

Studi Pengaruh Temperatur dan Kadar Air terhadap Karakteristik Produk *Fast Pyrolysis* Batubara Peringkat Rendah di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara

Study of The Influence of Temperature and Water Content on The Characteristics of Products From Fast Pyrolysis of Coal Low Rank in The Research and Development Center For Mineral and Coal Technology

¹Sekar Wangi Eka Putri, ²Slamet Handoko, ³Solihin,

^{1,2}Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email: ¹sekarwep@gmail.com, ²slamethan@gmail.com, ³solihintambangunisba@gmail.com

Abstract. Increase the added value of coal is a plan in the sale of the whole coal that has been mined, one of the increase the added value of coal that can be done is using the technology of fast pyrolysis. The research of fast pyrolysis aims to increase the added value of coal. Therefore this study was carried out by analyzing the influence of temperature and water content of the feed on the products of fast pyrolysis. A series of activities this study includes several stages of testing including the preparation of bait and equipment, the process of fast pyrolysis, as well as analysis of feed and products produced, i.e. charcoal, gas, and liquid. In this research, with two variations, i.e. variations in feed form of coal with a water content by 10.57% and coal with a moisture content of to 16.86% as well as temperature variations which include 500, 600, 700, and 800°C. Based on the variations of the temperature used, the higher the temperature used, the charcoal product the fewer that produced. As with the liquid product, at a temperature of 500 and 600°C liquid product that is produced more and fell back on at 700 and 800°C. As for the product gas, the higher the temperature used, then the product gas obtained is also higher. Based on the variation of the water content of the feed, at a temperature of 500 to 800°C, the mass of charcoal produced is higher on the feed 1 of the on the mass of charcoal that is produced on the feed 2. In addition, the molten mass obtained is high is on when using bait 2 if compared with feed 1 at all temperatures. As for the acquisition of the mass of the gas, tends to feed 1 that is generating a lot of gas compared to using bait 2 at all temperatures.

Keywords : Low Rank Coal, Fast pyrolysis, temperature, water Content

Abstrak. Peningkatan nilai tambah batubara merupakan suatu rencana dalam penjualan keseluruhan batubara yang telah ditambang, salah satu peningkatan nilai tambah batubara yang dapat dilakukan adalah menggunakan teknologi *fast pyrolysis*. Penelitian *fast pyrolysis* ini bertujuan meningkatkan nilai tambah batubara. Maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan menganalisa pengaruh dari temperatur dan kadar air umpan pada produk *fast pyrolysis*. Rangkaian kegiatan penelitian ini meliputi beberapa tahap pengujian diantaranya persiapan umpan dan peralatan, proses *fast pyrolysis*, serta analisis umpan dan produk yang dihasilkan yaitu arang, gas, dan cair. Pada penelitian ini dilakukan dengan dua variasi, yaitu variasi umpan berupa batubara dengan kadar air 10,57% dan batubara dengan kadar air 16,86% serta variasi temperatur yang diantaranya 500, 600, 700, dan 800°C. Berdasarkan variasi temperatur yang digunakan, semakin tinggi temperatur yang digunakan, produk arang semakin sedikit yang dihasilkan. Lain halnya dengan produk cair, pada suhu 500 dan 600°C produk cair yang dihasilkan lebih banyak dan turun kembali pada suhu 700 dan 800°C. Sedangkan untuk produk gas, semakin tinggi temperatur yang digunakan, maka produk gas yang diperoleh juga semakin tinggi. Berdasarkan variasi kadar air umpan, pada temperatur 500 hingga 800°C, massa arang yang dihasilkan lebih tinggi pada umpan 1 dari pada massa arang yang dihasilkan pada umpan 2. Selain itu, massa cair yang diperoleh lebih tinggi adalah pada saat menggunakan umpan 2 jika dibandingkan dengan umpan 1 pada semua temperatur. Sedangkan untuk perolehan massa gas, cenderung umpan 1 yang lebih banyak menghasilkan gas dibandingkan dengan menggunakan umpan 2 pada semua temperatur.

Kata Kunci : Batubara Peringkat Rendah, Fast Pyrolysis, Temperatur, Kadar Air

A. Pendahuluan

Berdasarkan data dari Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), setelah melakukan rekonsiliasi data mineral dan batubara

pada tanggal 29 Agustus 2018, terdapat peningkatan total sumber daya dan cadangan batubara nasional, yaitu dari 125 miliar ton sumber daya dan 25 miliar ton cadangan di tahun 2017,

menjadi sekitar 166 miliar ton sumber daya dan 37 miliar ton cadangan batubara.

Sebagian besar dari produksi batubara nasional diekspor ke luar negeri, dimana dengan besarnya presentase ekspor batubara mendatangkan manfaat ekonomi berupa tambahan pemasukan negara. Akan tetapi, hal tersebut menimbulkan kekhawatiran akan berkurangnya stok batubara nasional untuk kepentingan dalam negeri.

Berdasarkan hal tersebut, pemerintah menetapkan kebijakan pengutamaan pasokan batubara untuk dalam negeri, yang dikenal dengan istilah *Domestic Market Obligation* (DMO) yang tertuang dalam Peraturan Menteri ESDM No. 34 tahun 2009 tentang Pengutamaan Pemasokan Kebutuhan Mineral dan Batubara untuk Kepentingan Dalam Negeri. Dalam peraturan tersebut telah diatur nominal jumlah batubara yang wajib dialokasikan dan juga diatur presentase dari produksi sejumlah perusahaan tambang yang diwajibkan untuk dialokasikan konsumsi dalam negeri.

Berdasarkan kebijakan pemerintah tersebut, perusahaan tambang Indonesia harus mengalokasikan batubaranya untuk dijual di dalam negeri dengan jumlah yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Walaupun terdapat adanya program 35000 MW dari pemerintah, hal tersebut masih belum bisa memenuhi peraturan DMO yang telah ditetapkan, yang disebabkan target tersebut belum tercapai sepenuhnya. Maka dari itu dalam pemenuhannya, perusahaan-perusahaan tidak dapat memenuhi jumlah yang telah ditetapkan tersebut. Sehingga perlu dilakukannya rencana dalam penjualan keseluruhan batubara yang telah ditambang dengan cara pembuatan program peningkatan nilai tambah batubara, sehingga batubara

yang dialokasikan untuk dalam negeri terpenuhi.

Peningkatan nilai tambah batubara merupakan salah satu cara untuk merealisasikan pemenuhan batubara dalam negeri. Peningkatan nilai tambah batubara yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan teknologi pengolahan yang saat ini cukup berkembang pesat. Salah satunya adalah teknologi *fast pyrolysis* dimana produk yang diunggulkan dalam teknologi ini adalah produk cair. Selain itu terdapat keuntungan tambahan lainnya, yaitu arang dan gas yang dihasilkan. Produk-produk *fast pyrolysis* tersebut merupakan termasuk sebuah peningkatan nilai tambah batubara yang dapat dimanfaatkan dengan nilai lebih.

B. Landasan Teori

Kandungan Batubara

Pada umumnya Batubara mengandung beberapa unsur yang diantaranya unsur karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H). Selain itu terdapat beberapa unsur lain yang ditemukan juga, yaitu belerang (S), nitrogen (N), dan beberapa unsur logam pengotor yang terjebak saat batubara terbentuk.

Pada batubara dikenal istilah *moisture* yang dibagi menjadi *inherent moisture* dan *surface moisture*. *Inherent moisture* berasal dari pori-pori batubara yang terisi air secara alami, sedangkan *surface moisture* adalah kandungan air yang berada pada permukaan batubara saat ditambang atau diproses.

Selain itu, terdapat abu yang terkandung dalam batubara. Abu terbentuk sebagai salah satu hasil sisa pembakaran batubara yang terdiri dari berbagai oksida logam pembentuk batuan, seperti aluminium dan besi. Semakin tinggi kandungan abu, maka semakin rendah kualitas batubara. Kandungan abu yang tinggi berarti nilai

kalori yang lebih rendah (kandungan energi per ton batubara).

Kandungan lain dari batubara adalah zat terbang (*volatile matter*) yang merupakan gabungan zat organik dan non organik yang mudah menguap saat pemanasan. Zat anorganik yang mudah menguap akan pecah menjadi gas karbon dioksida, sulfur, dan air (berasal dari lempung). Sedangkan zat-zat organik yang mudah menguap terdiri dari gas-gas yang dapat terbakar (hidrogen, metana, dan karbon monoksida), uap yang dapat mengembun seperti tar, serta uap seperti karbon dioksida dan air yang berasal dari penguraian senyawa karbon secara termis.

Kemudian terdapat karbon tetap (*fixed carbon*) yang merupakan residu yang tersisa setelah *moisture* dan *volatile matter* dihilangkan. Nilai *fixed carbon* terdiri dari unsur-unsur dasar penyusun batubara seperti karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). *Fixed carbon* menunjukkan nilai murni penyusun atau komposisi batubara sesungguhnya.

Pyrolysis

Pyrolysis melibatkan pemecahan molekul kompleks besar menjadi beberapa molekul kecil. Jumlah relatif dari produk-produk ini tergantung pada beberapa faktor termasuk laju pemanasan dan suhu akhir yang dicapai oleh umpan. Adapun produknya diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu :

Padat (arang atau karbon)

Arang adalah hasil padat *pyrolysis* dan terutama mengandung karbon ($\pm 85\%$), tetapi juga dapat mengandung beberapa oksigen dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar fosil, umpan seperti biomassa mengandung sangat sedikit abu anorganik.

Cairan (tar, hidrokarbon, dan air)

Hasil cair yang dikenal sebagai tar, *bio-oil*, atau *biocrude* adalah cairan tar hitam yang mengandung hingga 20% air. *Bio-oil* adalah campuran hidrokarbon kompleks dengan sejumlah besar oksigen dan air.

Gas (CO_2 , H_2O , CO , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , dan lain-lain)

Dekomposisi primer umpan menghasilkan gas yang dapat dikondensasikan (uap) dan gas yang tidak dapat terkondensasi (gas primer). Uap, yang terbuat dari molekul yang lebih berat, mengembun saat didinginkan menambah hasil cair *pyrolysis*. Campuran gas yang tidak terkondensasi mengandung gas dengan berat molekul lebih rendah seperti karbon dioksida, karbon monoksida, metana, etana, dan etilena yang tidak mengembun saat pendinginan. Gas nonkondensasi tambahan yang dihasilkan melalui pemecahan uap sekunder disebut gas sekunder. Produk gas akhir yang tidak terkondensasi dengan demikian merupakan campuran dari gas primer dan sekunder.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Produk *Fast pyrolysis* dengan Umpan 1

Hasil analisis produk *fast pyrolysis* antara lain pada produk arang yaitu nilai proksimat, ultimat, dan nilai kalor pada Tabel 1. Adapun perolehan data neraca massa ketiga produk dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan produk gas dilakukan analisis menggunakan *gasboard gas analyzer* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Data Analisis Standar Umpan dan Produk Arang Fast Pyrolysis

Analisis Standar Umpan 1 dan Produk Arang Menggunakan Umpan 1								
Parameter Analisis	Umpan 1	Produk Arang					Basis	Standard Methods
		500°C	600°C	700°C	800°C	Unit		
Proksimat :								
Air	10.57	5.5	3.54	7.14	10	%	adb	ASTM D.3137
Abu	2.49	3.91	4.64	4.66	5.06	%	adb	ASTM D.3174
Zat Terbang	44.05	24.3	14.48	7.88	5.38	%	adb	ASTM D.3175
Karbon Tertambat	42.86	66.29	77.34	80.17	79.56	%	adb	ASTM D.3172
Ultimat :								
Total Sulfur	0.22	0.2	0.26	0.27	0.28	%	adb	ASTM D.4239
Karbon	60.31	72.34	80.4	80.95	79.43	%	adb	ASTM D.5373
Hidrogen	5.24	3.69	2.96	2.58	2.21	%	adb	ASTM D.5373
Nitrogen	1.06	1.38	1.47	1.19	0.83	%	adb	ASTM D.5373
Oksigen	30.68	18.48	10.27	10.35	12.19	%	adb	ASTM D.3176
Gross Calorific Value	5688	6738	7298	7166	6784	cal/g	adb	ASTM D.5865
Analisis Standar Umpan 2 dan Produk Arang Menggunakan Umpan 2								
Parameter Analisis	Umpan 2	Produk Arang					Basis	Standard Methods
		500°C	600°C	700°C	800°C	Unit		
Proksimat :								
Air	16.86	6.47	6.3	7.59	10.78	%	adb	ASTM D.3137
Abu	1.74	3.62	4.86	4.6	5.15	%	adb	ASTM D.3174
Zat Terbang	42.66	24.49	14.64	8.03	5.84	%	adb	ASTM D.3175
Karbon Tertambat	38.74	65.42	74.2	79.93	78.23	%	adb	ASTM D.3172
Ultimat :								
Total Sulfur	0.18	0.2	0.24	0.26	0.28	%	adb	ASTM D.4239
Karbon	57.78	71.74	77.96	80.63	78.97	%	adb	ASTM D.5373
Hidrogen	6.05	3.91	3.21	2.65	2.28	%	adb	ASTM D.5373
Nitrogen	0.9	1.43	1.46	1.14	0.86	%	adb	ASTM D.5373
Oksigen	33.35	19.1	12.27	10.72	12.46	%	adb	ASTM D.3176
Gross Calorific Value	5498	6591	7098	7116	6738	cal/g	adb	ASTM D.5865

Tabel 2. Data Massa Produk Fast Pyrolysis

Produk Hasil Percobaan Menggunakan Umpan 1							
Temperatur	Massa (gram)				Presentase (%)		
	Umpan 1	Arang	Cair	Gas	Arang	Cair	Gas
500 °C	20	16.165	3.62	0.215	80.83	18.10	1.08
600 °C	20	14.907	3.964	1.129	74.54	19.82	5.65
700 °C	20	13.353	3.159	3.488	66.77	15.80	17.44
800 °C	20	10.911	1.934	7.155	54.56	9.67	35.78
Produk Hasil Percobaan Menggunakan Umpan 2							
Temperatur	Massa (gram)				Presentase (%)		
	Umpan 2	Arang	Cair	Gas	Arang	Cair	Gas
500 °C	20	15.414	4.541	0.045	77.07	22.71	0.23
600 °C	20	13.342	5.902	0.756	66.71	29.51	3.78
700 °C	20	13.077	5.993	0.930	65.39	29.97	4.65
800 °C	20	10.666	4.102	5.232	53.33	20.51	26.16

Tabel 3. Data Produk Gas Fast Pyrolysis

Produk Gas Hasil Percobaan Menggunakan Umpan 1									
Fast Pyrolysis Temperature	Syngas (L)	Gas (%)							HHV (kkal/m ³)
		CO	CO ₂	O ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	C _n H _m	
500 °C	4.83	7.81	15.58	0.51	0.16	7.39	67.60	0.96	1019
600 °C	6.99	9.24	19.19	0.41	10.88	11.85	47.37	1.06	1737
700 °C	11.04	9.96	20.21	0.59	20.97	13.64	33.71	0.91	2149
800 °C	14.04	20.67	15.68	0.79	30.91	12.80	18.56	0.60	2608
Produk Gas Hasil Percobaan Menggunakan Umpan 2									
Fast Pyrolysis Temperature	Syngas (L)	Gas (%)							HHV (kkal/m ³)
		CO	CO ₂	O ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	C _n H _m	
500 °C	7.5	6.39	12.09	2.61	0.82	5.47	72.00	0.62	776
600 °C	8.75	9.36	17.79	1.11	7.69	10.84	52.08	1.13	1582
700 °C	12.85	6.81	17.98	5.06	17.83	11.45	40.14	0.73	1757
800 °C	19.27	16.19	16.89	0.51	30.44	11.31	24.03	0.64	2338

Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Produk Fast Pyrolysis

Hasil produk *fast pyrolysis* yang diperoleh dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik proksimat (kadar air, abu, zat terbang dan karbon tertambat), ultimat (kadar sulfur, karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen), nilai kalor, dan hilang massa pada produk arang. Kemudian analisis neraca massa untuk mengetahui hasil keseluruhan massa produk yang diperoleh serta analisis komposisi, volume, dan nilai kalor pada produk gas yang diperoleh. Adapun analisis penelitian menggunakan umpan 1 maupun umpan 2 menghasilkan perolehan yang tidak jauh berbeda.

Karakteristik Proksimat

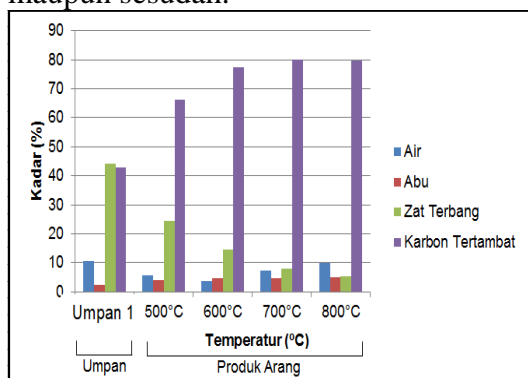
Analisis proksimat produk arang fast pyrolysis dengan umpan 1 disajikan pada Gambar 1. Terdapat penurunan kadar air dan kadar zat terbang pada produk arang setelah dilakukannya fast pyrolysis pada temperatur 500-800°C. Selain itu, Pada temperatur 500 hingga 600°C, kadar air menurun seiring meningkatnya temperatur. Namun, kadar air pada temperatur 700°C dan 800°C lebih tinggi dari kadar air yang

dihasilkan pada temperatur 500°C dan 600°C. Hal tersebut dapat disebabkan oleh sifat produk arang itu sendiri, dimana produk arang yang dihasilkan oleh temperatur 700°C dan 800°C mempunyai nilai hidrofobisitas (sifat tidak suka air) lebih rendah dari pada produk arang yang dihasilkan pada temperatur 500°C dan 600°C, yang artinya arang dapat menyerap air dari udara ketika pengambilan arang dilakukan. Adapun kadar zat terbang menjadi berkurang seiring meningkatnya temperatur yang digunakan. Hal tersebut diakibatkan pemanasan yang diterima oleh umpan yang menjadikan zat terbang pada umpan menguap atau berubah fasa menjadi gas dan sebagian terkondensasi menjadi fasa cair (Raclavska, 2015).

Lain halnya dengan karbon tertambat, setelah dilakukannya *fast pyrolysis* kadar karbon tertambat menjadi tinggi dan pada temperatur 500-700°C kadar karbon tertambat semakin meningkat dan turun lagi pada temperatur 800°C yang disebabkan produk arang yang dihasilkan pada temperatur ini memiliki kadar air yang tinggi dari pada arang yang dihasilkan oleh temperatur yang lainnya.

Kemudian untuk kadar abu

umpan batubara dengan setelah dilakukannya *fast pyrolysis* dari temperatur 500 hingga 800°C menjadi meningkat dengan perubahan yang tidak terlalu signifikan seiring tingginya temperatur yang digunakan. Hal tersebut disebabkan karena pada dasarnya jumlah abu adalah tetap, baik sebelum dilakukan *fast pyrolysis* maupun sesudah.

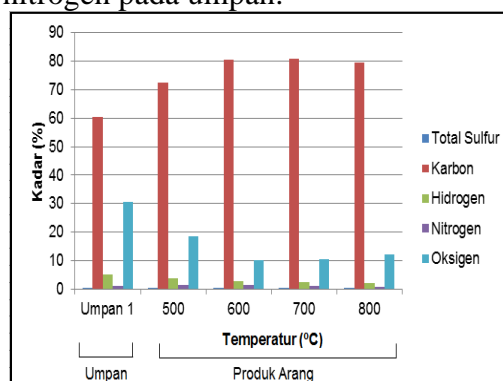


Gambar 1. Grafik Analisis Proksimat Umpan & Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

Karakteristik Ultimat

Analisis ultimat produk arang *fast pyrolysis* dapat dilihat pada Gambar 2. Selain itu jika dibandingkan antar temperatur, kadar hidrogen menjadi semakin menurun dengan semakin tingginya temperatur yang digunakan, maka dari itu arang yang dihasilkan oleh proses *fast pyrolysis* memiliki kadar hidrogen yang sedikit (Speight, 2013). Hal tersebut disebabkan oleh terjadinya penguapan unsur hidrogen dari umpan yang dipanaskan. Kemudian untuk kadar oksigen pada temperatur 500 hingga 700°C, kadar oksigen arang semakin turun. Akan tetapi, kadar oksigen kembali sedikit naik pada temperatur 800°C. Hal tersebut dapat disebabkan oleh sifat produk, dimana arang yang dihasilkan oleh temperatur 800°C mempunyai nilai hidrofobisitas (tidak suka air) lebih rendah artinya arang dapat menyerap air dari udara yang juga terdapat unsur oksigen didalamnya ketika

pengambilan arang dilakukan. Kemudian untuk kadar karbon setelah dilakukannya *fast pyrolysis* menjadi tinggi dari pada keadaan umpan dan pada temperatur 500 hingga 700°C, kadar karbon arang semakin tinggi. Akan tetapi, sedikit turun pada suhu 800°C yang disebabkan kadar air yang dihasilkan pada temperatur ini yang masih tinggi dari pada pada temperatur yang lainnya (Raclavska, 2015). Kemudian untuk kadar sulfur dan kadar nitrogen umpan serta setelah dilakukannya *fast pyrolysis* memiliki perubahan yang tidak terlalu signifikan dikarenakan kuantitasnya yang sama, karena proses *fast pyrolysis* tidak mempengaruhi kadar sulfur dan kadar nitrogen pada umpan.

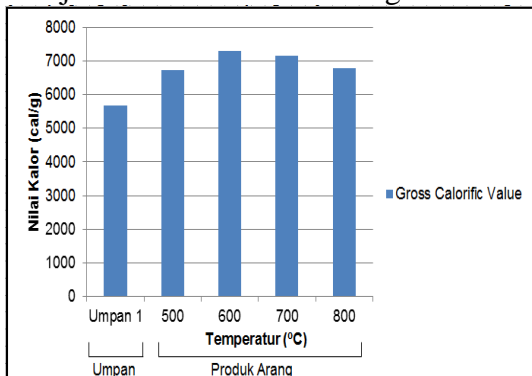


Gambar 2. Grafik Analisis Ultimat Umpan dan Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

Karakteristik Nilai Kalor

Hasil perolehan nilai kalor pada setiap produk arang yang diperoleh dapat dilihat dari grafik pada Gambar 3. Setelah dilakukannya *fast pyrolysis* pada umpan, nilai kalor yang diperoleh semakin tinggi dari keadaan umpan. Pada temperatur 500 hingga 700°C, nilai kalor arang semakin meningkat (Raclavska, 2015). Akan tetapi, nilai kalor menjadi turun pada temperatur 800°C yang disebabkan kadar air yang tinggi berdasarkan data hasil proksimat pada Gambar 1. Adapun peningkatan nilai kalor pada arang dari pada nilai

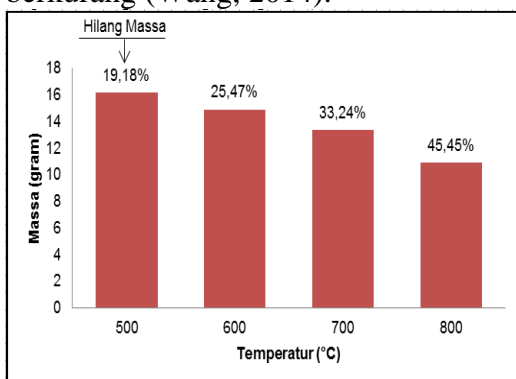
kalor umpan disebabkan oleh terdekomposisinya material atau terjadinya penguapan unsur-unsur yang menjadikan nilai kalor meningkat.



Gambar 3. Grafik Analisis Nilai Kalor Umpan dan Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

Analisis Hilang Massa

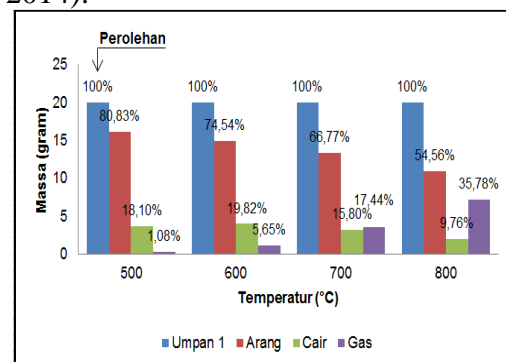
Pada Gambar 4 terdapat grafik analisis hilang massa yang dipengaruhi oleh temperatur. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan perolehan produk setelah dilakukannya *fast pyrolysis* dan terjadi pula penurunan hasil produk dengan meningkatnya persentase hilang massa seiring meningkatnya temperatur. Hal tersebut disebabkan oleh terjadinya pemecahan umpan dengan menghasilkan produk gas dan cair, sehingga umpan yang dilakukan *fast pyrolysis* dengan peningkatan temperatur menjadikan produk arang berkurang (Wang, 2014).



Gambar 4. Grafik Analisis Hilang Massa Produk Arang Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

Analisis Neraca Massa

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara temperatur *fast pyrolysis* terhadap kuantitas produk yang dihasilkan. Semakin meningkatnya temperatur, Arang yang dihasilkan akan semakin berkurang. Pada temperatur 500°C hingga 800°C arang yang dihasilkan menurun yang disebabkan umpan mengalami dekomposisi lebih banyak seiring meningkatnya temperatur (Wang, 2014). Selain itu, hasil produk yang berupa cair dengan perolehan tertinggi yaitu pada saat menggunakan temperatur 500°C dan 600°C dan kembali menghasilkan sedikit produk cair pada temperatur 700°C dan 800°C (Park, 2010). Sedangkan untuk hasil produk berupa gas, semakin meningkat temperatur maka gas yang dihasilkan semakin tinggi pula, karena disebabkan oleh zat terbang yang tidak terkondensasi sempurna, sehingga zat terbang berubah menjadi gas (Wang, 2014).

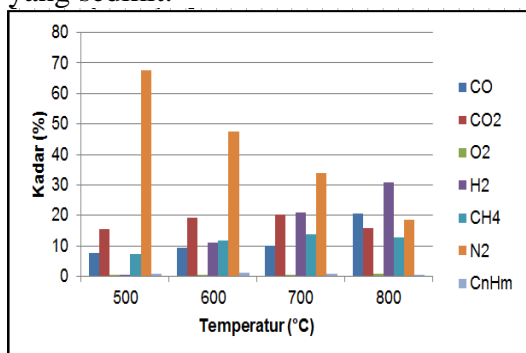


Gambar 5. Grafik Analisis Perolehan Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

Analisis Gas

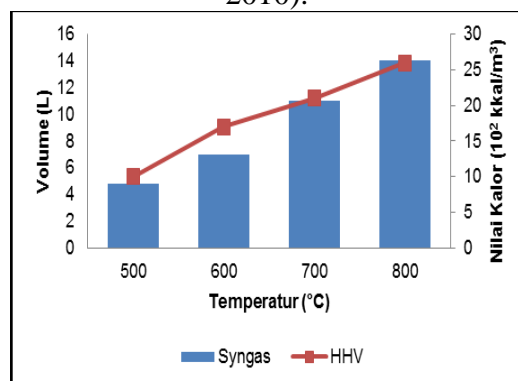
Dapat dilihat pada Gambar 6, dimana berdasarkan grafik yang ditampilkan bahwa pada temperatur 500-800°C menghasilkan gas dengan kadar CO yang semakin meningkat seiring dengan tingginya temperatur yang digunakan. Sedangkan CO₂ juga mengalami peningkatan kadar dari temperatur 500 hingga 700°C dan

kembali turun pada suhu 800°C. Selain itu pada suhu 500 dan 600°C, CO₂ merupakan gas yang mendominasi dari pada yang lainnya. Namun ketika temperatur yang digunakan tinggi dari yang sebelumnya, hasil CO₂ menjadi berkurang persentasenya dari pada gas lainnya (Park, 2010). Kemudian untuk kadar O₂ pada gas yang diperoleh setiap temperatur rata-rata hampir sama. Kadar O₂ yang diperoleh tersebut sedikit karena pada proses *fast pyrolysis* tidak melibatkan oksigen dalam prosesnya. Kemudian kadar H₂ pada gas yang diperoleh, dari temperatur 500-800°C menjadi semakin tinggi seiring tingginya temperatur yang digunakan, karena perolehan H₂ adalah hasil dari penguapan umpan yang memungkinkan adanya proses transfer hidrogen sehingga menghasilkan gas yang relatif kaya akan hidrogen (Speight, 2013). Kemudian kadar CH₄ mengalami peningkatan kadar dari temperatur 500 hingga 700°C dan kembali turun pada suhu 800°C. Untuk kadar N₂ pada gas yang diperoleh, menjadi semakin menurun seiring meningkatnya temperatur, dikarenakan perolehan presentase produk gas lainnya meningkat. Selain itu, kadar C_nH_m pada gas yang diperoleh pada setiap temperatur adalah menghasilkan jumlah yang sedikit.



Gambar 6. Grafik Analisis Gas Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1 Hasil volume gas dan nilai kalor yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 5.8. Berdasarkan grafik yang tersedia dapat diketahui bahwa dengan

semakin tingginya temperatur yang digunakan untuk proses *fast pyrolysis*, maka semakin tinggi pula volume gas yang dihasilkan. Begitu juga dengan nilai kalor, dimana semakin tingginya suhu yang digunakan untuk proses *fast pyrolysis*, maka semakin tinggi pula nilai kalor yang dihasilkan (Park, 2010).



Gambar 7. Grafik Analisis Volume & Nilai Kalor Gas Produk Fast Pyrolysis dengan Umpan 1

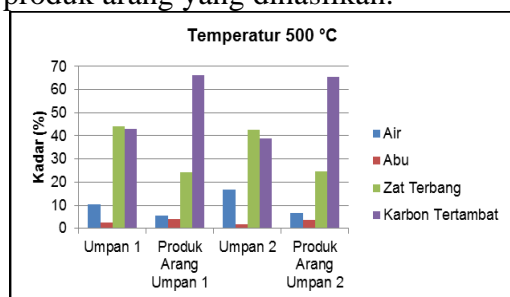
Pengaruh Kadar Air Terhadap Karakteristik Produk *Fast Pyrolysis*

Karakteristik Proksimat

Pada gambar di bawah ini yaitu Gambar 8 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara keadaan umpan terhadap analisis proksimat produk arang yang dihasilkan. Dapat dilihat pada kadar air dan zat terbang umpan 1 dan umpan 2 menjadi turun setelah dilakukannya *fast pyrolysis* yang dapat dilihat dari hasil produk arang yang diperoleh. Selain itu, pada temperatur 500 hingga 800°C, kadar air produk arang yang lebih tinggi adalah pada saat menggunakan umpan 2 dari pada kadar air produk arang dengan menggunakan umpan 1. Hal tersebut dikarenakan adanya pemanasan terlebih dahulu pada umpan 1 sebelum dilakukannya *fast pyrolysis*, sehingga air yang dihasilkan dengan menggunakan umpan 2 lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan umpan 1 (Li, 2017).

Adapun untuk kadar zat terbang produk arang, pada temperatur 500

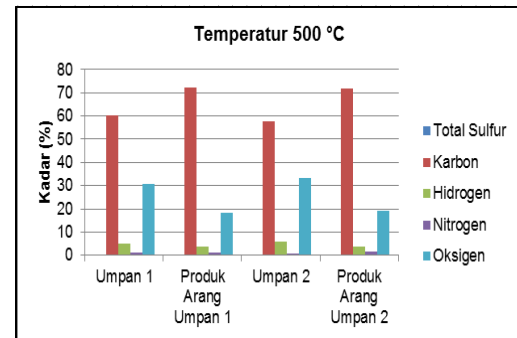
hingga 800°C menghasilkan kadar zat terbang yang lebih tinggi pada saat menggunakan umpan 2. Kemudian untuk kadar karbon tertambat, semakin naik kadarnya setelah dilakukan *fast pyrolysis* karena persentase kadar yang lainnya menurun (Li, 2017). Meskipun demikian, pada dasarnya jumlah karbon tertambat adalah sama pada saat masih dalam keadaan awal ataupun setelah dilakukannya *fast pyrolysis*. Begitu juga dengan abu, dimana terdapat perubahan yang tidak terlalu signifikan pada produk arang yang dihasilkan.



Gambar 8.5 Grafik Analisis Proksimat Umpan & Produk Arang Fast Pyrolysis

Karakteristik Ultimat

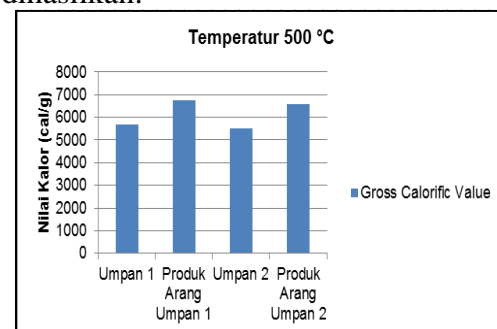
Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 9 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara keadaan umpan terhadap analisis ultimat produk arang yang dihasilkan. Hasil analisis ultimat umpan menjadi berubah ketika telah dilakukannya *fast pyrolysis*, yaitu dapat dilihat pada kadar oksigen umpan 1 dan umpan 2 menjadi turun serta kadar karbon umpan 1 dan umpan 2 menjadi naik setelah dilakukannya *fast pyrolysis* yang dapat dilihat dari hasil produk arang yang diperoleh (Li, 2017). Selain itu, dapat dilihat bahwa pada temperatur 500 hingga 800°C, kadar karbon produk arang dengan menggunakan umpan 1 lebih tinggi dibandingkan dengan kadar karbon yang menggunakan umpan 2 (Gale, 1994). Adapun untuk kadar sulfur, hidrogen, dan nitrogen, hanya memiliki sedikit perbedaan baik dari umpan 1 maupun umpan 2.



Gambar 9. Grafik Analisis Ultimat Umpan & Produk Arang Fast Pyrolysis

Karakteristik Nilai Kalor

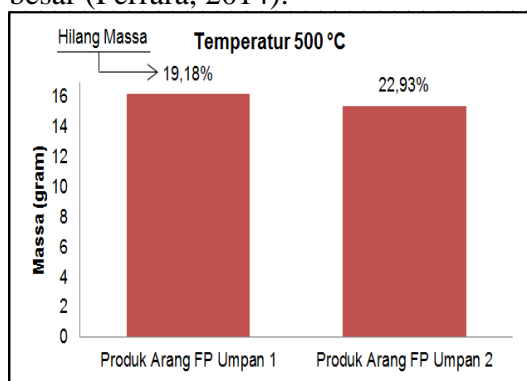
Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 10 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara kadar air pada umpan terhadap analisis nilai kalor produk arang yang dihasilkan. Hasil analisis nilai kalor umpan menjadi berubah ketika telah dilakukannya *fast pyrolysis*, yaitu dapat dilihat pada bahwa nilai kalor umpan 1 dan umpan 2 menjadi naik setelah dilakukannya *fast pyrolysis* yang dapat dilihat dari hasil produk arang yang diperoleh (Li, 2017). Selain itu, dapat dilihat bahwa pada temperatur 500, 600, 700 dan 800°C, nilai kalor produk arang dengan menggunakan umpan 1 lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor produk arang yang menggunakan umpan 2. Hal tersebut disebabkan oleh kadar air pada umpan 1 lebih rendah dengan umpan 2, dimana hal tersebut berpengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan.



Gambar 10. Grafik Analisis Nilai Kalor Umpan & Produk Arang Fast Pyrolysis

Karakteristik Hilang Massa

Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 11 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara keadaan umpan terhadap analisis hilang massa produk arang yang dihasilkan. Pada temperatur 500 hingga 800°C, perolehan presentase hilang massa yang lebih besar adalah pada saat menggunakan umpan 2, hal tersebut disebabkan oleh kadar air yang masih tinggi pada umpan 2, dimana pada saat proses *fast pyrolysis*, umpan terdekomposisi lebih banyak sehingga menghasilkan hilang massa yang lebih besar (Ferrara, 2014).

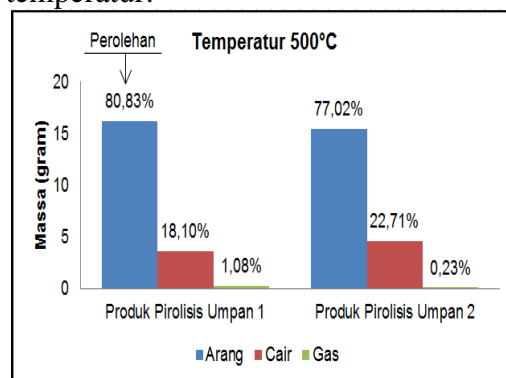


Gambar 11.6 Grafik Analisis Hilang Massa Produk Arang Fast Pyrolysis

Karakteristik Neraca Massa

Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 12 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara keadaan umpan terhadap kuantitas produk yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa pada temperatur 500 hingga 800°C, massa arang yang dihasilkan lebih tinggi pada umpan 1 dari pada massa arang yang dihasilkan pada umpan 2. Selain itu, massa cair yang diperoleh lebih tinggi adalah pada saat menggunakan umpan 2 jika dibandingkan dengan umpan 1 pada semua temperatur. Hal tersebut disebabkan banyaknya kadar air pada umpan 2, sehingga diperoleh lebih banyak massa produk cair dengan menggunakan umpan 2 (Fei, 2012). Sedangkan untuk perolehan massa gas,

cenderung umpan 1 yang lebih banyak menghasilkan gas dibandingkan dengan menggunakan umpan 2 pada semua temperatur.

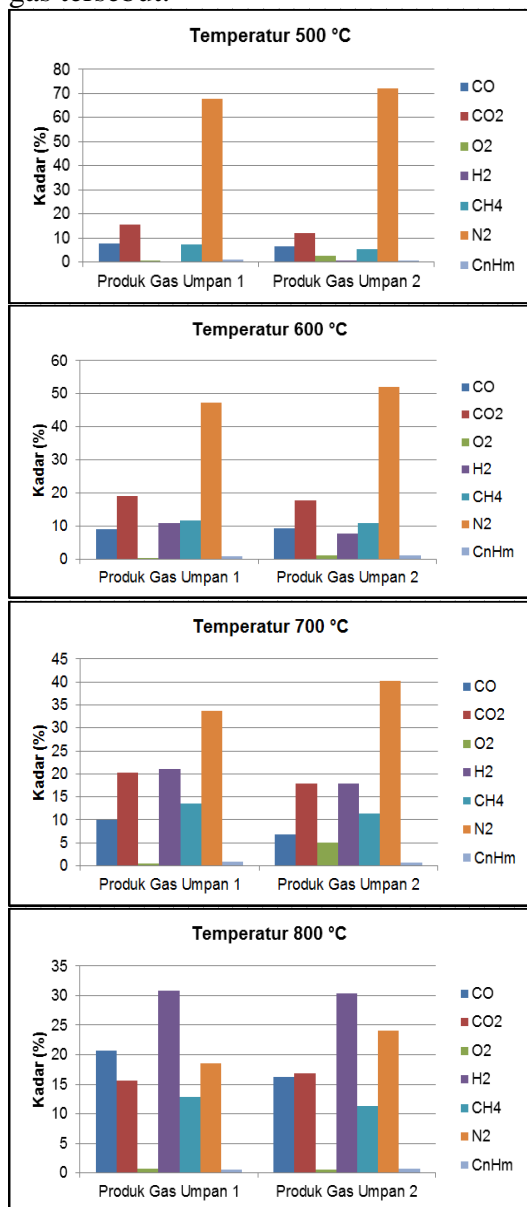


Gambar 12.7 Grafik Analisis Neraca Massa Produk Fast Pyrolysis

Analisis Gas

Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 13 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara keadaan umpan terhadap analisis gas yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa pada temperatur 500, 700 dan 800°C, gas CO yang dihasilkan menggunakan umpan 1 lebih tinggi dibandingkan gas CO yang dihasilkan menggunakan umpan 2. Namun, pada suhu 600°C gas CO yang dihasilkan menggunakan umpan 2 lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan umpan 1. Kemudian untuk gas CO₂ yang dihasilkan pada temperatur 500, 600, dan 700°C, lebih tinggi pada saat menggunakan umpan 1 dibandingkan dengan menggunakan umpan 2. Akan tetapi pada temperatur 800°C gas CO₂ yang dihasilkan pada umpan 2 lebih tinggi dari pada umpan 1. Kemudian untuk gas O₂ dengan menggunakan umpan 1 maupun umpan 2 rata-rata hasilnya sedikit, karena pada proses ini tidak melibatkan O₂. Untuk gas H₂ dan CH₄ pada semua temperatur cenderung lebih banyak menghasilkan gas tersebut pada saat menggunakan umpan 1 dibandingkan menggunakan umpan 2 (Fei, 2012). Untuk kandungan N₂, baik

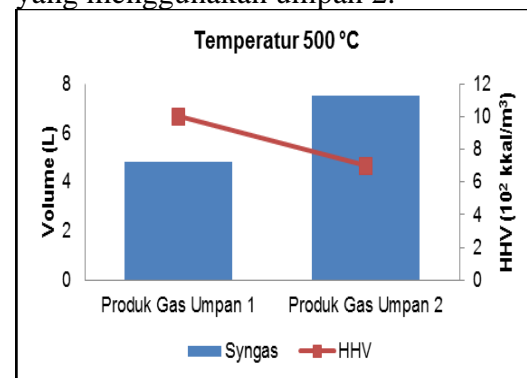
menggunakan umpan 1 maupun umpan 2 memperoleh presentase yang tinggi karena pada saat dilakukannya *pyrolysis* melibatkan N_2 pada prosesnya. Sedangkan untuk gas C_nH_m rata-rata pada umpan 1 dan umpan 2 hanya menghasilkan sedikit kandungan gas tersebut.



Gambar 13. Grafik Analisis Gas Produk Fast Pyrolysis

Pada beberapa tampilan gambar di bawah ini yaitu Gambar 14 dapat dilihat bahwa adanya pengaruh antara kadar air pada umpan terhadap volume dan nilai kalor gas yang dihasilkan.

Dapat dilihat bahwa pada semua temperatur dengan menggunakan umpan 2 cenderung menghasilkan gas lebih banyak dibandingkan pada saat menggunakan umpan 1. Hal tersebut dikarenakan umpan 1 sebelumnya dilakukan pemanasan, sehingga air maupun zat terbang telah menguap terlebih dahulu. Maka dari itu volume gas yang dihasilkan pada saat menggunakan umpan 1 lebih sedikit dari pada umpan 2. Lain halnya dengan nilai kalor gas, dimana nilai kalor gas pada saat menggunakan umpan 1 lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor yang menggunakan umpan 2.

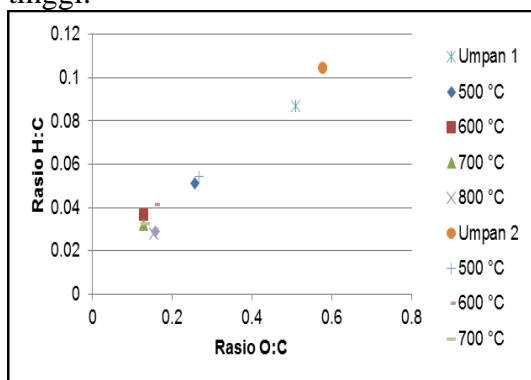


Gambar 14. Grafik Analisis Volume & Nilai Kalor Gas Produk Fast Pyrolysis

Analisis H/C dan O/C

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa dalam diagram Van Krevelen yang memberikan informasi mengenai rasio H/C dan O/C yang dihasilkan. Adapun rasio H/C dan O/C yang dihasilkan produk arang adalah lebih kecil dibandingkan dengan umpan. Adapun semakin tinggi temperatur yang digunakan, maka rasio yang dihasilkan semakin kecil dan hal tersebut menandakan bahwa nilai kalor juga semakin meningkat dengan semakin tingginya temperatur yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan terdapat pengurangan kadar unsur H dan O yang terjadi, sehingga kadar karbon tinggi yang menjadikan nilai kalor semakin tinggi (Valdes, 2018).

Selain itu, dapat dilihat pula bahwa umpan 1 dan produk yang dihasilkan memperoleh nilai rasio lebih kecil dibandingkan dengan umpan 2 beserta produk yang dihasilkan, dimana hal tersebut disebabkan umpan 1 memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan umpan 2, dimana pelepasan air dan zat terbang umpan 1 lebih banyak sehingga hal tersebut menjadikan produk arang yang diperoleh memiliki nilai kalor yang tinggi.



Gambar 15. Rasio H/C O/C Umpan dan Produk Arang pada Diagram Van Krevelen

D. Kesimpulan

Percobaan *fast pyrolysis* dengan variasi umpan yaitu batubara dengan kadar air 10,57% (umpan 1) dan batubara dengan kadar air 16,86% (umpan 2) serta variasi temperatur yang digunakan yaitu 500, 600, 700, dan 800°C, tentunya memiliki perolehan hasil produk *fast pyrolysis* yang kemudian dilakukan analisis.

Berdasarkan variasi temperatur yang digunakan, terdapat adanya pengaruh pada perolehan produk yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur yang digunakan, produk arang semakin sedikit yang dihasilkan dengan presentase hilang massa yang besar. Lain halnya dengan produk cair, pada suhu 500 dan 600°C produk cair yang dihasilkan lebih banyak dan turun kembali pada suhu 700 dan 800°C.

Sedangkan untuk produk gas, semakin tinggi temperatur yang digunakan, maka produk gas yang diperoleh juga semakin tinggi.

Berdasarkan variasi kadar air umpan, juga berpengaruh terhadap perolehan produk yang dihasilkan. Pada temperatur 500 hingga 800°C, massa arang yang dihasilkan lebih tinggi pada umpan 1 dari pada massa arang yang dihasilkan pada umpan 2. Selain itu, massa cair yang diperoleh lebih tinggi adalah pada saat menggunakan umpan 2 jika dibandingkan dengan umpan 1 pada semua temperatur. Sedangkan untuk perolehan massa gas, cenderung umpan 1 yang lebih banyak menghasilkan gas dibandingkan dengan menggunakan umpan 2 pada semua temperatur.

E. Saran

1. Melakukan penelitian *fast pyrolysis* dengan lebih banyak parameter seperti banyaknya umpan, ukuran umpan, dan waktu tinggal, untuk bisa dilakukan perbandingan analisis sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal.
2. Melakukan penelitian *fast pyrolysis* dengan menggunakan alat yang lebih besar, sehingga dapat memaksimalkan produk cairan yang didapatkan sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut antara produk yang dihasilkan *fast pyrolysis* khususnya cair dengan kriteria produk yang dapat dimanfaatkan, sehingga dapat diketahui layak atau tidaknya produk yang dihasilkan tersebut untuk dimanfaatkan.

Daftar Pustaka

- Dong Kyoo. Park., Sang Done. Kim., See Hoon. Lee., and Jae Goo. Lee.,
2010, Co-pyrolysis characteristic of sawdust and coal blend in TGA and a fixed bed reactor, Republic of Korea.
- Fei, Jinxia., et, al, 2012, Synergistic Effects on Co-Pyrolysis of Lignite and High-Sulfur Swelling Coal, China.
- Ferrara, F., et, al, 2014, Pyrolysis of Coal, Biomass and Their Blends : Performance Assessment by Thermogravimetric Analysis, Italy.
- Li, Qian., et, al, 2017, Pyrolysis Characteristics and Evolution of Char Structure during Pulverized Coal Pyrolysis in Drop Tube Furnace : Influence of Temperature, China.
- Rabe, R.C., 2005, A Model for Vacuum Pyrolysis of Biomass, Thesis, Departmen of Process Engineering at the University of Stellenbosch.
- Raclavska, Helena., et, al, 2015, Effect of Temperature on the Enrichment and volatility of 18 Elements During Pyrolysis of Biomass, Coal, and Tires, Czech Republic.
- Speight, J. G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal*. California: CRC Press.
- Valdes, Carlos F., Chejne, Farid., 2018, Fast pyrolysis of coal particles in a novel hot plate reactor: Implications of the reaction atmosphere on the reactivity and char chemical structure, Colombia.