



Co-Pyrolysis Characteristics of Indonesia Low Rank Coal and Oil Palm Empty Fruit Bunch

Siti Zullaikah^{*1}, Zigmawiko T. S.², Shohibul Wafa³

Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS
Keputih Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia

*E-mail: szulle@chem-eng.its.ac.id

Abstract

Co-pyrolysis behaviors of Indonesia low rank coal and oil palm empty fruit bunch were studied in a drop-tubed reactor under nitrogen atmosphere. The pyrolysis temperatures were 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C and 700 °C, respectively. Five different biomass ratios (coal/oil palm empty fruit bunch (w/w): 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100) were used. Gas and tar components were analyzed by a gas chromatograph and a gas chromatography–mass spectrometry, respectively. Under co-pyrolysis conditions, the gas volume yields are lower than the calculated values and H₂ content in the gas phase was higher. The changes of gas yield and components are probably caused by the secondary reactions and tar decomposition. Co-pyrolysis tar contains more acid and ester compounds. The addition of biomass changes the atmosphere during the pyrolysis process and promotes tar decomposition. The results of char yields were higher than the calculated values during co-pyrolysis.

Keywords: Coal; oil palm empty fruit bunches; co-pyrolysis; product distribution

Pendahuluan

Indonesia adalah negara yang kaya sumber daya alam, salah satunya batubara dengan jumlah melimpah mencapai 120.34 miliar ton (CDIEMR 2012). Batubara merupakan batuan hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen yang terkena pengaruh tekanan dan panas dan berlangsung sangat lama. Di Indonesia, endapan batubara yang bernilai ekonomis terdapat di cekungan tersier, yang terletak di bagian barat Paparan Sunda (termasuk pulau Sumatera dan Kalimantan). Endapan batubara tersebut tergolong berusia muda dan disebut batubara kualitas rendah dengan nilai kalor antara 3700-5200 kkal/kg. Selain itu, batubara ini memiliki volatilitas yang tinggi, kandungan abu dan sulfur yang rendah serta kandungan air lebih dari 40% (Ewart dan Voughn, 2009). Batubara kualitas rendah pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Karena selama ini pemanfaatannya masih terbatas dalam bentuk padat. Walaupun batubara ketersediaannya melimpah namun penggunaannya haruslah secara bijak karena batubara merupakan sumber alam yang tidak terbarukan. Metode co-processing batubara merupakan salah satu metode yang baru-baru ini dikembangkan seperti co-pyrolysis, co-combustion/co-firing, co-gasification, co-liquefaction dan co-briquetting. Co-processing merupakan salah satu proses pemanfaatan batubara dengan lebih dari satu feedstock. Co-processing berguna untuk menjaga keberlangsungan dari penggunaan batubara dan mengurangi efek buruk batubara terhadap lingkungan.

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia material dengan pemanasan tanpa adanya oksigen pada suhu lebih dari 300°C. Pada umumnya proses pirolisis akan menghasilkan char, tar, dan gas. Tar adalah cairan berwarna coklat kehitaman yang terdiri dari senyawa-senyawa alifatik, aromatik, alicyclic, dan heterocyclic yang berpotensi sebagai bahan bakar cair ataupun bahan baku kimia industri (speight, 2013).

Biomassa merupakan sumber energi yang terbarukan dan lebih ramah terhadap lingkungan. Kelapa sawit merupakan sumber biomassa yang ketersediaannya melimpah di Indonesia khususnya di pulau Kalimantan dan Sumatera. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah salah satu produk samping berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit mencapai 26.697.464 ton per tahun (Erlan, 2012). Batubara dan TKKS masing-masing memiliki struktur yang kompleks, yang dapat menunjukkan perbedaan dalam dekomposisi termal. Sehingga memungkinkan adanya efek sinergis diantara kedua bahan baku tersebut baik secara kuantitas maupun kualitas. Efek sinergis didefinisikan sebagai peningkatan atau penurunan dari hasil perolehan eksperimen co-processing dengan hasil perhitungan (Suelves dkk, 2000). Untuk mengetahui ada atau tidaknya efek sinergis dalam co-pirolisis batubara dan biomassa, beberapa peneliti telah melakukan penelitian. Zhang dkk (2007) melaporkan efek sinergis antara co-pirolisis batubara dan biomassa yakni antara *Dayan Lignit* dan





Legum straw dengan menggunakan reaktor *free fall*, pada kondisi rasio campuran 73% berat dan suhu 600°C. Dimana yield char turun 12%, produk cair naik 9%, gas CH₄ naik 2,5 kali dan gas CO serta CO₂ turun 2%. Jones dkk (2005) melakukan pirolisis GC-MS dan thermogravimetry analysis (TGA) terhadap tiga batubara yang berbeda dengan menggunakan biomassa kayu pinus pada suhu 400-900°C. Diperoleh produk cair yang sedikit mengandung senyawa aromatik namun kaya akan phenol. Efek sinergis juga diperoleh dari penelitian Park dkk (2010) yang melakukan co-pirolisis antara batubara dan serbuk gergaji dengan menggunakan TGA dan reaktor fixed bed. *Blending rasio* 0,0; 0,2;0,4;0,6; 0,8 dan 1,0, gas carrier N₂ dan waktu reaksi 30 menit dengan reaktor fixed bed diperoleh hasil sinergis produk *volatile* pada temperatur 500-700°C dan maximum pada blending rasio 0,6 dan temperatur 600°C. Idris dkk (2010) melakukan penelitian co-pirolisis batubara sub-bituminus dengan beberapa limbah padat kelapa sawit dengan menggunakan TGA pada suhu 25-900°C, ditemukan efek sinergis yang masih rendah. Pada umumnya hal ini dikarenakan pada co-pirolisis TGA menggunakan laju pemanasan yang rendah dan sampel yang sedikit sehingga material yang digunakan terurai masing-masing dan tidak memungkinkan terjadinya interaksi diantara kedua bahan baku (Pan dkk, 1996). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dipelajari karakteristik co-pirolisis berupa komposisi produk yang dihasilkan untuk mengetahui interaksi antara batubara dan TKKS melalui metode co-pirolisis dengan menggunakan reaktor *free fall* pada berbagai perbandingan campuran dan suhu.

Metodologi

Bahan yang digunakan

Batubara yang digunakan berasal dari tambang di Kelurahan Batuah KM 32 Samarinda seberang dan TKKS diperoleh dari perkebunan kelapa sawit di Kelurahan Babulu, Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Ukuran partikel batubara dan TKKS direduksi hingga 16 mesh. Sifat dari bahan baku yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Analisa *proximate* batubara dan TKKS yang digunakan

Parameter analisa	Sample	
	Batubara	TKKS
<i>Analisa proximate</i>		
% Moisture	7.40	8.36
% Ash	19.66	19.99
% Volatile Matter	24.35	28.15
% Fixed Carbon	48.59	43.50
Nilai Kalor (Kcal/Kg)	5221	4895

Co-Pirolisis Batubara dan TKKS

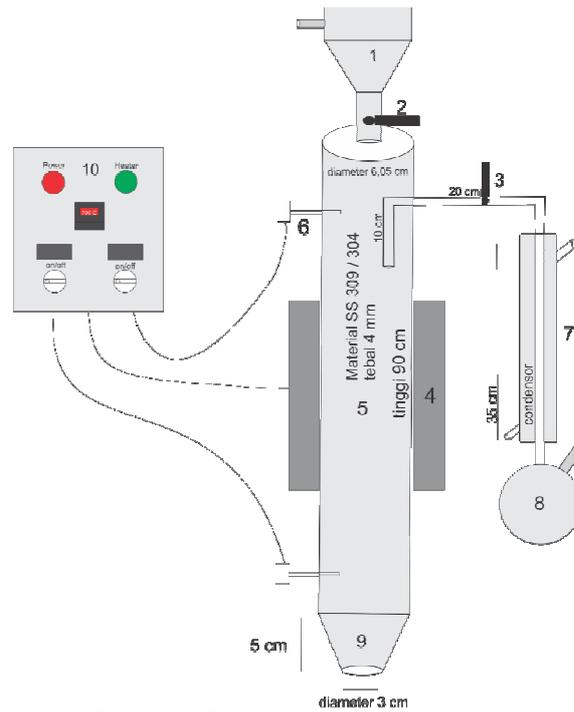
Proses co-pirolisis dilakukan dalam reaktor *free fall (drop tube)* yang beroperasi pada tekanan atmosferik. Skema peralatan dapat dilihat pada gambar 1. Reaktor dilengkapi dengan *thermocouple*, pemanas elektrik dan kondensor. *Hopper* diletakkan di atas reaktor sebagai penampung bahan baku. Sebelum bahan baku dimasukkan kedalam reaktor, terlebih dahulu reaktor dipanaskan pada suhu tertentu (T= 300, 400, 500, 600, dan 700°C) sambil dialirkan gas N₂. Setelah suhu tercapai, bahan baku seberat 100 gram sesuai dengan rasio batubara/TKKS (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, dan 0/100 wt%) dimasukkan kedalam reaktor melalui *hopper*. Selama proses pirolisis, suhu dijaga konstan dan gas *carrier* nitrogen dialirkan kedalam reaktor dengan rate konstan. Proses ini berlangsung selama 1 jam. Tar (gas yang terkondensasi) ditampung dengan cara mengkondensasikan gas yang terbentuk dengan air sebagai pendingin. Sedangkan gas yang tidak terkondensasi ditampung dalam *gas holder*. Produk char yang diperoleh ditimbang setelah pirolisis selesai dan reaktor didinginkan dalam suhu ruangan. Tar yang diperoleh, diukur volumenya kemudian dilakukan uji densitas untuk mendapatkan berat tar. Berat produk gas dihitung sebagai pengurangan bahan baku dengan char dan tar dan HTGC dilakukan untuk menganalisa komposisi gas (H₂ dan CO₂). Tar dianalisa dengan GC-MS untuk mengetahui komposisinya. Perhitungan yield char, tar dan gas digunakan persamaan 1-3.

$$\text{Yield Char} = \frac{\text{Massa Char}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Yield Tar} = \frac{\text{Massa tar}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Yield Gas} = \frac{\text{Massa Gas}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\% \quad (3)$$





Gambar 1. Rangkaian peralatan pirolisis

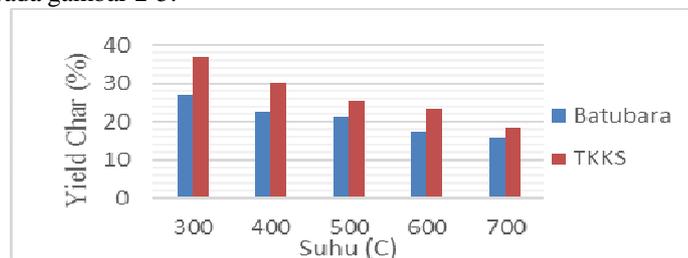
Keterangan gambar:

1. Hopper
2. Hopper valve
3. Valve
4. Heater
5. Reaktor
6. Termocouple
7. Condensor
8. Tar Trap
9. Char Trap
10. Control Panel

Hasil dan Pembahasan

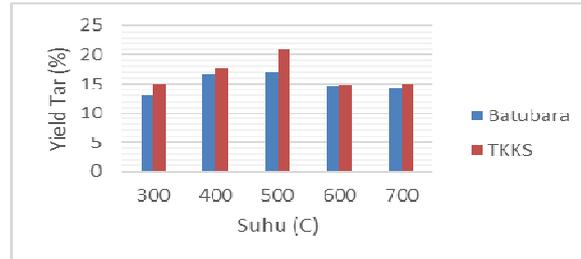
Komposisi Produk Pada Pirolisis Batubara dan TKKS

Karakteristik produk pada proses pirolisis sangat dipengaruhi oleh berbagai hal, antara lain sifat alami bahan, jenis reaktor, waktu dan suhu pirolisis. Pengaruh suhu pirolisis terhadap komposisi produk pada pirolisis batubara dan TKKS dapat dilihat pada gambar 2-5.



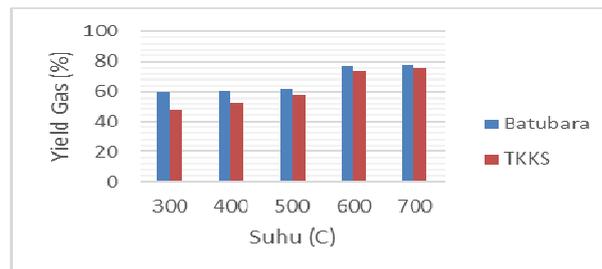
Gambar 2. Yield char produk dari pirolisis batubara dan TKKS

Pada gambar 2 terjadi penurunan yield char pada batubara dan TKKS dengan meningkatnya suhu pirolisis. Namun yield char batubara secara umum lebih rendah dari yield char TKKS. Jika melihat hasil dari pirolisis maka hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhang dkk. (2007) dan Dong K. P. Dkk. (2010). Char dari batubara yang diperoleh pada akhir reaksi sebesar 27,1 gram (27.1%) pada suhu reaksi 300°C, dan menurun mencapai 15,49 gram (15.49%) pada suhu reaksi 700°C. Char yang menurun menunjukkan bahwa bahan baku terdekomposisi lebih banyak seiring dengan meningkatnya suhu. Demikian pula yang terjadi pada char TKKS yang turun dari 37,16 gram (37,16%) pada suhu 300°C menjadi 18,44 gram (18,44%) pada suhu 700°C.



Gambar 3 Yield tar produk dari pirolisis batubara dan TKKS

Yield tar yang ditunjukkan pada gambar 3 masing-masing mengalami peningkatan baik batubara maupun TKKS dengan meningkatnya suhu hingga $T=500^{\circ}\text{C}$ kemudian menurun pada suhu pirolisis $T=600^{\circ}\text{C}$ dan 700°C . Pada batubara yield tar sebesar 13,04% diperoleh pada suhu 300°C dan meningkat menjadi 17,02% pada suhu 500°C . Sedangkan pada TKKS yield tar sebesar 15% diperoleh pada suhu 300°C dan meningkat menjadi 20,88% pada suhu 500°C .



Gambar 4 Yield tar produk dari pirolisis batubara dan TKKS

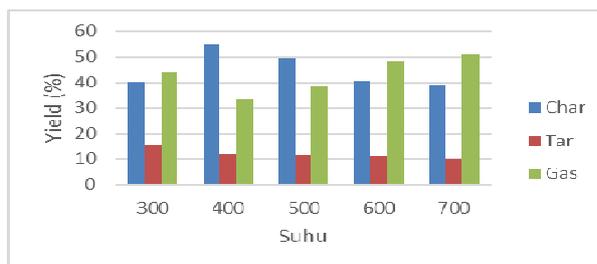
Pada gambar 4 terlihat bahwa yield gas masing-masing mengalami kenaikan dengan meningkatnya suhu pirolisis. Pada batubara yield gas sebesar 59,86% diperoleh pada suhu 300°C dan meningkat menjadi 77,89% pada suhu 700°C . Sedangkan pada TKKS yield gas sebesar 47,84% diperoleh pada suhu 300°C dan meningkat menjadi 75,83% pada suhu 700°C . Dengan meningkatnya suhu hingga $T=500^{\circ}\text{C}$, meningkatkan yield tar sehingga char dan gas yang dihasilkan menurun. Dimana yield tar TKKS yang dihasilkan lebih besar daripada batubara. Hal ini karena TKKS memiliki kandungan *volatile matter* lebih tinggi daripada batubara (Tabel 1). Selain itu, baik selulosa, hemiselulosa dan lignin memiliki struktur makromolekular sebagai biomassa berkayu yang masing-masing strukturnya dihubungkan dengan ikatan eter (R-O-R). Ikatan eter memiliki energi $\sim 380\text{--}420$ kJ/mol. Sementara atubara memiliki struktur yang kompleks dan didominasi oleh ikatan C=C (*aromatic ring*) dengan energi ikatan ~ 1000 kJ/mol (Moghtaderi, 2004).

Komposisi Produk Pada Co-Pirolisis Batubara dan TKKS

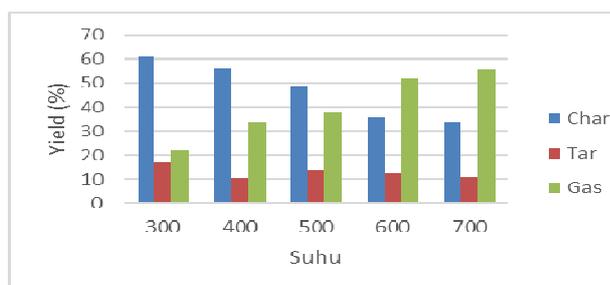
Karakteristik produk hasil co-pirolisis batubara dan TKKS pada berbagai rasio dapat dilihat pada gambar 5-7. Sedangkan efek sinergis dan komposisi gas dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Dari Gambar 5-7 dapat dilihat perolehan yield char yang juga menurun seiring dengan meningkatnya suhu. Pada rasio yang rendah, perolehan tar cenderung naik. Namun perolehan tar menurun pada suhu dan rasio yang lebih tinggi. Karena pada rasio yang lebih tinggi, ketersediaan hidrogen donor semakin banyak namun pada suhu yang tinggi cenderung terjadi dekomposisi sekunder dan terjadi cracking terhadap tar menjadi gas, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Uzun dkk. (2006) dalam Park dkk (2010) sehingga perolehan yield gas lebih dominan.



Gambar 5. Komposisi produk pada berbagai suhu dengan rasio batubara/TKKS = 75/25



Gambar 6. Komposisi produk pada berbagai suhu dengan rasio batubara/TKKS= 50/50



Gambar 7 Komposisi produk pada berbagai suhu dengan rasio batubara/TKKS= 25/75

Cross-linking atau reaksi sekunder merupakan reaksi yang tidak diharapkan dalam pembentukan tar. Karena pada reaksi ini senyawa pembentuk tar cenderung mengalami cracking pada suhu tinggi. Hasilnya adalah pembentukan gas (Speight, 2013). Karena telah ter-cracking, metaplast ini kembali bersifat radikal dan bergabung menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih besar. Reaksi inilah yang dapat memicu pembentukan coke dan meningkatkan perolehan char. Kinerja pembakaran batubara kualitas rendah dapat ditingkatkan dengan penambahan biomassa, sedangkan penambahan biomassa tidak berdampak jelas pada kinerja pembakaran batubara kualitas tinggi. Menambahkan 10% biomassa untuk campuran meningkatkan efisiensi pembakaran batubara kualitas rendah. Dalam co-pirolisis batubara kualitas rendah dan biomassa, penambahan biomassa 10% ini meningkatkan pengapian dan menaikkan reaktivitas di wilayah reaksi yang mudah menguap melalui efek sinergis (Cheoreon Moon, dkk 2013).

Tabel 2 Hasil perhitungan komposisi produk pada berbagai suhu dan rasio batubara/TKKS

suhu	blending ratio	Char		Liquid		Gas	
		Exp	Cal	Exp	Cal	Exp	Cal
T (C)	BB:TKKS						
300	100/0	27.1	27.1	13.04	13.04	59.86	59.86
	75/25	41.2	29.615	11.56	13.53	47.24	63.85375
	50/50	40.21	32.13	15.54	14.02	49.74	67.8475
	25/75	60.84	34.645	16.89	14.51	29.24	71.84125
	0/100	37.16	37.16	15	15	75.835	75.835
400	100/0	22.55	22.55	16.77	16.77	60.68	60.68
	75/25	59.05	24.3775	12.67	17	28.28	58.6225
	50/50	54.98	26.205	11.88	17.23	33.14	56.565
	25/75	55.98	28.0325	10.45	17.46	33.57	54.5075
	0/100	29.86	29.86	17.69	17.69	52.45	52.45
500	100/0	21.45	21.45	17.02	17.02	61.53	61.53
	75/25	51.92	22.42	16.89	17.985	31.19	60.56
	50/50	49.54	23.39	11.45	18.95	35.01	59.59
	25/75	48.77	24.36	13.56	19.915	37.67	58.62
	0/100	25.33	25.33	20.88	20.88	57.65	57.65
600	100/0	17.16	17.16	14.595	14.595	76.825	61.53
	75/25	18.84	18.66875	11.535	14.655	39.25	64.539375
	50/50	40.56	20.1775	16.88	14.715	42.56	67.54875
	25/75	35.56	21.68625	17.23	14.775	47.21	70.558125
	0/100	23.195	23.195	14.835	14.835	73.5675	73.5675
700	100/0	15.49	15.49	14.945	14.945	77.895	77.895
	75/25	19.89	16.2275	8.9	14.945	42.42	77.38
	50/50	39.11	16.965	12.87	14.945	48.02	76.865
	25/75	33.67	17.7025	10.75	14.945	55.58	76.35
	0/100	18.44	18.44	14.945	14.945	75.835	75.835

Batubara dan TKKS masing-masing memiliki struktur yang kompleks, yang dapat menunjukkan perbedaan dalam dekomposisi termal. Sehingga memungkinkan adanya efek sinergis diantara kedua bahan baku tersebut baik

secara kuantitas maupun kualitas. Efek sinergis didefinisikan sebagai peningkatan atau penurunan dari hasil perolehan eksperimen co-processing dengan hasil perhitungan (Suelves dkk, 2000). Berdasarkan pendekatan yang dilakukan oleh Suelves dkk, 2000; Zhang Li dkk, 2007; Dong K.P, dkk, 2010.

$$Y_{cal} = Y_c \times BR_c + Y_b \times (1 - BR_c)$$

Dimana : Y_{cal} adalah yield hasil perhitungan Y_c dan Y_b adalah yield hasil pengukuran eksperimen secara individual dari batubara dan tandan kosong kelapa sawit dan BR_c merupakan blending rasio batubara (campuran batubara dan TKKS). Apabila $Y_{exp} > Y_{cal}$ terdapat efek sinergis dengan adanya penambahan TKKS. Pada beberapa kondisi operasi, ditemukan efek sinergis yaitu pada $T = 300^\circ\text{C}$ rasio 50:50 dan rasio 25:75; $T = 600^\circ\text{C}$ rasio 50:50 dan rasio 25:75 terhadap hasil perhitungan (Y_{cal}). Seperti disebutkan sebelumnya, hidrogen tidak hanya berperan untuk menstabilkan radikal bebas yang terbentuk selama pirolisis. Tetapi juga dapat mencracking tar menjadi produk gas. Hal ini juga terjadi pada Park dkk (2010) dimana secara keseluruhan kadar volatile terdapat efek sinergis namun tidak pada perolehan tar. Beberapa faktor yang dapat meningkatkan efek sinergis sebagaimana yang disebutkan oleh Zhang dkk (2007) diantaranya adalah bahwa efek sinergis tidak hanya dipengaruhi oleh suhu dan *blending ratio* namun juga rate pemanasan dan waktu reaksi. Pada rate pemanasan yang tinggi dan waktu tinggal reaksi yang singkat dapat mencegah pembentukan reaksi sekunder. Sehingga perolehan gas primer yang merupakan gas yang dapat dikondensasikan menjadi tar semakin banyak. Namun apabila waktu tinggal yang singkat kurang menjamin kontak reaksi antara kedua bahan baku. Sehingga diperlukan kondisi operasi pirolisis yang optimal untuk memperoleh efek sinergis dalam perolehan yield tar secara keseluruhan.

Tabel 3 Komposisi gas pada berbagai blending rasio

Variabel	Luas Area		volume gas di syringe (ml)			Konsentrasi (v/v)	
	H ₂	CO ₂	H ₂	CO ₂	Total (H ₂ +CO ₂)	H ₂	CO ₂
100% Batubara	1,288	-	0.000429	-	0.000429	0.215%	0.000%
25-75 BB:TKKS	40,041	7,676	0.013347	0.027521	0.040868	6.674%	13.761%
50-50 BB : TKKS	12,271	5,179	0.004090	0.018569	0.022659	2.045%	9.284%
75-25 BB:TKKS	4,100	4,201	0.001367	0.015062	0.016429	0.683%	7.531%
100% TKKS	38,589	18,319	0.012863	0.065681	0.078544	6.432%	32.840%

Berdasarkan hasil dari blending ratio terlihat bahwa TKKS mempengaruhi jumlah hydrogen yang dihasilkan tiap percobaan. Jumlah hydrogen pada 100% batubara adalah 0,215% sedangkan pada 100% TKKS adalah 6,432%. Hasil hydrogen tertinggi terdapat pada blending ratio 25:75 yaitu sebanyak 6,674%. Hal ini disebabkan karena pada *blending ratio* dengan TKKS yang lebih tinggi suplay hidrogen menjadi lebih besar sehingga memudahkan proses pirolisis batubara (Chen dkk, 2012).

Kesimpulan

Komposisi produk hasil co-pirolisis sangat dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan perbandingan bahan baku (batubara/TKKS) yang digunakan. Dengan meningkatnya suhu pirolisis maka produk gas yang dihasilkan meningkat sedangkan tar dan char menurun. Namun semakin tinggi blending ratio, tar yang diperoleh meningkat dengan suhu kemudian turun jika suhu diatas 500°C .

Adanya penambahan TKKS meningkatkan tar yang diperoleh pada beberapa suhu co-pirolisis ($T = 300^\circ\text{C}$ dan 600°C) dengan perbandingan batubara/TKKS tertentu (50/50 dan 25/75). Demikian juga pada komposisi gas yang dihasilkan. Gas H₂ dan CO₂ yang dihasilkan meningkat dengan meningkatnya kandungan TKKS dalam bahan. Namun gas CO₂ yang dihasilkan jauh lebih rendah dibanding pirolisis TKKS murni.

Daftar Pustaka

- Abdullah N., Gerhauser H., 2008, Bio-oil derived from empty fruit bunches, *Fuel*, Vol 87., hal. 2606-2613.
- Caramao, Eliana B., Filho Irajá, 2004, Quantitative Analysis of Phenol and Alkylphenols In Brazilian Coal Tar, Instituto de Química, Brazilia.
- CDIEMR 2007. *Handbook of energy and economic statistic of Indonesia 2007*, center for data on information on energy and mineral resources. Ministry Energy and Mineral Resources. Jakarta.
- CDIEMR 2009. *Handbook of energy and economic statistic of Indonesia 2009*, center for data on information on energy and mineral resources. Ministry Energy and Mineral Resources. Jakarta.



- CDIEMR 2012. *Handbook of energy and economic statistic of Indonesia 2011, center for data on information on energy and mineral resources*. Ministry Energy and Mineral Resources. Jakarta.
- Cheoreon Moon 2013. "Effect of blending ratio on combustion performance in blends of biomass and coals of different ranks". School of Mechanical Engineering. Pusan National University. Republic of Korea.
- Chunxiang Chen , Xiaoqian Ma, Yao He 2012. "Co-pyrolysis characteristics of microalgae *Chlorella vulgaris* and coal through TGA". *Bioresource Technology* 117. Hal 264–273.
- Darnoko, 1992. "Potensi Pemanfaatan Limbah Lignoselulosa Kelapa Sawit Melalui
- Dewi Selvia Fardhyanti 2012. "Separation of Phenolic Compounds from Coal Tar". A Department of Chemical Engineering. Faculty of Engineering. Semarang State University. Semarang.
- Erlan Rosyadi. 2012. *Konversi Minyak Nabati Menjadi Green Diesel Dan Green Gasoline Dengan Proses Hydrocracking Dan Hydrotreating Pada Katalis Nimo/Al₂O₃, Nimo/Al₂O₃-SiO₂, Nimo/SiO₂, Dan Nimo/Zeolit*. Disertasi. ITS. Surabaya.
- Ewart, D.L. dan Voughn 2009. "Indonesian coal: review the Indonesian coal thermal industry, world coal asia special". *Marston & Marston Inc. U.S.*
- Haykiri.H-Acma, S. Yaman 2010."Interaction between biomass and different rank coals during co-pyrolysis". *Renewable energy*. Vol.35, hal. 288-292.
- http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR._PEND._KIMIA/196808031992031-Agus_Setiabudi/Bahan_Kuliah_Karakterisasi_Material/Bab_7_Analisa_Termal.pdf.
- Huber G.W, Sarra Iborra, Avelino Corma 2006. "Synthesis of transportation fuels from biomass : chemistry, catalysts, and engineering". *Chemical review*. Vol 106, hal. 4044-4098.
- Idris. Siti Shawalliah 2010. "Investigation on thermochemical behaviour of low rank Malaysian coal, oil palm biomass and their blends during pyrolysis via thermogravimetric analysis (TGA)". *Bioresource Technology*. Vol 101. hal. 4584-4592.
- Jacqueline E. Mohan 2006. "Biomass and toxicity responses of poison ivy (*Toxicodendron radicans*) to elevated atmospheric CO₂". Duke University. Durham.
- Khor, K. H., Lim, K. O., Zainal, Z. A. 2009. "Characterization of bio-oil: a by-product from slow pyrolysis of oil palm empty fruit bunches". *American Journal of Applied Sciences*, 6(9), 1647-1652.
- Kusy, J., Anđel, L., Safarova, M., Vales, J., Cihotny K. 2012. "Hydrogenation process of the tar obtained from the pyrolysis of brown coal". *Fuel*. Vol 101, hal. 38-44.
- Moghtaderi B., Meesri C., Wall, T.F. 2004. "Pyrolytic characteristics of blended coal and woody biomass". *Fuel*. Vol. 83, hal. 745-750.
- Nathan, T. Weiland 2011. "Product distributions from isothermal co-pyrolysis of coal and biomass". National Energy Technology Laboratory, Pittsburgh, PA, United States.
- Pavia, Donald L., Gary M. Lampman, George S. Critz, Randall G. Engel 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques (4th Ed.)*. Thomson Brooks/Cole. pp. 797–817.
- Rachimoellah M. 2011. *Batubara, Teknologi Penyediaan dan Pemanfaatannya*. ITSpress. Surabaya.
- Serdar Yaman. 2004. "Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks". *Energy Conversion and Management*. Vol 45. hal. 651-671.
- Speight, J.G. 2013. *The Chemistry and Technology of Coal*. Third Edition. CRC Press Taylor & Francis Group, New York.
- Syarifuddin Ismail 1988. *Diktat Teknologi Batubara*. Mata Kuliah Teknologi Batubara. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Wei Li-Gang, Zhang Li, Xu Shao-Ping 2011." Effects of feedstock on co-pyrolysis of biomass and coal in a free-fall reactor ". *Journal of fuel chemistry and technology*. Vol. 39.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Zheng, C. 2007." Characteristics of hemicellulosa, cellulosa, and lignin pyrolysis". *Fuel*. Vol. 86.
- Yokoyama S. 2008. "The Asian Book Biomassa A Guide For Biomass Production And Utilization". The Japan Institute of Energy.
- Zhang Li, Shaoping Xu, Wei Zhao, Shuqin Liu 2007. "Co-pyrolysis of biomass and coal in a free fall reactor". *Fuel*. Vol. 86. hal.353–359.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Aspiyanto (Pusat Penelitian Kimia LIPI)

Notulen : Mitha Puspitasari (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Mitha Puspitasari (UPN "Veteran" Yogyakarta)
- Pertanyaan :
 - Alasan penggunaan 2 (dua) bahan untuk copiolisis
 - Apakah sudah dicek pengaruh copiolisis ini ?
- Jawaban :
 - Untuk mengurangi kadar sulfur dalam batubara dan memanfaatkan TKKS yang melimpah di Indonesia serta meningkatkan produk tar dalam pirolisis.
 - Sudah yaitu dilihat dari analisa GC yang diduga terjadi donor hidrogen dari TKKS ke batubara

