

**Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan
Principal Component Analysis**
(*Identification Of Pyrolysis Result Tectona grandis Wood Using Principal
Component Analysis*)

Is Fatimah¹⁾ dan Jaka Nugraha²⁾

¹⁾Staf Pengajar Program Studi Ilmu Kimia FMIPA Univ. Islam Indonesia, Jogjakarta

²⁾Staf Pengajar Program Studi Statistika FMIPA Univ. Islam Indonesia, Jogjakarta

ABSTRACT

Effects of heating rate variation on pyrolysis result from Tectona grandis wood has been investigated. Principal Component Analysis (PCA) was used to characterize compounds in biofuel based on biofuel chromatogram. Compound grouping showed structure consideration based on GC-MS data. The results show that identification using PCA yield four groups of compound. Compounds in a group have the same respon to increasing of heating rate and have similar structure. There are two groups show the compound spesific from lignin pyrolysis, a group of compound have increasing percentage trend as increasing heating rate and a group indicated as compounds yielded by cracking.

Keywords : pyrolysis, PCA

PENDAHULUAN

Pirolisis biomassa merupakan salah satu teknologi alternatif yang dikembangkan pada beberapa bidang dalam kimia. Salah satunya adalah untuk mengisolasi senyawa kimia yang kemudian dapat dikonversi menjadi sumber energi hidrokarbon alternatif. Pada proses pirolisis terhadap kayu, terjadi degradasi lignin sebagai akibat dari kenaikan temperatur sehingga dihasilkan senyawa-senyawa karakteristik sesuai dengan jenis kayu. Pada umumnya metode optimasi pirolisis dilakukan sesuai dengan tujuan pirolisis, apakah untuk menghasilkan biofuel (hidrokarbon non aromatik) atau menghasilkan senyawa aromatik. Pada proses-proses tersebut, sangat penting dikaji variasi laju pemanasan pirolisis karena laju pemanasan ini merupakan salah satu parameter penting dalam proses pirolisis. Perbedaan laju pemanasan dapat menentukan distribusi senyawa atau komponen biofuel sehingga berpengaruh pula terhadap reaksi yang terlibat dalam proses.

Umumnya, identifikasi hasil pirolisis dilakukan menggunakan gas kromatografi-spektra massa/*Gas Chromatography-Mass Spectra*(GC-MS). Intrepetasi data GC-MS dilakukan dengan mengelompokkan puncak-puncak kromatogram yang berubah pada variasi proses. Senyawa dikelompokkan berdasarkan banyaknya C dalam senyawa dan pola perubahan konsentrasi pada perubahan temperatur; dalam hal ini senyawa mengalami pemecahan rantai karbon pada kenaikan temperatur atau senyawa mengalami kenaikan prosentase pada kenaikan temperatur. Dengan cara tersebut akan diperoleh kelompok senyawa hasil perengkahan (C sedikit) dan senyawa dengan molekul besar sehingga dapat mengalami perengkahan (C banyak), akan tetapi sulit diamati kelompok senyawa yang memiliki respon fluktuatif terhadap perubahan laju pemanasan. Kesulitan ini akan diperbesar pada data GC-MS yang terdiri dari banyak puncak kromatogram. Akibatnya, teknik intrepetasi data tersebut kurang memberikan gambaran kelompok senyawa yang ada dalam hasil pirolisis yang justru kadang-kadang penting dilakukan untuk identifikasi senyawa spesifik.

Teknik analisis data yang dapat diterapkan untuk pengelompokan atau identifikasi senyawa dalam sampel dengan banyak senyawa adalah metode *Principal Component Analysis* (PCA). Dengan PCA, identifikasi kelompok senyawa dilakukan berdasarkan respon setiap kromatogram pada variasi perlakuan dan menghasilkan kelompok senyawa berdasarkan kemiripan respon satu dengan yang lain. Dengan pengelompokan data yang dihasilkan, analisis terhadap reaksi yang terlibat lebih terfokus.

Dalam penelitian ini dilakukan identifikasi hasil pirolisis serbuk kayu jati (*Tectona grandis*) dengan variasi laju pemanasan. Penelitian bertujuan identifikasi karakteristik hasil pirolisis kayu jati.

Dari identifikasi respon terhadap perubahan laju, senyawa hasil pirolisis dapat dikelompokkan menjadi senyawa yang mengalami kenaikan respon, penurunan respon dan respon fluktuatif. Selanjutnya pengelompokkan senyawa dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik setiap kelompok senyawa. Dari hasil penelitian ini diharapkan adanya telaah mendalam mengenai penggunaan analisis kemometri khususnya PCA pada penelitian-penelitian karakterisasi senyawa dari suatu proses atau reaksi kimia.

Penggunaan teknologi pirolisis untuk menghasilkan sumber energi hidrokarbon alternatif telah dikembangkan. Dari hasil pirolisis ini kemudian dapat dilakukan konversi produk salah satunya untuk kepentingan sintesis bahan pengganti minyak bumi atau bahan obat-obatan. Secara bertahap, pirolisis kayu akan mengalami peruraian : (i) hemiselulosa terdegradasi pada 200-260°C, (ii) selulosa pada 240°C-350°C, dan lignin pada 280°C sampai 500°C. Degradasi termal dapat dilakukan dengan adanya pelarut dalam jumlah rendah sehingga reaksi berjalan lebih cepat (Sjöström, 1998).

Beberapa penelitian melaporkan adanya beberapa kelompok senyawa dalam produk pirolisis salah satunya adalah kelompok senyawa yang mengalami kenaikan prosentase pada kenaikan laju pemanasan dan mengindikasikan adanya perengkahan termal pada rantai hidrokarbon (Adjaye, 1996). Fatimah (2003) melaporkan adanya kenaikan prosentase fraksi ringan hidrokarbon (C7) pada kenaikan laju pemanasan yang diiringi dengan penurunan prosentase fraksi berat (C>10) pada pirolisis serbuk kayu jati. Dari identifikasi menggunakan GC-MS, diperoleh adanya kelompok senyawa hasil degradasi hidrokarbon yang dapat terwakili oleh adanya identifikasi senyawa n-heptana dan 2-metil heksana, dan kelompok senyawa karakteristik yang dapat mengalami degradasi rantai karbon yang dapat diwakili oleh identifikasi adanya senyawa p-metil guaiakol dan 4-alil, 2 metoksi asetat. Kelompok yang disebut terakhir merupakan senyawa aromatik yang karakteristik dan kemungkinan besar diperoleh dari degradasi lignin dalam struktur kayu yang secara umum disebut struktur polifenol.

PCA merupakan teknik analisis data yang telah diterapkan pada beberapa penelitian identifikasi kelompok senyawa. Teknik analisis ini cocok diterapkan pada data multivariat yang dapat diperoleh dari data GC, HPLC, atau data-spektroskopi yang melibatkan interval panjang gelombang yang luas (Tauler, 2000). Dunlop dkk(2000) menggunakan PCA pada identifikasi senyawa khas dari berbagai spesies tanaman Kayu Putih dan menggunakan PCA diperoleh pengelompokan senyawa yang jelas menggambarkan spesifikasi setiap spesies. Yokoi, dkk (2001) telah menggunakan PCA untuk identifikasi kelompok senyawa yang dapat menunjukkan karakteristik minyak kayu putih dari berbagai lokasi tanaman berdasarkan data pyrolysis GC (Py-GC). Hasil penelitian menunjukkan adanya informasi yang jelas terhadap spesifikasi senyawa siringol dan guaiakol yang terdapat pada lokasi-lokasi asal tanaman kayu putih. Selain itu, PCA dilaporkan dapat memberikan spesifikasi jenis-jenis kopi dari senyawa volatil yang dikandungnya (Dirinck, 2001) dan dapat diterapkan pada teknologi sensor kimia untuk mengklasifikasikan jenis kopi (Dirinck, dkk,2002).

METODE

Secara aljabar, *principal component* merupakan kombinasi linear dari variabel random X_1, \dots, X_p . PC tergantung pada matrik varian covarian dari X_1, \dots, X_p yaitu Σ . Misalkan vektor variabel random $X^T = [X_1, \dots, X_p]$ mempunyai matrik covarian Σ dengan *eigen value* $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$. Kombinasi linear yang dimaksud adalah

$$Y_1 = l_1^T X = l_{11}X_1 + l_{12}X_2 + \dots + l_{1p}X_p$$

$$Y_2 = l_2^T X = l_{21}X_1 + l_{22}X_2 + \dots + l_{2p}X_p$$

.....

$$Y_p = l_p^T X = l_{p1}X_1 + l_{p2}X_2 + \dots + l_{pp}X_p$$

Y_1, \dots, Y_p merupakan Variabel yang saling bebas (tidak berkorelasi) dengan nilai variansinya

$$\text{Var}(Y_i) = l_i^T \Sigma l_i \text{ dan } l_i^T l_i = 1$$

Y_1 disebut *Principal component* pertama (PC1) yang merupakan kombinasi linear yang mempunyai

variansi maksimum. Y_2 disebut *Principal Component* kedua (PC2) yang mempunyai nilai variansi terbesar kedua. Selanjutnya dengan menggunakan prinsipal komponen, variabel random X dapat dikelompokkan berdasarkan nilai koefisien pada kombinasi linearnya.

Alat dan Bahan

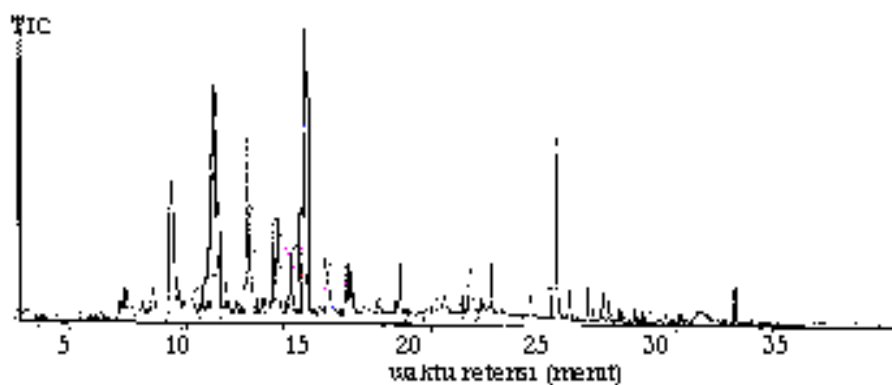
Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat pirolisis cara vakum, timbangan, seperangkat alat gelas dan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (GC-MS) Merek Shimadzu dengan kolom HP 5 non polar panjang 30 m. Bahan penelitian meliputi serbuk kayu jati (*Tectona grandis*) asal Wonosari, Gunungkidul, DIY dan petroleum eter (buatan E.Merck) digunakan sebagai pelarut dalam analisis GC-MS.

Jalannya Penelitian

Pirolisis dilakukan dengan variasi laju pemanasan 1,36 K/menit, 2,33 K/menit, 3,36 K/menit, dan 4,42 K/menit. Cairan hasil pirolisis yang diambil dan dianalisis adalah distilat yang keluar pada interval temperatur 190°C sampai dengan 350°C. Analisis menggunakan PCA dilakukan dengan program SPSS 9,0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis GC-MS dari biofuel menunjukkan adanya 32 sampai 36 puncak kromatogram, salah satunya terlihat dari Gambar 1. Biofuel yang dihasilkan dengan variasi laju pemanasan memiliki kesamaan komponen penyusun terlihat dari kesamaan waktu retensi sebagian besar kromatogram.



Gambar 1. Kromatogram hasil pirolisis dengan laju pemanasan 2,33 K/menit

Data identifikasi komponen hasil pirolisi untuk setiap variasi disajikan pada Tabel 1. Secara

diskriptif dapat diidentifikasi pengaruh perubahan laju terhadap senyawa. Pengaruh tersebut dapat dikelompokkan menjadi :

- a. kenaikan laju memperbesar senyawa, terjadi pada senyawa s1; s3; s4; s10.
- b. kenaikan laju memperkecil senyawa, terjadi pada senyawa s9; s16; s25; s26; s31; s33; s35; s36.
- c. pengaruh kenaikan laju bersifat fluktuatif.

Untuk menguji taraf keberartian (pada $\alpha=0,05$) pengaruh perubahan laju terhadap senyawa dapat dilakukan pengujian dengan General linear model multivariat (dengan program SPSS 9).

Hasil pengujian dapat dinyatakan :

- a. pada tingkat signifikansi $\alpha=0,05$, laju berpengaruh negatif terhadap senyawa s9, s31 dan pengaruhnya positif terhadap s10.
- b. pada tingkat signifikansi $\alpha=0,1$, Laju berpengaruh negatif terjadi pada senyawa s9,s12,s31,s32,s33 dan berpengaruh positif terhadap senyawa s1,s3,s4,s10,s24.

Langkah selanjutnya adalah menguji keberadaan senyawa (apakah nilai HR lebih dari nul). Pengujian rata-rata nilai HR dengan menggunakan uji T. Dari pengujian tersebut disimpulkan bahwa pada $\alpha=0,05$ senyawa yang keberadaannya signifikan adalah s2, s5, s7, s8, s10, s14, s16, s21, s22, s23, s25, s29, s30, s32, s33.

Dari Uji F dan Uji T tersebut disimpulkan bahwa senyawa yang bernilai kecil dan dapat diabaikan adalah senyawa s1, s3, s4, s6, s11, s13, s15, s17, s18, s19, s20, s24, s26, s27, s28, s34, s35, s36. Akan tetapi jika digunakan acuan bahwa jika terdapat nilai HR lebih dari satu dianggap signifikan maka dengan menggabungkan dengan kesimpulan hasil uji F maupun T dapat disimpulkan bahwa senyawa-senyawa yang dapat diabaikan adalah senyawa s1, s4, s17, s18, s34, s35, s36.

Berdasar hasil analisis tersebut, dapat difafsirkan bahwa senyawa-senyawa karakteristik hasil pirolisis adalah s2, s3, s5 s.d s16, s19 s.d s33.

Tabel 1. Data identifikasi komponen hasil pirolisis

Senyawa	Waktu Retensi	Prosentase				Senyawa	Waktu Retensi	Prosentase			
		HR 1	HR 2	HR 3	HR 4			HR 1	HR 2	HR 3	HR 4
s1	7,514	0	0	0,18	0,21	s19	16,489	4,32	0	0	0
s2	9,239	5,32	27,54	10,77	11,87	s20	16,563	4,12	0	0,58	0,45
s3	10,225	0	0	2,47	3,45	s21	18,669	0,90	1,09	0,82	1,45
s4	10,986	0	0	0,78	0,87	s22	20,632	1,06	1,11	1,91	1,67
s5	11,030	10,53	8,63	17,94	16,51	s23	21,467	3,25	2,70	3,65	2,11
s6	11,267	0	1,09	0	0,12	s24	22,025	0	0	0,98	1,01
s7	12,350	10,02	9,25	12,70	10,12	s25	22,415	0,83	0,82	0,81	0
s8	13,383	3,74	2,95	0	1,9	s26	23,980	1,68	0	0	0
s9	13,448	9,08	6,53	1,54	0,99	s27	24,050	0,78	1,54	0,45	0
s10	13,590	2,57	2,92	4,82	6,43	s28	24,104	1,06	2,02	0,79	0
s11	14,092	1,28	0	0	0,13	s29	24,872	1,47	1,22	0,56	1,89
s12	14,172	4,47	2,92	0	0	s30	25,098	3,41	6,56	7,76	4,78
s13	14,267	0	0	2,53	0	s31	25,616	2,29	1,07	0,55	0,15
s14	14,670	9,17	12,56	12,70	11,08	s32	26,336	1,37	1,42	0,53	0,09
s15	15,200	2,43	0	0	0,01	s33	27,028	0,97	0,63	0,44	0,43
s16	15,585	11,65	5,29	4,67	3,42	s34	27,703	0,93	0	0,43	0,12
s17	15,783	0	0	0,58	0	s35	28,357	0,55	0	0	0
s18	16,325	0,22	0,79	0	0	s36	32,630	0,54	0	0	0

Keterangan :

HR1 : Laju pemanasan 1,36 K/menit

HR2 : Laju pemanasan 2,33 K/menit

s i : Senyawa ke-I

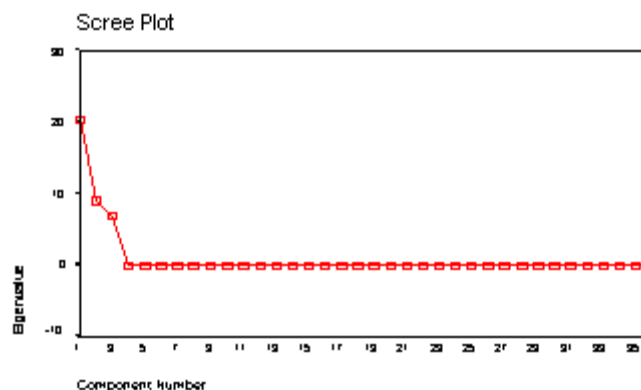
HR3 : Laju Pemanasan 3,36 K/menit

HR4 : Laju Pemanasan 4,42 K/menit

Pengelompokan Senyawa Dengan PCA

Senyawa-senyawa hasil pirolisis dapat dikelompokkan berdasarkan kemiripan sifat dengan menggunakan PCA. Langkah pertama adalah menentukan berapa banyak *Principal Component* (PC) yang akan digunakan, hal ini dapat ditentukan dari Scree plot disajikan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 nampak bahwa dengan menggunakan dua *Principal Component* (PC1 dan PC2) sudah cukup baik, karena pada PC3 penambahannya (variansi) tidak terlalu besar. Berdasarkan nilai eigen, dengan PC1 dan PC2 mampu menjelaskan variasi sebesar 81,3%. Nilai koefisien kombinasi linear variabel senyawa disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 2. Scree plot pengelompokan senyawa

Dari Tabel 2., dengan PC1 dan PC2 diperoleh empat kelompok senyawa yaitu kelompok 1 : s2, s14, s21, s30; kelompok 2 : s1, s3, s4, s5, s7, s10, s13, s17, s22, s24; kelompok 3 : s6, s8, s9, s12, s18, s25, s27, s28, s32, dan kelompok 4: s11, s15, s16, s19, s20, s23, s26, s29, s31, s33, s34, s35, s36.

Jika senyawa yang dianggap noise (tidak signifikan keberadaannya) tidak disertakan dalam kelompok, maka hasilnya adalah kelompok 1 : s2, s14, s21, s30 ; kelompok 2 : s3, s5, s7, s10, s13, s22, s24; kelompok 3 : s6, s8, s9, s12, s25, s27, s28, s32 dan kelompok 4: s11, s15, s16, s19, s20, s23, s26, s29, s31, s33. Kecenderungan perubahan respon setiap kelompok pada kenaikan laju pemanasan dapat dilihat pada gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 dapat terlihat adanya keseragaman pola pada masing-masing kelompok. Kelompok 3 dan 4 memiliki kecenderungan penurunan prosentase pada kenaikan laju pemanasan. Sementara itu, kelompok 1 memiliki pola yang relatif stabil (tidak ada pengaruh) dan kelompok 2 juga memiliki pola yang hampir sama akan tetapi mengalami sedikit peningkatan prosentasenya pada kenaikan laju pemanasan.

Tabel 2. Nilai eigen dan koefisien PCA

Variabel	PC1	PC2	Variabel	PC1	PC2	Nilai eigen	Proporsi	Kumulatif
s1	0.203	-0.132	s19	-0.188	-0.176	20.355	0.565	0.565
s2	0.019	0.332	s20	-0.197	-0.152	8.919	0.248	0.813
s3	0.199	-0.132	s21	0.083	0.028	6.725	0.187	1.000
s4	0.200	-0.132	s22	0.202	-0.107	0.000	0.000	1.000
s5	0.185	-0.177	s23	-0.045	-0.073			
s6	-0.036	0.326	s24	0.204	-0.131			
s7	0.121	-0.139	s25	-0.121	0.091			
s8	-0.192	0.040	s26	-0.188	-0.176			
s9	-0.219	0.045	s27	-0.128	0.261			
s10	0.196	-0.104	s28	-0.121	0.256			
s11	-0.182	-0.191	s29	-0.041	-0.061			
s12	-0.220	0.037	s30	0.137	0.169			
s13	0.118	-0.058	s31	-0.215	-0.054			
s14	0.146	0.221	s32	-0.193	0.140			
s15	-0.188	-0.177	s33	-0.218	-0.060			
s16	-0.203	-0.124	s34	-0.133	-0.241			
s17	0.118	-0.058	s35	-0.188	-0.176			
s18	-0.106	0.294	s36	-0.188	-0.176			

Gambar 3. Grafik pengaruh perubahan laju terhadap senyawa berdasarkan kelompok

Dari pola yang ditunjukkan pada Gambar 3, sementara dapat disimpulkan bahwa kelompok 1 merupakan kelompok senyawa spesifik hasil pirolisis serbuk kayu jati karena pada variasi laju pemanasan, senyawa dalam kelompok 1 memiliki kuantitas yang bermakna. Kelompok 3 dan kelompok 4 kemungkinan merupakan senyawa yang mengalami degradasi termal dan kelompok 2 kemungkinan merupakan senyawa-senyawa hasil degradasi.

Untuk melihat kebenaran pengelompokan dengan PCA ini, akan dilihat identitas senyawa dalam setiap kelompok berdasarkan data spektra massa / MS-nya. Berdasarkan pemecahan spektra yang ditunjukkan oleh data MS, senyawa-senyawa dalam kelompok 1 antara lain p-guaiakol (s2), 2-metoksi-4-propenil-penol (s14), 3,4,5-trimetoksi toluena (s21) dan 1,2-benzenadikarboksilat (s30). Sementara itu, senyawa-senyawa dalam kelompok 2 antara lain 2-metoksi-p-kresol (s3) dan 1,3 dimetoksi siringol (s10). Sebagian struktur dalam kelompok 1 dan 2 disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan perkiraan struktur, senyawa-senyawa dalam kelompok 1 dan 2 tersebut merupakan senyawa-senyawa metoksi dengan cincin benzena yang menunjukkan gugus-gugus spesifik dari hasil degradasi lignin yang termasuk dalam kelompok siringol dan guaiakol. Senyawa-senyawa pada kelompok 3 antara lain adalah 1,2 dimetoksi-4 metil-penol (s6), 2,3 -dimetoksi-toluena (s8), dan beberapa senyawa lainnya yang strukturnya mendekati struktur senyawa kelompok 1 dan 2 seperti terlihat dari strukturnya yang disajikan pada Gambar 5(a-c). Secara umum, senyawa pada

kelompok 3 memiliki selisih 1 sampai 3 atom C dalam bentuk metil, etil dan metoksi dengan senyawa pada kelompok 1 dan 2.

Gambar 4. Struktur senyawa (a) p-guaiakol (b) 2- metoksi-4- propenil- penol (c) 2- metoksi-4 metil-penol (d) 3,4,5-trimetoksi toluena (e) 1,3 dimetoksi siringol

Kecenderungan tersebut menunjukkan adanya kaitan antara kelompok 3, kelompok 1 dan 2 dengan reaksi pemutusan rantai karbon yang terjadi pada proses pirolisis. Dilihat dari struktur ketiga kelompok yang merupakan senyawa aromatis dan kecenderungannya terhadap kenaikan laju pemanasan, dapat diintrepetasikan adanya pemutusan metil selama konversi senyawa kelompok 3 menjadi kelompok 1 dan 2.

Berdasarkan intrepetasi MS, struktur senyawa-senyawa kelompok 4 kemungkinan adalah 1-heptakosanal (s19), sikloheksimetil-sikloheksana (s20) dan 1-metil-2-pentil-sikloheksana (s23). Dilihat dari struktur yang dimiliki oleh senyawa kelompok 4 yang disajikan pada gambar 5(c-e), terlihat adanya perbedaan struktur dibandingkan dengan struktur senyawa kelompok 1,2 dan 3, dimana kelompok 4 tidak terdiri atas senyawa aromatik.

PCA memberikan petunjuk kemungkinan respon pada kelompok 4. Dilihat dari struktur senyawa pada kelompok 4 dan kelompok 3, dimungkinkan senyawa kelompok 4 merupakan produk perengkahan rantai C-C lebih lanjut dari senyawa kelompok 3. Namun demikian kenaikan laju pemanasan justru memberikan efek penurunan prosentase senyawa. Hal ini dimungkinkan terjadi oleh adanya peruraian termal senyawa-senyawa pada kelompok 4 menjadi fraksi gas tak terkondensasi. Peruraian termal yang lebih banyak terjadi pada laju pemanasan yang semakin besar. Berdasarkan uraian intrepetasi data berdasarkan pengelompokan menggunakan PCA, dapat diperoleh simpulan bahwa identifikasi kelompok senyawa hasil pirolisis serbuk kayu jati menggunakan PCA menghasilkan pengelompokan senyawa yang sesuai dengan kecenderungan senyawa terhadap kenaikan laju pemanasan dan diperoleh gambaran efek laju pemanasan terhadap struktur secara lebih jelas dibandingkan dengan teknik pengelompokan biasa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil simpulan bahwa identifikasi kelompok senyawa hasil pirolisis serbuk kayu jati menggunakan PCA menghasilkan pengelompokan senyawa penyusun biofuel ke dalam 4 kelompok utama; kelompok senyawa yang spesifik hasil pirolisis (antara lain p-guaiakol, 2- metoksi-4-propenil- penol, 2- metoksi-4 metil-penol, 3,4,5-trimetoksi toluena dan 1,3 dimetoksi siringol), kelompok senyawa yang cenderung mengalami perengkahan pada kenaikan laju pemanasan (antara lain 1,4 dimetoksi, 4 metil -penol dan 1,4 -dimetoksi-2 metil benzena serta kelompok senyawa hasil perengkahan (antara lain 1-heptakosanal, sikloheksimetil-sikloheksana, dan 1-metil-2 -pentil-sikloheksana).

DAFTAR PUSTAKA

- Adjaye J.D., Katikaneni,S., Bakhshi, N.N, 1996. Catalytic Conversion To Hydrocarcon Effect of Mixture of HZSM-5 And Silica Alumina Catalyst on Product Distribution, *Fuel Processing Technology*, **48** : 115-143.
- Dirinck I.M., 2001. *Principal Component Analysis and the Chemical Composition of Coffee Odors*, Laboratory for Fkavor Research, Catholic Technological University, Belgium.
- Dirinck I.M., Leuven, I.E., Dirinck, P.J., 2002. *Clasification of Coffees from Different Origins by Chemical Sensor Technology*, Laboratory for Fkavor Research, Catholic Technological University, Belgium.
- Dunlop P.J., Bignell, C.M., Jackson, J.F., Hibbert, D.B, 2000. *Chemometric Analysis of Gas Chromatographic Data of Oils from Eucalyptus Species*, Department of Chemistry, University of Adelaide, Adelaide.
- Fatimah I. , 2003. *Pengaruh Laju Pemanasan terhadap Komposisi Biofuel Dari Serbuk Kayu Menggunakan Pirolisis Cara Vakum*, Laporan Penelitian UII, Lembaga Penelitian UII, Jogjakarta.
- Yokoi I., 2001. Wood fuel Anaysis by Py-GC and Chemometric Analysis, *Journal of Pyrolysis*, **23** : 13-20.
- Sjöström E., 1993. *Kimia Kayu: Dasar-Dasar dan Penggunaan, Edisi 2*, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Tauler, 2000., *Chemometric in Analytical Chemistry*, Barcelona University, Barcelona
- Thamburaj R., 2000. *Fast Pyrolysis of Biomass for Green Power Generation*, Canada.