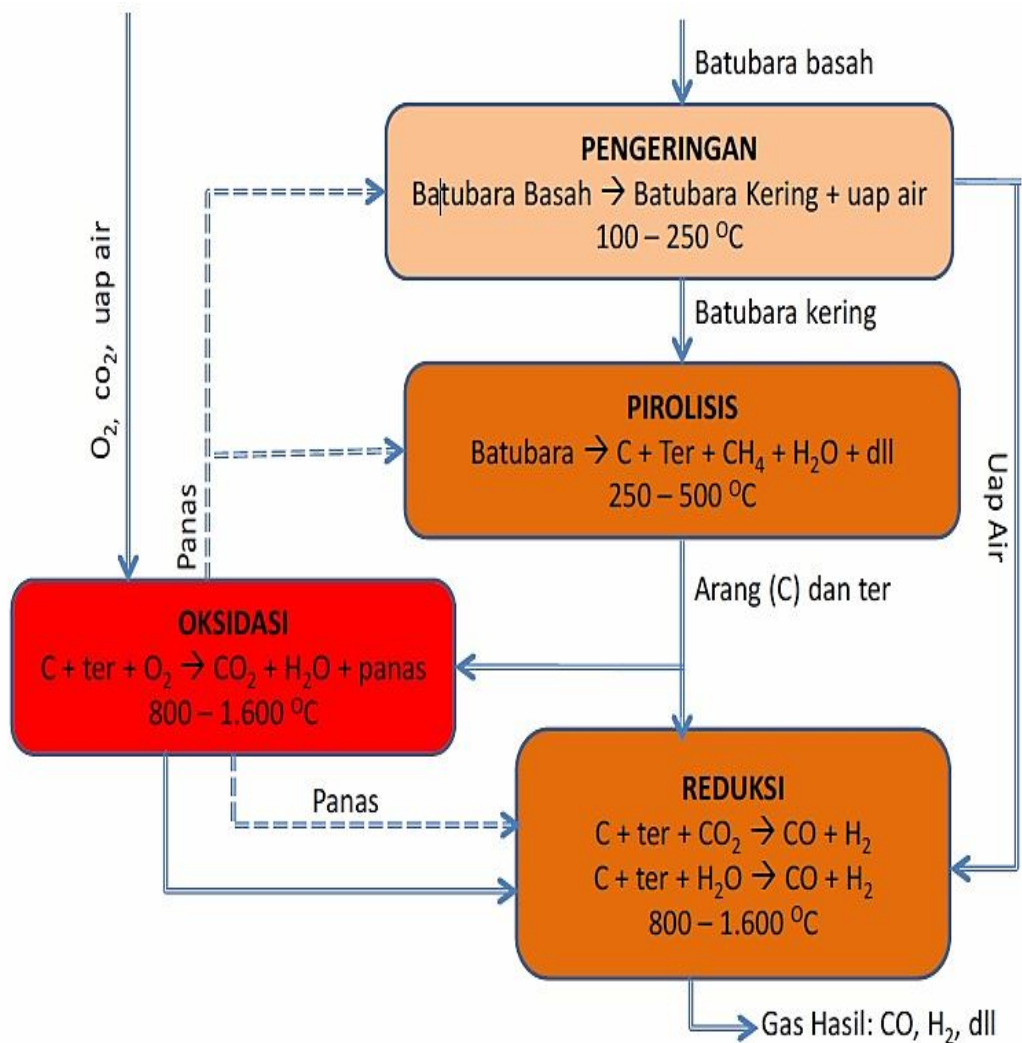
Zhang dkk (2006) menyebutkan bahwa laju gasifikasi meningkat dengan meningkatnya tekanan parsial gas CO_2 atau uap air, hal ini disebabkan karena jumlah molekul gas CO_2 atau uap air yang mendifusi dan terjerap pada permukaan arang meningkat. Ma (2006) menyebutkan bahwa laju gasifikasi meningkat dengan meningkatnya tekanan total pada rentang *low* sampai *medium pressure*. Jika tekanan total cukup tinggi, pengaruh tekanan total dapat diabaikan. Pada kondisi tekanan tinggi, terbentuknya gas CO akan menurunkan laju reaksi. Pada kondisi tekanan rendah pengaruh konsentrasi gas CO terhadap laju reaksi menjadi kecil.

3. Kondisi pirolisis

Wu dkk., (2008) menyebutkan bahwa laju pemanasan pirolisis mempunyai efek yang signifikan terhadap arang yang dihasilkan. Reaktivitas gasifikasi untuk hasil pirolisis yang cepat akan lebih tinggi beberapa kali daripada arang dengan pirolisis lambat.



Gambar 7. Mekanisme gasifikasi batubara (Cortes dkk., 2009)



Gambar 8. Skema tahapan gasifikasi batubara (Nurhadi dkk, 2009)

Menurut penelitian yang dilakukan Sawetaporn dkk (2009) batubara *subbituminous* yang dipirolisis pada suhu 700°C akan memiliki reaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan 500°C dan 900°C pada suhu gasifikasi yang sama.

Hasil penelitian Sobah (2012) menunjukkan bahwa konversi karbon pada gasifikasi arang batubara akibat penambahan Ca(OH)_2 dalam proses pirolisis lebih besar dibandingkan dengan tanpa penambahan Ca(OH)_2 . Penambahan katalisator Ca(OH)_2 dapat meningkatkan laju reaksi gasifikasi arang dikarenakan beberapa mekanisme meliputi menonaktifkan lempung asam yang mengganggu proses gasifikasi (Wang dkk, 2010), meningkatkan aktivitas mineral-mineral pada proses perengkahan (Franklin dkk, 1981), dekarbonisasi gugus fenol (Wood dan Sancier, 1980). Menurut Wood dan Sancier (1980), laju reaksi pembentukan CO selama gasifikasi mempunyai korelasi dengan konsentrasi gugus fenol di dalam batubara. Laju reaksi arang batubara dengan gas CO_2 secara keseluruhan ditentukan oleh proses dekarbonisasi gugus fenol.

Katalisator Gasifikasi Batubara

Reaksi gasifikasi berlangsung lambat pada suhu rendah, tetapi dapat dipercepat dengan penambahan katalisator. Beberapa katalisator yang dapat digunakan untuk reaksi gasifikasi batubara adalah sebagai berikut:

1. Logam dari golongan transisi

Logam golongan transisi yang dapat digunakan sebagai katalisator diantaranya adalah besi, nikel, seng, dan kobalt. Kodama dkk (2011) menunjukkan bahwa reaktivitas gasifikasi batubara menggunakan katalisator logam mengikuti urutan $\text{In}_2\text{O}_3 > \text{ZnO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada suhu tinggi di atas 1123K, sementara pada rendah urutan berubah menjadi $\text{In}_2\text{O}_3 < \text{ZnO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$. Permasalahan yang sering muncul pada katalisator dari golongan transisi adalah deaktivasi. Besi dan nikel adalah katalisator yang baik, tetapi juga mengalami deaktivasi yang cepat.

2. Alkali dan alkali tanah

Logam dari alkali tanah dapat digunakan sebagai katalisator. Umumnya katalisator digunakan dalam bentuk karbonat dan oksidanya. Katalisator bimetal dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan *single catalyst* pada gasifikasi. Katalisator bimetal akan tetap aktif selama durasi yang lebih lama dan lebih tahan terhadap racun katalisator. Katalisator yang tidak mengalami deaktivasi oleh sulfur akan memungkinkan gasifikasi batubara dengan kandungan sulfur tinggi. Efek sinergis tersebut telah diamati oleh Hippo dan Tandon (2000). Hasil penelitian yang mereka lakukan pada kondisi sama (suhu 500°C, tekanan 500 psig,

berat katalisator 10%) yaitu konversi karbon menggunakan katalisator FeCl_2 adalah 29,7%, KOH adalah 28,4% dan kombinasi FeCl_2/KOH adalah 42,16%.

3. Metode Penelitian

Objek Penelitian

Berbagai objek yang menjadi fokus penelitian meliputi maseral, mineral dan geokimia batubara peringkat rendah di Cekungan Kutai bagian bawah serta pengaruh variabel waktu, temperatur dan penggunaan katalis terhadap volume kandungan gas CH_4 , CO, CO_2 , dan H_2 hasil gasifikasi batubara.

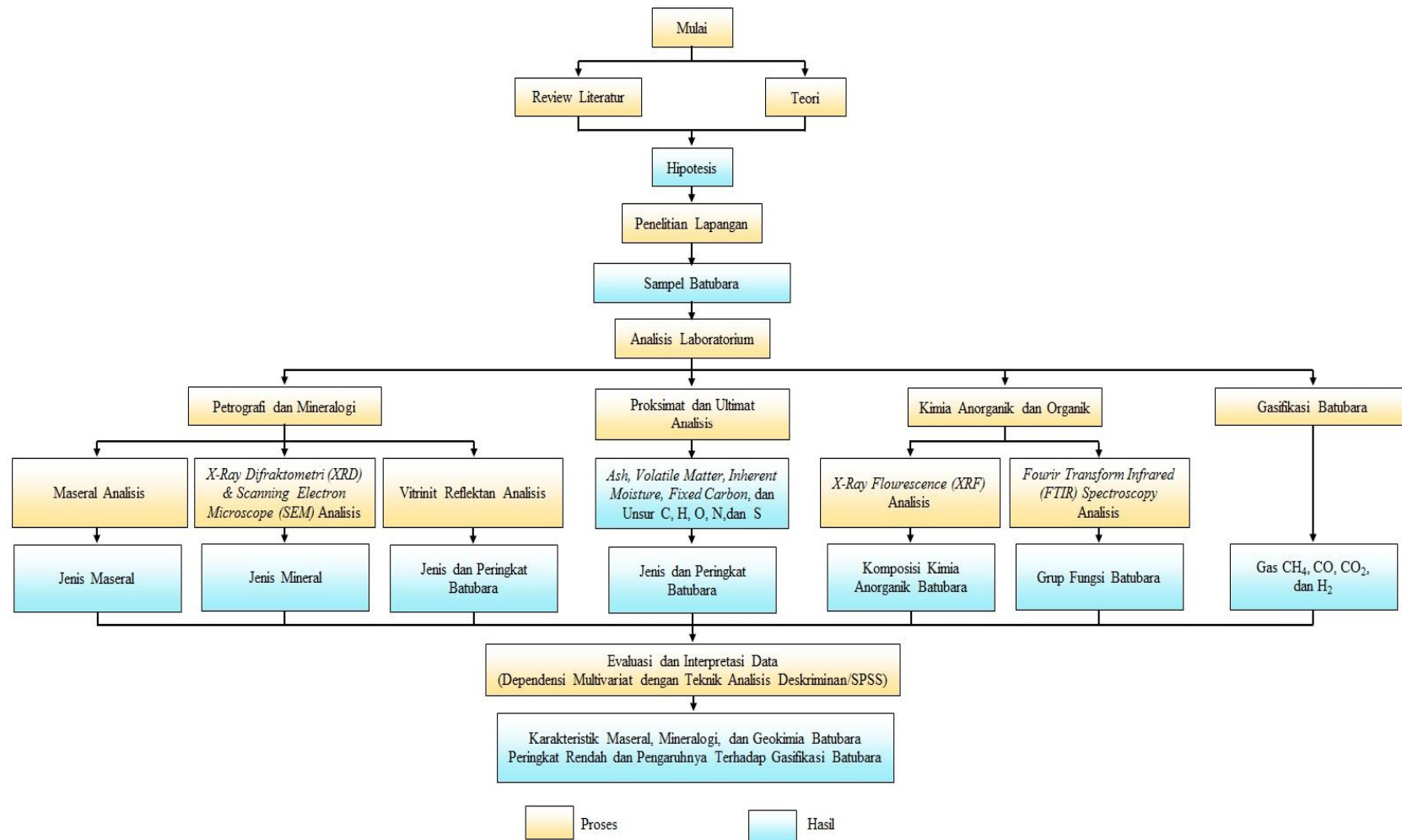
Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan yaitu metode analisis dengan tujuan mengkarakterisasi batubara peringkat rendah pada Cekungan Kutai Kalimantan Timur dan kaitannya dengan proses gasifikasi batubara. Metode terutama mencakup empat bagian: studi pustaka, pekerjaan lapangan, pekerjaan laboratorium, serta analisis dan interpretasi data. Studi pustaka mencakup tinjauan literatur baik dari jurnal penelitian terdahulu maupun buku-buku sebagai dasar teori. Pekerjaan lapangan adalah untuk melihat kondisi geologi daerah penelitian, stratigrafi setempat untuk melihat formasi batuan daerah penelitian dan selanjutnya pengambilan sampel batubara. Selanjutnya pekerjaan laboratorium yang terdiri dari analisis petrografi dan mineralogi, analisis proksimat dan ultimat batubara, analisis kimia anorganik dan organik serta pengujian gasifikasi batubara. Untuk lebih jelasnya urutan metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada bab-bab sebelumnya, maka hipotesis penelitian yang akan dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. a. Batubara pada daerah penelitian mempunyai peringkat antara lignit – sub-bituminous yang didominasi maseral huminit dengan sedikit inertinit, didominasi mineral kuarsa dan lempung, dan struktur kimia batubara yang dominan adalah karbon rantai panjang dengan fraksi aromatik yang teridentifikasi adalah kadalena dan pisenena.
- b. Batubara yang memiliki maseral inertinit lebih banyak akan bersifat reaktif pada gasifikasi batubara dan keberadaan mineral lempung dapat menurunkan laju reaksi gasifikasi.



Gambar 9. Diagram alir metode dan langkah penelitian

2. a. Penggunaan temperatur gasifikasi terbaik adalah pada suhu 700°C.
- b. Penggunaan katalis K_2CO_3 dan $Ca(OH)_2$ mampu meningkatkan kinerja proses gasifikasi.
3. Penggunaan temperatur gasifikasi terbaik adalah pada suhu 700°C selama 120 menit dengan pengambilan sampel setiap 20 menit, akan menghasilkan syngas dengan komposisi gas CO_2 , CH_4 , CO , dan H_2 yang paling maksimal.

Daftar Pustaka

- Bachtiar, A., 2004, Kerangka Stratigrafi Sekuen dan Karakter Batuan Induk Miosen Awal di Cekungan Kutai Hilir, Kalimantan Timur, *Disertasi Program Doktor*, Institut Teknologi Bandung.
- Bai, J., Li, W., Bai, Z., 2011, Effects of Mineral Matter and Coal Blending on Gasification, *Energy Fuels*, 25, p. 1127-1131.
- Basu, P., 2006, Combustion and Gasification in Fluidized Beds, CRC Press, 66p.
- Biantoro, E., Muritno, B.P., Mamuaya, J.M.B., 1992, Inversion Faults as The Major Structural Control In The Northern Part Of The Kutai Basin, East Kalimantan, *Proceedings of 21st Annual Convention of Indonesian Petroleum Association*.
- Cortes, C.G., Tzimas, E., Peteves, S.D., 2009, Technologies for Coal Based Hydrogen and Electricity Co-Production Power Plant with CO_2 Capture, 10.2790/23969.
- Falcon R.M.S. & Snyman, C.P., 1986, An Introduction to Coal Petrography. *Geological Society of South Africa*, Johannesburg.
- Fatimah, & Ward, C. R., 2009, Mineralogy and Organic Petrology of Oil Shales in The Sangkarewang Formation, Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 77(3-4), p. 424-435.
- Franklin, H.D., Peter, W.A., Howard, J.B., 1981, Mineral Matter Effects The Rapid Pyrolysis Hydrolysis of Bituminous Coal, *American Society National Meeting, Fuel Chemistry Division Preprints*, 26, No.23, p. 35-42.
- Haenel, M.W., 1992, Recent Progress in Coal Structure Research, *Fuel*, Vol. 71, November, p. 1211-1223.
- Heiskanen, L., 2011, A Study on Rate Correlations of Gasification, *Bachelor's Thesis*, Degree Program of Energy Technology, Faculty of Technology, Lappeenranta University of Technology.
- Higman, C., van der Burgt, M., 2008, Gasification, 2nd edition, published by Gulf Profesional Publishing, Elsevier Inc., 456 p.
- Hippo, E.J., and Tandon, D., 2000, Low Temperature Steam-Coal Gasification Catalysts, *Most*, 62901(6), p. 216-220.
- Huang, Y.H., Yamashita, H., Tomita, A., 1991, Gasification Reactivities of Coal Macerals, *Fuel Processing Technology*, Volume 29, Issues 1-2, p. 75-84.
- Kim, Y.T., Seo, D.K., Hwang, J., 2011, Study of effect of Coal Type and Particle Size on Char- CO_2 Gasification via Gas Analysis, *Energy*, ACS Publications.
- Kodama, T., Funatoh, A., Shimizu, K., Kitayama, Y., 2001, Kinetic of Metal Oxide-Catalyzed CO_2 Gasification of Coal in a Fluidized-Bed Reactor for Solar Thermochemical Process, Japan, *Energy and Fuel*, 15, p. 1200-1206.
- Kostova, I., & Zdravkov, A., 2007, Organic Petrology, Mineralogy and Depositional Environment of The Kipra Lignite Seam, Maritza-West Basin, Bulgaria, *International Journal of Coal Geology*, 71, p. 527-541.
- Lin S., Wang Y., and Suzuki Y., 2007, Effect of Coal Rank on Steam Gasification of Coal/ CaO Mixtures, *Energy and Fuels*, 21, p. 2763-2768.
- Ma, L., 2006, Combustion and Gasification of Chars in Oxygen and Carbon Dioxide at Elevated Pressure, *PhD thesis*, Stanford University, Stanford.
- Moss, S.J., Chambers, J., Cloke, I., Satria, D., Ali, J.R., Baker, S., Milsom, J., & Carter, A., 1997, New Observations on The Sedimentary and Tectonic Evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan, *Petroleum Geology of Southeast Asia*, Geological Society Special Publication No. 126, p. 395-416.
- Moss, S.J. dan Chambers, J.L.C., 1999. Depositional Modelling and Facies Architecture of Rift and Inversion in The Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 27th Annual Convention*, Jakarta, p. 459-486.
- Nurhadi, Suprpto, S., Heryadi, D., Yusnanto, Saputra, R., Ropik, 2009, Prototype Plant Gas Sintesis dari Batubara, *Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2010, 2010, Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014, 2014, Kebijakan Energi Nasional.
- Prasetyana, Y.D., 2014, Kinetika Reaksi Dan Komposisi Keseimbangan Gasifikasi Batubara Kalimantan Timur Dengan Uap Air Menggunakan Katalis Nikel Karbonat, *Tesis*, Program Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- PT. Indominco Mandiri, 2010, Laporan Kajian/Studi Kelayakan Penambangan Batubara, 251 p.
- Rajvanshi, A.K., 1986, Biomass Gasification. *Nimbkar Agricultural Institute*, Maharashtra,

- India.
- Ranton, J.J., 1982. Mineral matter in coal In Meyer R.A., Coal structure, *Academic press*, London, p. 283-324.
- Satyana, A.H., Nugroho, D., Surantoko, I, 1999. Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutai and Tarakan Basin, Eastern Kalimantan, Indonesia; Major Dissimilarities. *Journal of Asian Earth Sciences Special Issue Vol. 17, No. 1-2, Elsevier Science*, Oxford, p. 99-120.
- Sawetaporn, S., Bunyakiat, K., Kitiyanan, B., 2009, CO₂ Gasification of Thai Coal Chars: Kinetics and Reactivity Studies, *Korean J.Chem. Eng.*, 26(4), p. 1009-1015.
- Septiansyah, I., 2008, Studi Proses Gasifikasi Batubara Berau Kalimantan Timur dengan Fluidized Bed Gasification, *Tesis*, Program Magister Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.
- Situmorang, B., Dwiyoga, C.D., Kustamsi, A., 2006. The untapped "Unconventional" Gas: CBM Resources of Kutai Basin with reference to the North Kutai Lama Field, Sangasanga area, East Kalimantan. *Proceedings of International Geosciences conference and exhibition*. Jakarta, August 14-16, 2006. Jakarta 06-OT-07.
- Skodras, G., and Sakellaropoulos, G.P., 2002, Mineral Matter Effects in Lignite Gasification, *Fuel Processing Technology*, 78, p. 151-158.
- Sobah, S., 2012, Gasifikasi Arang Batubara Bituminus dengan Gas CO₂ Menggunakan Ca(OH)₂ pada Proses Pirolisis, *Tesis*, Program Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Speight, J. G., 2005, Handbook of Coal Analysis, *Published by John Wiley & Sons, Inc.*, Hoboken, New Jersey, 222 p.
- Speight, J.G., 2013, The Chemistry and Technology of Coal. 3rd edition, *CRC Press Taylor & Francis Group*, Broken Sound Parkway NW, Florida, 845 p.
- Stach, E., Mackowsky, M.T.H., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmuller, R., 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology. Gebruder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 535 p.
- Sukardi, Sikumbang, N., Umar, I., Sunaryo, R., 1995, Peta Geologi Lembar Sangatta, Kalimantan, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung, Indonesia.
- Sundari, K., 2015, Gasifikasi Arang Batubara Lignit menggunakan Gas CO₂ dengan Penambhana NiCO₃ sebagai Katalisator, *Tesis*, Program Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Teichmüller, M., 1989, The Genesis of Coal from The Viewpoint of Coal Petrology, *International Journal of Coal Geology*, v. 12, p. 1-87.
- Thomas, K.M., 1986. Coal Structure. Proceedings of The NATO Advanced Study Institute "Carbon and Coal Gasification - Science and Technology", edited by Figueiredo, J. L. and Moulijn, J. A., *Alvor Portugal*, May 20-31 1985, p. 57-92
- Thomas, L., 2013, Coal Geology, 2nd Ed, Wiley-Blackwell, *John Wiley & Sons, Ltd.*, England, 444 p.
- Triantoro, A., Mustofa, A., Riswan, (2013), Pengaruh Agen Gasifikasi Batubara Terhadap Produk Gas yang Dihasilkan oleh Batubara Peringkat Rendah, *Info-Teknik, Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik*, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, p. 201-210.
- Van Krevelen, D.W., 1993, Coal, Typology-Physics-Chemistry-Constitution, 3rd Ed., *Elsevier*, Amsterdam, 979 p.
- Wang, J., Yao, Y., Cao, J., Jiang, M., 2010, Enhanced Catalysis of K₂CO₃ for Steam Gasification of Coal Char by Using Ca(OH)₂ in Char Preparation, *Fuel*, 89(2), p. 310-317.
- Wood, B.J, and Sancier, K.M., 1980, A Current View of The Mechanism for The Catalytic Gasification of Coal Char, *Material Research Laboratory, SRI International*, p. 104-108.
- Wu, S., Gu, J., Zhang, X., Wu, Y., Gao, J., 2008, Variation of Carbon Crystalline Structures and CO₂ Gasification Reactivity of Shenfu Coal Chars at Elevated Temperatures, *Energy*, (6), p. 199-206.
- Yossifova, M. G., 2007. Mineral and inorganic chemical composition of the Pernik coal, Bulgaria. *International Journal of Coal Geology*, 72(3-4), p. 268-292.