

**PENGARUH TEMPERATUR DAN PERINGKAT BATUBARA TERHADAP
KONSENTRASI PRODUK GAS DALAM PROSES PIROLISIS BATUBARA****Ratih Diah Andayani*****Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Universitas IBA*

Email : ratihd.andayani@gmail.com

ABSTRAK

Konsumsi batubara akan terus mengalami peningkatan khususnya di sektor kelistrikan seiring dengan bertambahnya jumlah pembangkit listrik Tenaga uap (PLTU). Agar produksi batubara tidak hanya menggali dan menjual, maka perlu upaya untuk meningkatkan nilai tambah dengan mengkonversi batubara sebagai bahan bakar gas dengan proses pirolisis. Komposisi gas produk proses pirolisis batubara secara kuantitas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya, peringkat batubara, jenis dan asal batubara, temperatur operasi, tekanan, laju alir gas inert, untuk itu perlu suatu penelitian yang dapat memberikan informasi mula terhadap kuantitas produk gas yang diperlukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pemanfaatan batubara sebagai sumber energi gas yang memiliki nilai tambah. Penelitian difokuskan untuk melihat pengaruh temperatur pirolisis dan peringkat batubara terhadap konsentrasi produk gas. Batubara yang digunakan peringkat sub-bituminus dan peringkat HVC-Bituminus. Sampel gas dianalisis dengan menggunakan gas kromatografi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur pirolisis dan peringkat batubara berpengaruh terhadap perolehan kuantitatif produk gas, dengan kenaikan temperatur gas CO₂ selalu menurun dengan kenaikan temperatur sampai 700 °C, Sedangkan gas Oksigen menunjukkan kecenderungan yang tidak signifikan. Produk gas CO, Hidrogen dan Metana, menunjukkan kecenderungan yang sebaliknya yaitu meningkat dengan kenaikan temperatur hingga 700°C. Dengan kenaikan peringkat batubara, konsentrasi gas hasil menunjukkan kecenderungan berkurang, perolehan gas H₂, O₂, CH₄, CO, dan CO₂, maksimum diperoleh pada batubara peringkat sub-bituminus pada temperatur pirolisis 700 °C masing-masing sebesar 1,11 %-bertat; 0,28 %-berat; 6,02 % dan 3,68 %-berat batubara

Kata Kunci: Temperatur operasi, Peringkat batubara, Energi gas**1. PENDAHULUAN**

Konsumsi Batubara di Indonesia terus mengalami peningkatan, tercatat pada tahun 2014 konsumsi batubara di Indonesia mencapai 76 juta ton, kemudian pada tahun 2015 mencapai 86 juta ton dan pada tahun 2016 sebesar 91 juta ton dan pada tahun 2017 sebesar 97 juta ton dan tahun 2018 mencapai 115 juta ton. Sebagian besar konsumsi batubara di Indonesia digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi pembangkit listrik sebesar 60,5 % dan sisanya untuk industri tekstil, semen maupun briket (Pebrianto EW, 2019)

Sampai saat ini, kegiatan Produksi batubara di Indonesia hanya menggali dan menjual, untuk itu perlu meningkatkan nilai tambah seperti yang telah dilakukan di negara-negara lain, di antaranya China telah mengubah batubara menjadi jet fuel. Peningkatan nilai tambah batubara di Indonesia dapat dilakukan dengan mengubah batubara menjadi bahan bakar gas menggantikan LPG yang sampai sekarang masih digunakan untuk memenuhi kebutuhan terutama untuk kebutuhan rumah tangga, salah satunya adalah teknologi pencairan batubara dengan proses pirolisis

Komposisi gas produk proses pirolisis batubara secara kuantitas sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya, peringkat batubara, jenis dan asal batubara, temperatur operasi, tekanan, laju alir gas inert, untuk itu perlu suatu penelitian yang dapat memberikan informasi mula terhadap kuantitas produksi gas yang diperlukan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pemanfaatan batubara sebagai sumber energi gas yang memiliki nilai tambah mengingat cadangan batubara yang tersedia masih banyak melebihi cadangan minyak bumi yang diperkirakan akan mampu bertahan hingga 100 tahun kedepan. Faktor-faktor yang dikaji adalah pengaruh temperatur dan peringkat batubara terhadap konsentrasi gas hasil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Batubara termasuk salah satu bahan bakar fosil yang terbentuk dari sisa tumbuhan yang mengendap, dan karena proses fisika dan kimia yang berlangsung jutaan tahun sehingga mengalami perubahan bentuk. Pembentukan batubara berawal dari endapan tumbuhan berubah menjadi gambut (peat) selanjutnya berubah menjadi batubara muda (lignit/brown coal) yang merupakan batubara mutu rendah. Kemudian karena pengaruh suhu dan tekanan yang berlangsung saselama jutaan tahun yang berlangsung terus menerus, maka batubara muda berubah menjadi batubara sub-bituminus. Perubahan fisika dan kimia berlangsung terus hingga menjadi lebih keras dan berwarna lebih hitam selanjutnya berubah menjadi batubara Bituminus. Perubahan terus berlangsung dan akhirnya berubah menjadi batubara antrasit (Raharjo I, 2016)

Selama proses pematubaraan, dengan bertambah tinggi kualitas batubara terjadi penurunan kadar oksigen dan kadar zat terbang, sementara kadar hidrogen relatif konstan sedangkan kadar karbon meningkat. Kadar oksigen sebanyak 30 % sampai 50 % di dalam tumbuh-tumbuhan berkurang menjadi 20 % sampai 25 % untuk batubara peringkat lignit, 10 – 20 % untuk batubara peringkat sub-bituminus; 5-10 % untuk batubara peringkat bituminus dan sekitar 1 % untuk batubara peringkat antrasit (Meyer, 1975)

Struktur kimia batubara sulit ditentukan karena sangat kompleks, tetapi kira-kira berbentuk polimer padat yang tersusun dalam grup polisiklik dan aromatik, masing-masing grup dihubungkan oleh struktur alifatik. Jumlah cincin aromatik bertambah dengan semakin tinggi kadar karbon dalam batubara. Sementara jumlah struktur alifatik berkurang dengan naiknya peringkat batubara. Struktur alifatik terdiri dari senyawa-senyawa alifatik rantai pendek (metil, etil) dan jembatan metilen dan etilen, senyawa-senyawa alifatik rantai panjang pada pemanasan batubara akan terdekomposisi menjadi senyawa alifatik rantai pendek dan selanjutnya senyawa alifatik rantai pendek, akan terdekomposisi menjadi gas metan dan senyawa olefin. Gusus fungsional oksigen berkurang dengan kenaikan peringkat batubara (Tsai, 1982).

Proses pirolisis atau disebut juga proses karbonisasi adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen, produk yang dihasilkan dari proses pirolisis adalah gas-gas seperti CO, CO₂, CH₄, H₂, dan gas-gas hidrokarbon ringan, jenis gas gas yang dihasilkan bermacam-macam tergantung dari bahan baku (Sodikin MP, 2011).

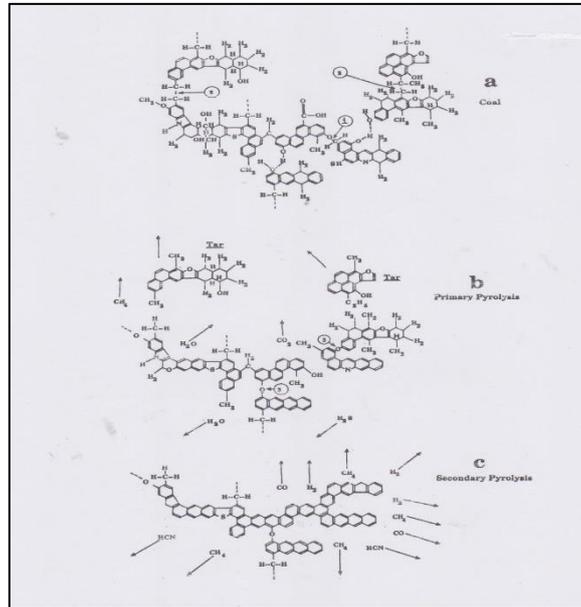
Suurberg, (1980) menyatakan bahwa proses pirolisis batubara adalah proses pemanasan batubara dengan menggunakan gas inert (N₂ atau He) atau dengan pereduksi (gas H₂). Pada pemanasan ini batubara terdekomposisi menghasilkan gas, produk cair (tar) dan residu yang berupa arang dan abu. Jumlah residu yang dihasilkan kira-kira 50 % dari berat batubara umpan.

Model pembentukan produk pirolisis batubara sulit untuk diketahui dengan pasti, sejumlah peneliti memperkirakan bahwa mekanisme reaksi pirolisis tidak berlangsung secara serentak, tetapi terjadi dalam dua tahapan yakni tahap reaksi primer dan tahan reaksi sekunder.

Solomon (1992) memperkirakan mekanisme pembentukan produk pirolisis melalui tahapan reaksi primer dan reaksi sekunder (Gambar 1). Tahap reaksi primer terjadi pada temperatur 200 -400 °C, proses ini dimulai dengan pemutusan jembatan yang paling lemah, yakni pada ikatan alifatik C-C dan C-O dan reaksi dekomposisi grup fungsional menghasilkan gas terutama gas CO₂ dan gas CH₄ serta air. Gas metana terbentuk dari gugus metil yang terikat pada karbon aromatik kemudian bereaksi dengan atom hidrogen dari batubaranya sendiri gas CO₂ terbentuk dari kondensasi gugus karboksilat, sedangkan air terbentuk dari reaksi kondensasi dua gugus -OH atau satu gugus -OH dengan satu gugus -COOH (label 3 gambar1).

Pada tahapan reaksi sekunder (gambar 2.3b) produk sebagian besar merupakan produk gas. Produk gas ini dihasilkan dari rengkahan senyawa tar primer, di antaranya gas metana,

berasal dari rengkahan senyawa yang mengandung metil, gas CO dari rengkahan gugus eter dan H₂ dari kondensasi cincin, dekomposisi senyawa alifatik dan aromatik.



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Produk Pirolisis melalui tahapan Reaksi Primer Dan Reaksi Sekunder menurut Solmon

Xu dan Tomita (1989) meneliti pengaruh temperatur pirolisis terhadap produk gas metana, produk gas metana meningkat dengan kenaikan temperatur sampai temperatur 900.°C. Gavalas (1982) menyatakan bahwa produk gas karbon dioksida berkurang dengan semakin tinggi peringkat batubara, sementara Tsai (1982) meyakini bahwa pada batubara peringkat rendah produk zat terbang sebagian besar merupakan produk gas dan air. Fenomena ini disebabkan pada batubara peringkat rendah banyak mengandung gugus oksigen seperti gugus ester, anhidrid dan alkoxide, sementara gugus tersebut pada batubara peringkat tinggi relatif kecil.

Elliot (1981), meneliti pengaruh peringkat batubara terhadap konsentrasi produk gas, di antaranya gas CO, CO₂, H₂ dan gas hidrokarbon C₁- C₃ terhadap batubara peringkat lignit, sub-bituminus dan bituminus. Produk gas CO berkurang dengan kenaikan peringkat batubara, sementara perolehan produk gas H₂ menunjukkan kenaikan dengan bertambah tinggi peringkat batubara sedangkan perolehan gas metana tertinggi pada batubara peringkat sub-bituminus, dan menurun pada batubara peringkat bituminus.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Gas produk pirolisis di analisis dengan menggunakan alat kromatografi gas dengan kolom Porapaq dan molecular Sieve 5 A yang dipasang secara paralel dengan detektor TCD yang dilengkapi dengan integrator Chromatopac C-RIB merk Shimidzu dengan kondisi sebagai berikut :

- Temperatur injeksi : 70 °C
- Temperatur kolom : 40 °C
- Pelayan (atenuator) : 2
- Arus : 70 mA
- Gas Pembawa : Argon, 30 mL/menit

Sampel produk gas hasil merupakan produk proses pirolisis pada tempertaur operasi 400, 500, 600 dan 700,l gas hasil pirolisis diambil sampelnya setiap 15 menit dan di analisis dengan menggunakan kromatografi gas. Konsentrasi gas dihitung dengan menghitung luasan kromatogram yang dihasilkan integrator. Perhitungan konsentrasi Gas Hasil dihitung sebagai berikut :

1. Perhitungan Laju mol gas hasil (mol/menit)

Perhitungan laju mol gas hasil dihitung dengan asumsi gas hasil pirolisis batubara dianggap ideal sehingga berlaku rumus gas ideal :

$$PV = n RT$$

Atau
$$n = \frac{PV}{RT}$$

Dimana:

P = Tekanan (atm)

R = konstanta gas ideal (82,05 mL.atm/mol. K)

V = laju alir volum (mL/menit)

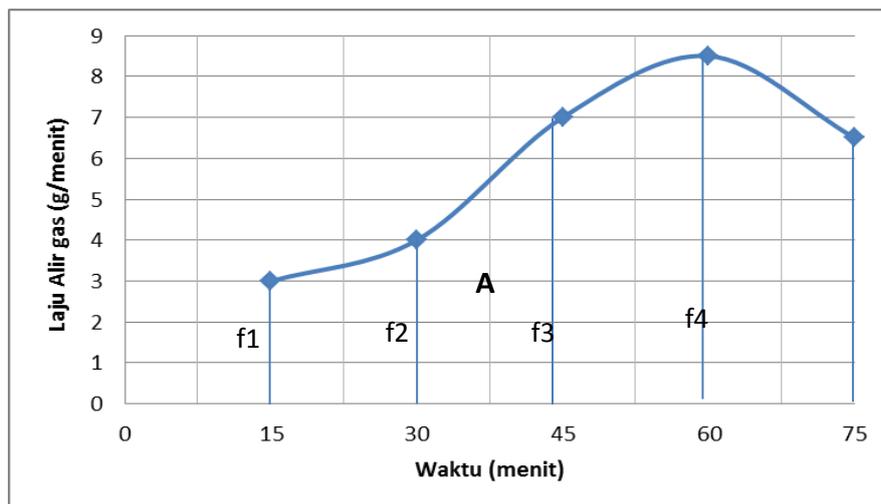
T = Temperatur gas keluar kondensor (K)

n = laju alir mol gas (mol/menit)

2. Perhitungan Laju alir masa gas Hasil (g/menit)

Massa = laju alir mol x BM

Total laju alir massa gas hasil selama waktu t menit dihitung dengan cara integrasi laju alir gas sepanjang Run tersebut. Perhitungan integrasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode trapesium, yaitu dengan menghitung luas daerah dibawah kurva. Tinggi trapesium adalah waktu pengambilan sample dan alas trapesium adalah konsentrasi gas yang dihasilkan dari kromatografi gas. Perhitungan luas trapesium dihitung sebagai berikut :



Gambar 2. Kurva Hubungan Lajur Alir Gas Terhadap Waktu

Tinjau daerah A pada Gambar, htiung luas A sebagai berikut:

Luas A = 0,5 x (45-30) x (f₂ + f₃) = 0,5 x 9f₂ + f₃)

Luas total di bawah kurva, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sum \text{luas} &= 0,5 \Delta t (f_1 + f_2) + 0,5 \Delta t (f_2 + f_3) + \dots + 0,5 \Delta t (f_{n-2} + f_{n-1}) + 0,5 \Delta t (f_{n-1} + f_n) \\ &= 0,5 \Delta t (f_1 + 2 \sum_{x=2}^{x=n-1} f_x + f_n)\end{aligned}$$

Dengan $\Delta t = 15$ menit

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara peringkat sub-bituminus yang berasal dari daerah penambangan Bukit Asam Tanjung Enim Sumatera Selatan dan batubara peringkat Bituminus yang berasal dari Indomeco Mandiri Klimantan timur, Hasil analisis proksimat dan ultimat batubara yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara

Analisis	Batubara Sub-Bituminus	Batubara HVC-Bituminus
1. Analisis Proksimat		
Kandungan air (% , adb)	20,71	6,81
Kandungan abu (5, adb)	2,20	2,41
Kadar zat terbang (% , adb)	37,50	42,83
Karbon tetap (%-adb)	39,59	47,95
Nilai Kalor (cal/g/adb)	5505	6701
2. Analisis Ultimat		
Tota Belerang (% ,adb)	0,16	2,92
Karbon (% , adb)	55,45	68,30
Hidrogen (% ,adb)	7,26	6,51
Nitrogen (% , adb)	0,68	1,03
Oksigen (% ,adb)	34,25	18,83

Produk gas hasil pencairan batubara pada umumnya terdiri dari gas CO, CO₂, O₂, NH₃, H₂S dan gas-gas Hidrokarbon C₁-C₂ diantaranya gas Metana (CH₄), Etana (C₂H₆), Propana (C₃H₈), Butana (C₄H₁₀) dan pentana (C₅H₁₂) (Desypris, 1982). Tetapi hasil penelitian dengan menggunakan kromatografi gas hanya berhasil menentukan analisis kuantitatif gas-gas CO, CO₂, H₂, O₂ dan CH₄, semnetara gas-gas lainnya tidak dapat ditentukan , kemungkinan dalam jumlah sangat kecil atau dalam bentuk Trace sehingga sulit dideteksi.

Hasil penelitian setiap temperatur operasi terhadap konsentrasi produk gas disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 masing masing untuk Barubara peringkat peringkat Sub-Bituminus dan Batubara HVC-Bituminus

Tabel 2. Konsentrasi Produk gas Hasil Pirolisis Batubara Peringkat Sub-Bituminus

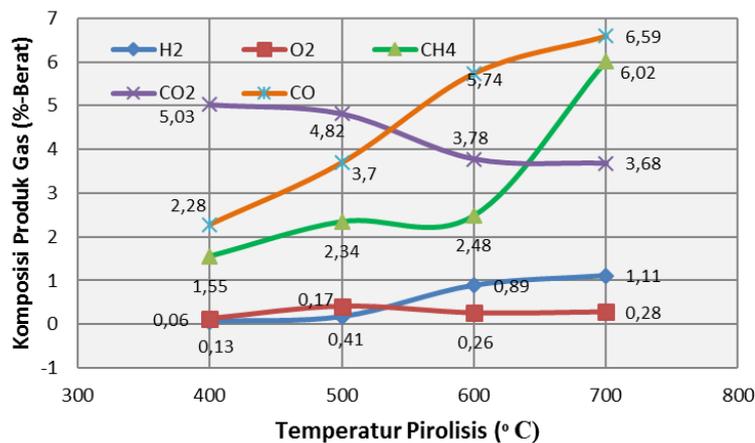
Produk Gas	Temperatur Pirolisis (° C)							
	400		500		600		700	
	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan
H ₂	1,4	0,06	4,08	0,17	20,24	0,89	25,99	1,11
O ₂	3,02	0,13	9,58	0,41	5,95	0,26	6,56	0,28
CH ₄	36,83	1,55	54,64	2,34	56,66	2,48	140,33	6,02
CO ₂	119,24	5,03	112,69	4,82	86,36	3,78	85,78	3,68
CO	54,13	2,28	86,42	3,70	131,10	5,74	153,72	6,59
Total	214,62	9,05	267,45	11,44	300,31	13,15	412,39	17,
Umpan Batubara	2369,32		2336,55		2282,71		2333,0	

Tabel 3. Konsentrasi Produk gas Hasil Pirolisis Batubara HVC- Bituminus

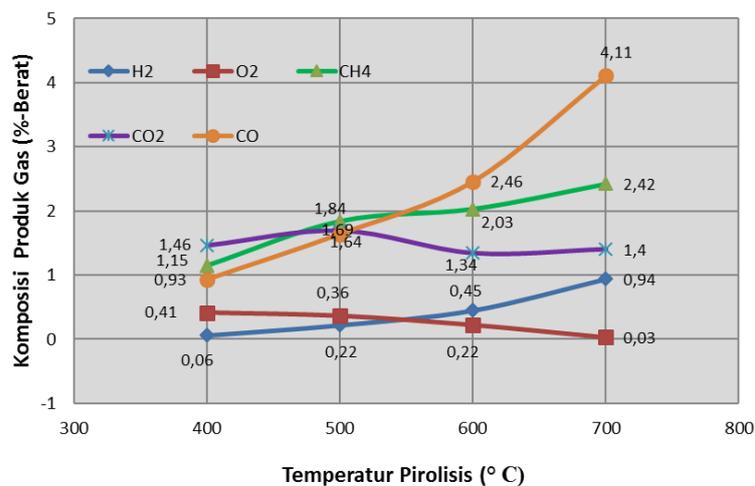
Komponen Produk Gas	Temperatur Pirolisis (° C)							
	400		500		600		700	
	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan	Berat (gram)	%-berat Umpan
H ₂	1,53	0,06	5,04	0,22	10,34	0,45	20,56	0,94
O ₂	9,57	0,41	8,45	0,36	4,94	0,22	0,56	0,03
CH ₄	27,05	1,15	42,93	1,84	46,49	2,03	52,62	2,42
CO ₂	34,52	1,46	39,49	1,69	30,59	1,34	30,42	1,40
CO	21,97	0,93	38,22	1,64	56,25	2,46	89,54	4,11
Total	94,64	4,01	134,13	5,75	148,62	6,50	193,70	8,90
Umpan Batubara	2361,64		2331,33		2286,32		2176,90	

A. Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Komposisi Produk Gas

Hasil proses pirolisis Batubara pada rentang temperatur 400 °C sampai 700 °C dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 masing-masing untuk batubara Sub-Bituminus dan Batubara HVC-Bituminus



Gambar 3. Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Konsentrasi Produk Gas Hasil Proses Pirolisis Batubara Peringkat Sub-Bituminus



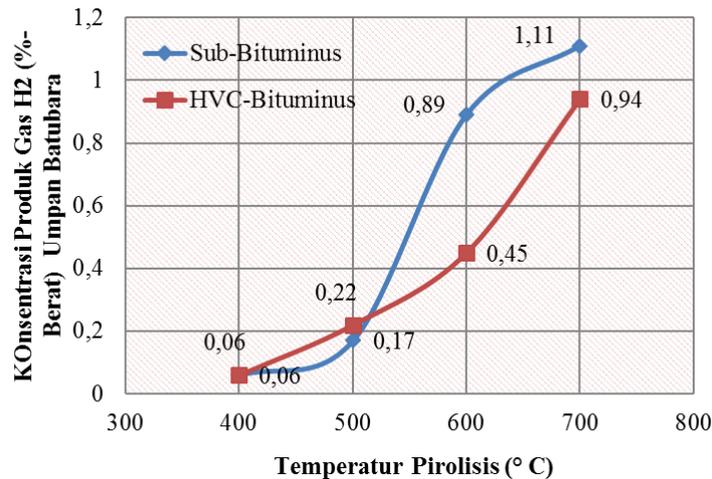
Gambar 4. Kurva Pengaruh Temperatur Terhadap Konsentrasi Produk Gas Hasil Proses Pirolisis Batubara Peringkat HVC-Bituminus

Jika dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3, untuk kedua peringkat batubara menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu gas CO₂ selalu menurun dengan kenaikan temperatur sampai 700, feneomena ini menunjukkan bahwa gas CO₂ terbentuk pada temperatur rendah yaitu sebagai hasil pada tahapan reaksi primer, hal yang sama juga diperkirakan oleh Gavalas (1982), yang menyatakan bahwa gas karbon dioksida terbentuk pada temperatur rendah. Sedangkan gas Oksigen menunjukkan kecenderungan yang tidak signifikan.

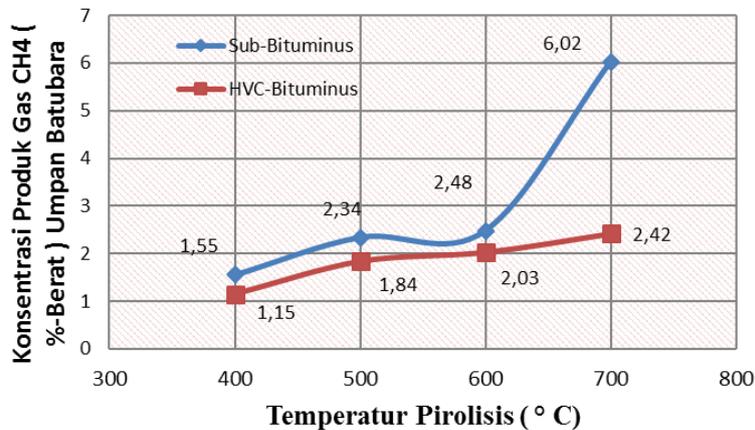
Produk gas CO, Hidrogen dan Metana, menunjukkan kecenderungan yang sebaliknya dengan gas karbon dioksida yaitu meningkat dengan kenaikan temperatur hingga 700 °C. Hal ini diduga bahwa ke tiga gas tersebut terbentuk pada temperatur tinggi pada tahapan reaksi sekunder yang dihasilkan dari dekomposisi senyawa senyawa tar primer. Gas metana pada temperatur rendah terbentuk sebagai hasil dekomposisi grup metil sedangkan pada temperatur tinggi dihasilkan dari dekomposisi senyawa parafin rantai panjang; gas Hidrogen sebagian besar dihasilkan dari dekomposisi senyawa parafin dan aromatik serta reaksi kondensasi senyawa olefin menjadi senyawa aromatik (Van Heek, 1993). sementara gas CO pada temperatur rendah dihasilkan dari dekomposisi grup eter dan karbonil sedangkan pada temperatur tinggi dihasilkan dari dekomposisi senyawa Fenol menjadi Benzena.

B. Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Produk Gas

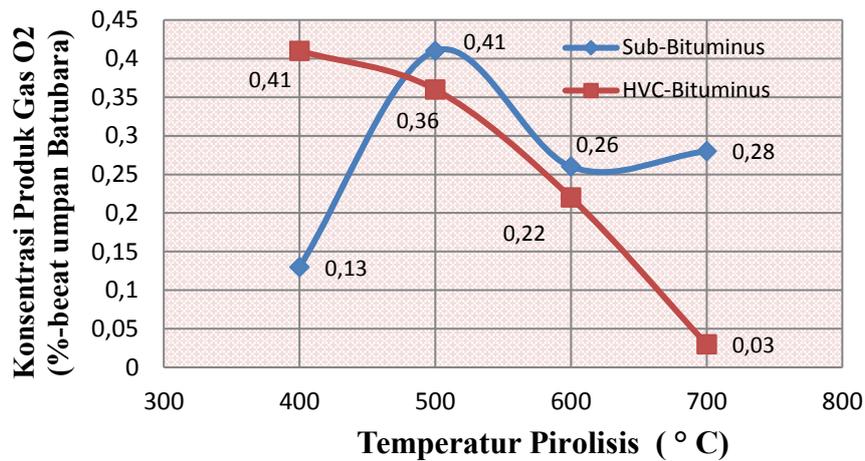
Hasil pengaluran pengaruh peringkat batubara terhadap kosentrasi gas hasil pada setiap kenaikan temperatur pirolisis dari 400 °C hingga 700° C disajikan pada Gambar 4 sampai Gambar 8, masing-masing untuk produk gas H₂, CH₄, Gas O₂; gas CO₂ dan gas CO



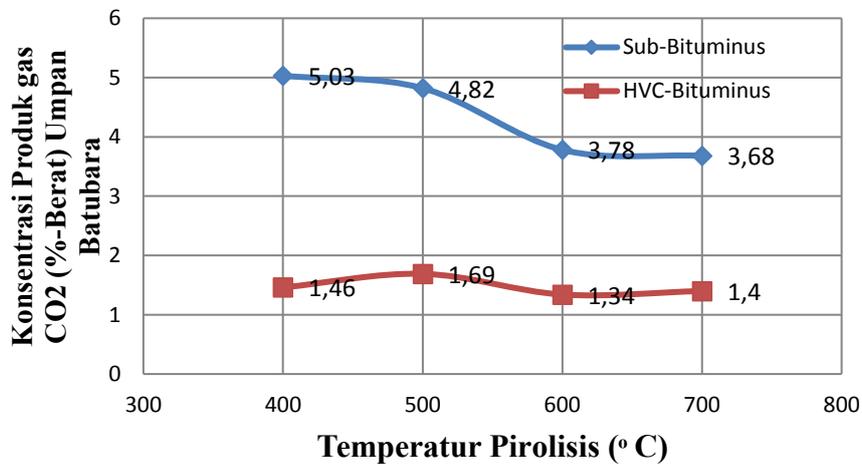
Gambar 5. Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Gas Hidrogen



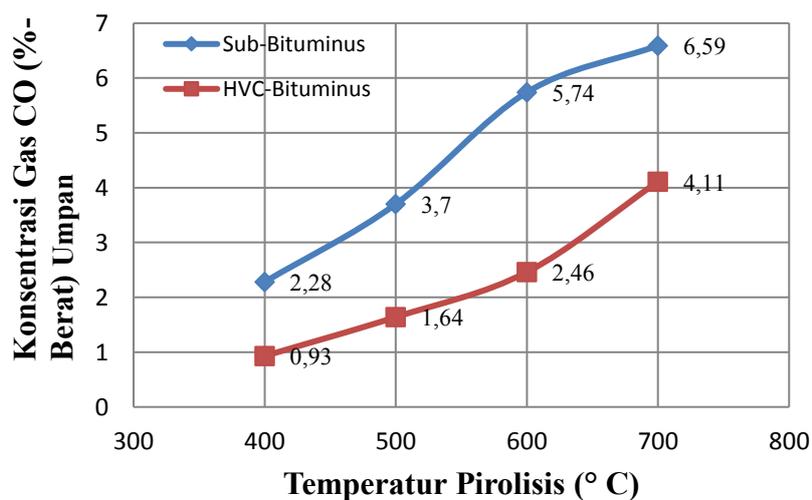
Gambar 6. Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Gas Metana



Gambar 7. Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Gas Oksigen



Gambar 8. Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Gas CO₂



Gambar 9. Pengaruh Peringkat batubara Terhadap Konsentrasi Gas CO

Jika dilihat dari gambar diatas , menunjukkan bahwa semakin tinggi peringkat batubara, konsentrasi produk gas semakin berkurang. Hampir semua produk gas menunjukkan perolehan yang tertinggi pada batubara peringkat sub-bituminus .Hal ini diduga karena komposisi batubara peringkat rendah (sub-bituminus) lebih banyak gugus alifatik dan gugus fungsional oksigen, Struktur alifatik terdiri dari senyawa-senyawa alifatik rantai pendek (metil, etil) dan jembatan metilen dan etilen, senyawa-senyawa alifatik rantai panjang tersebut pada pemanasan batubara akan terdekomposisi menjadi senyawa alifatik rantai pendek dan selanjutnya senyawa alifatik rantai pendek, akan terdekomposisi menjadi gas metan dan senyawa olefin.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Temperatur pirolisis dan peringkat batubara berpengaruh terhadap perolehan kuantitatif produk gas, dengan kenaikan temperatur gas CO₂ selalu menurun dengan kenaikan temperatur sampai 700 °C, Sedangkan gas Oksigen menunjukkan kecenderungan yang tidak signifikan. Produk gas CO, Hidrogen dan Metana, menunjukkan kecenderungan yang sebaliknya yaitu meningkat dengan kenaikan temperatur hingga 700.
2. Dengan kenaikan peringkat batubara, konsentrasi gas hasil menunjukkan kecenderungan berkurang, perolehan gas H₂, O₂, CH₄, CO, dan CO₂, maksimum diperoleh pada batubara peringkat sub-bituminus pada temperatur pirolisis 700 °C masing-masing sebesar 1,11 %-berat; 0,28 %-berat; 6,02 % dan 3,68 %-berat batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- Desyres J, dkk, 1984, "Investigation of the Flash Pyrolysis of Some Coals", Fuel, vol.61
- Van Heek, KH dan Hodek, W, , Juni 1993, "Structure and Pyrolysis behaviour of Different Coals and Relevant Model Substances", Fuel, Vol.73
- Elliot MA, 1986, "Chemistry of Coal Utilization, Chapter 9-10, John Wiley and Sons, New York.
- Gavalas GR., 1982., Coal Pyrolysis, Coal Science and Technology 4". Elsevier Scientific Publishing Co, New York.,
- Pebrianto Eko Wicaksono, "Konsumsi Batubara RI Tembus 115 juta ton sepanjang 2018", <http://m.Liputan6.com> diakses pada tanggal 28 Mei 2019 jam 12.22
- Raharjo I, 2016 Mengenal Batubara. <http://Imambudiraharjo.wordpress.com>, diakses pada tanggal 2 Juli 2019.
- Sodikin mandala Putra, 2011, "Teknologi Pemanfaatan Batubara Untuk Menghasilkan Batubara Cair, Pembangkit Tenaga Listrik, Gas Metana dan Briket Arang ", Makalah disampaikan pada seminar AAVoER ke-3, Palembang, 26-27 Oktober 2011
- Solomon, dkk, 1992; "Coal Pyrolysis Experiment Kinetic Rate and Mechanism"; Prog Energy Combust.Sci, Vol.18, hal.133-220

Suurberg E,M, dkk, 1980, "Product Comppositional in rapid Hydropyrolysis of Coal". Fuel Vol.59, hal. 405-412

Tsai S.C,1982, "Fundamentalof Coal Benefication and Utilization", Elsevier Scientific

Xu and Tamata, 1989; "The Effects og Temperature and Residance Time on the Secondary Reaction of Volatiles from Coal Pyrolysis"; Fuel Processing Technology, Vol.21, hal.25-37 Publishing, New York.