



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS
Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA ORGANIK
(Kode : E-06)

ISBN : 978-979-1533-85-0

KAJIAN FRAKSI ALIFATIK PRODUK PENCAIRAN BATUBARA LOW RANK KALIMANTAN TIMUR

Elis Diana Ulfa, Yulfi Zetra, Agus Wahyudi dan R. Y. Perry Burhan^{*)}

Unit Riset Geokimia Organik dan Senyawa Prekursor,
Jurusan Kimia, Institut Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

^{*)}Keperluan korespondensi, Telp. 031-5943353, email: pburhan@chem.its.ac.id

Abstrak

Kecemasan akan habisnya bahan bakar cair fosil ditanggapi dengan berbagai upaya, diantaranya dengan merubah bahan bakar padat fosil seperti batubara menjadi bahan bakar cair. Upaya diversifikasi ini tidak mudah, sehingga diperlukan perencanaan dan persiapan yang matang. Salah satu perencanaan pencairan batubara adalah dengan mempelajari biomarka kandungan batubara yang akan dicairkan dan mempelajari komponen pembangun bahan bakar cair hasil pencairan. Korelasi antara kedua komponen kimia ini akan dapat memberikan rekomendasi bagi suatu jenis batu bara, apakah lebih menguntungkan dicairkan atau lebih layak digunakan sebagai bahan bakar padat. Pada tulisan ini dipaparkan hasil pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur untuk dihubungkan dengan biomarka batubara sebelum dicairkan. Pencairan batubara (*liquefaction*) dilakukan pada temperatur 450°C dan tekanan 7MPa selama 60 menit. Bubur (*slurry*) yang diperoleh didistilasi vakum pada 10 mmHg untuk memperoleh fraksi nafta, *middle oil* (MO) dan *heavy oil* (HO), selanjutnya fraksi MO diekstraksi dan difraksinasi-ulang untuk mendapatkan fraksi alifatik yang diperkirakan ekuivalen dengan komponen bahan bakar cair. Fraksi alifatik yang diperoleh dianalisa dengan kromatografi gas-spektrometer massa, dan menunjukkan adanya senyawa *n*-alkana, alkana bercabang, seskuiterpen dan alkilsikloheksana. Senyawa-senyawa ini merupakan senyawa hasil pirolisa yang diturunkan dari komponen batubara, dan layak untuk dapat diformulasikan menjadi bahan bakar cair.

Kata kunci: biomarka, *liquefaction*, batubara, *middle oil*

PENDAHULUAN

Cadangan minyak bumi Indonesia jumlahnya semakin terbatas dengan tingkat produksi yang terus menurun. Berdasarkan data analisis Indonesian Petroleum Association (IPA), awal tahun 2004 produksi minyak bumi mencapai 1,11 juta barrel perhari, kemudian pada akhir tahun 2007 turun menjadi 970 ribu barrel per hari. Kondisi ini mengharuskan Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi dan mencari sumber energi alternatif, sehingga pemerintah mengeluarkan serangkaian kebijakan dibidang sumber energi alternatif pada awal tahun 2006. Berdasarkan kebijakan tersebut pemerintah

menetapkan batubara untuk dikonversi menjadi bahan bakar cair dan gas [1]. Konversi batubara menjadi bahan bakar cair didukung oleh melimpahnya sumber daya batubara mencapai 104,7 miliar ton dan cadangan sebesar 18,7 miliar ton yang terdiri dari batubara lignit 58,7%, subbituminus 26,7%, bituminus 14,3% dan antrasit 0,3% [2]. Jumlah batubara kualitas rendah yang melimpah belum dimanfaatkan secara optimal. Selama ini pemanfaatan masih terbatas dalam bentuk padat (briket) dan kondisi ini tidak sesuai dengan kebutuhan mesin otomotif yang membutuhkan bahan bakar minyak. Perlu upaya untuk mengkonversi batubara menjadi bahan

bakar cair melalui teknologi pencairan (*liquefaction*) [3]

Pemanfaatan batubara dipengaruhi oleh karakter batubara yang terkait dengan sifat fisika dan sifat kimia (seperti kandungan kalor, titik didih, kandungan karbon, kandungan dan hidrogen). Batubara termasuk endapan organik yang komponennya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tempat terdapatnya cekungan, umur, dan banyaknya kontaminan. Oleh karena itu proses pengubahan batubara menjadi bahan bakar cair perlu memperhitungkan karakter batubara yang akan dicairkan. Proses pencairan batubara juga memerlukan pengetahuan yang luas tentang karakter batubara dan komposisi dari batubara. Salah satu karakter batubara dianalisa melalui karakterisasi geokimia organik terhadap biomarka yang dikandungnya [4]. Pengetahuan mengenai analisa biomarka sangat dibutuhkan untuk mengkarakterisasi komposisi senyawa-senyawa hidrokarbon yang terkandung pada batubara baik sebelum maupun setelah proses pencairan. Senyawa biomarka ini dapat digunakan untuk menganalisa asal usul dan lingkungan pengendapan suatu batubara [6].

Distribusi senyawa biomarka pada suatu jenis batubara memberikan gambaran karakteristik batubara tersebut. Sebaran *n*-alkana rantai panjang pada sampel sedimen merefleksikan umur sedimen yaitu proses sedimentasi berlangsung sejak zaman kuartern periode *Pleistocene* ($\pm 1,8$ juta tahun) [7]. Kandungan *n*-alkana rantai panjang yang tinggi dalam batubara muda memberi petunjuk potensi besar batubara untuk dapat diubah menjadi bahan bakar cair [5]. Lebih lanjut, pada produk pencairan batubara masih akan ditemukan beberapa senyawa biomarka yang luput dari proses pirolisa atau *cracking*. Senyawa organik yang struktur dan jumlah molekulnya harus konstan pada kondisi ekstrim misalnya ekstraksi

batubara pada temperatur tinggi ini dapat dijadikan karakter khas dari batubara [9,10].

Pencairan batubara merupakan proses konversi batubara padat menjadi produk cair yang berlangsung pada temperatur dan tekanan tinggi, melibatkan reaksi kimia yang kompleks [8]. Salah satu produk akhir proses ini adalah minyak yang mengandung senyawa *n*-alkana rantai pendek, siklopentana, sikloheksana, alkilsikloheksana, naftalena, olefin dan aromatik [12,13,14,15]. Senyawa-senyawa tersebut memiliki kemiripan sifat dengan senyawa hidrokarbon bahan bakar minyak, seperti yang diidentifikasi pada *light hydrocarbon crude oil* Arjuna Basin Jawa Barat [16].

Pada tulisan ini dibahas senyawa-senyawa yang terdapat dalam fraksi alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur dikorelasikan dengan biomarka batubara yang menggambarkan kandungan energinya, sehingga dapat diketahui kelayakan pencairannya untuk dapat diformulasikan sebagai bahan bakar cair.

PROSEDUR PERCOBAAN

Sampel batubara *low rank* diambil dari lokasi penambangan batubara, selatan kota Samarinda. Secara administratif lokasi penambangan berada di Kelurahan Purwajaya, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Sampel batubara *low rank* Kalimantan Timur dihaluskan sampai diameter butiran 200 mesh. Proses pencairan batubara menggunakan reactor batch autoclave 1 liter (AC 1L) dengan kondisi reaksi pencairan yaitu, temperatur 450°C dan tekanan 7 MPa selama 60 menit. Produk cair (slurry) yang diperoleh didistilasi vakum 10 mmHg menghasilkan lima fraksi yang terdiri dari fraksi Nafta (30°C-200°C), *Light Oil* (220°C), *Middle Oil* (220°C-350°C), *Heavy Oil* (350°C-538°C), dan *Coal Liquid Bottom* (>538°C). Fraksi *middle oil* diekstraksi dengan pelarut kloroform dan *n*-

heksana secara berturut-turut. Ekstrak yang diperoleh ditambahkan asam sulfat 10% sampai pH 2 dan natrium hidroksida sampai pH 12, sehingga diperoleh fraksi minyak netral [9].

Fraksi minyak netral difraksinasi berdasarkan tingkat kepolarannya menggunakan kromatografi kolom, dielusi dengan *n*-heksana untuk memperoleh fraksi hidrokarbon alifatik diikuti campuran eluen *n*-heksana:DCM (9:1 v/v) untuk memperoleh fraksi aromatik dan terakhir metanol untuk memperoleh fraksi polar [17]. Masing-masing fraksi dianalisa dengan KG-SM Shimadzu RXi-5Ms dengan panjang kolom 30 meter dan diameter 0,25 mm serta temperatur sumber ion 250°C. Sebagai gas pembawa adalah helium dan energi ionisasi sebesar 70eV. Program temperatur kolom adalah 60°C-100°C (10°C/menit), 100°C-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit. Identifikasi semua senyawa didasarkan atas elusidasi spektra massa yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa KG-SM terhadap fraksi hidrokarbon alifatik pada produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur diperoleh kromatogram total seperti pada Gambar 1. Hasil analisa kromatogram total menunjukkan bahwa senyawa hasil pirolisa yang terdapat dalam fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur merupakan alkana yang panjang rantainya relatif lebih pendek dibanding alkana komponen batubara.

Senyawa *n*-alkana

Sebaran senyawa *n*-alkana diidentifikasi berdasarkan fragmentogram *m/z* 57 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Elusidasi spektrum massa dari puncak-puncak fragmentogram berdasarkan kesamaan pada puncak dasar *m/z* 57. Salah satu spektra massa *n*-alkana yang

diperoleh dari fragmentogram *m/z* 57 dapat dilihat pada Gambar 3.

Elusidasi spektrum massa pada Gambar 3, menghasilkan fragmen ion *m/z* 43 (85%), 57 (100%), 71 (65%), 85 (40%), 99 (10%), dan seterusnya dengan penembahan 14 satuan membentuk pola linier. Berdasarkan hasil elusidasi dapat disimpulkan bahwa spektrum massa pada Gambar 3 adalah *n*-alkana dengan berat molekul 240, yaitu C₁₇H₃₆ (heptadekana) (1). Elusidasi pada setiap puncak lain fragmentogram *m/z* 57, diidentifikasi sebaran homolog *n*-alkana C₁₁-C₂₅ dengan kelimpahan *n*-alkana C<20 lebih dominan. Penelitian terhadap fraksi hidrokarbon alifatik ekstrak batubara *low rank* Kalimantan Timur ditemukan sebaran homolog *n*-alkana C₁₆-C₃₅ memiliki pola dominan *n*-alkana rantai panjang (C>20) [8]. Pada proses *liquefaction*, *n*-alkana rantai panjang mengalami pemutusan (*cracking*) menjadi *n*-alkana rantai pendek sehingga jumlahnya dominan pada produk pencairan batubara. Biomarka *n*-alkana rantai panjang menjadi sumber terbentuknya *n*-alkana rantai pendek melalui proses termocracking [12,18].

Distribusi *n*-alkana produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur sama dengan komposisi molekul dari *light hydrocarbon crude oil* Arjuna Basin Jawa Barat. Hal yang sama juga ditemukan pada minyak cair yang dihasilkan dari batubara Talang Akar dengan proses pirolisa [19]. Ciri khas dari *crude oil* Arjuna Basin Jawa Barat mengandung campuran *light hydrocarbon* kompleks (C>10) dan homolog *n*-alkana rantai panjang [16]. Komposisi molekul yang sama antara produk pencairan batubara *low rank* dengan *light hydrocarbon crude oil* menunjukkan bahwa produk pencairan batubara tersebut layak diformulasikan sebagai sumber bahan bakar cair.

Senyawa alkana bercabang

Analisa terhadap fragmentogram *m/z* 57 fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan

batubara ditemukan spektra massa yang mempunyai pola spektrum massa *n*-alkana tetapi menunjukkan adanya peningkatan intensitas pada puncak-puncak tertentu. Contoh spektra massa senyawa alkana bercabang yang teridentifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Spektrum massa pada Gambar 4, mempunyai pola spektrum massa *n*-alkana tetapi menunjukkan peningkatan intensitas pada fragmen ion *m/z* 113, yang merupakan pola isoprenoid sehingga penurunan puncaknya tidak teratur lagi. Senyawa tersebut adalah 2,6-dimetildekana (**2**) dengan rumus molekul $C_{12}H_{26}$. Senyawa isoalkana biasa ditemukan dalam produk batubara cair, *crude oil* dan sedimen [20,21]. Sumber senyawa isoalkana C_9 - C_{16} (*light isoprenoid*) dalam produk pencairan batubara diperkirakan dari hasil proses termocracking pristan dan fitan [22,23]. *Heavy acyclic* isoprenoid C_{21} - C_{40} seperti 2,6,10,15,19-pentameteleikosana, skualen, dan likopen juga merupakan sumber yang potensial untuk *light isoprenoid* dalam petroleum dan produk batubara cair. Termocracking skualen menghasilkan *light isoprenoid* ditemukan dalam petroleum dan produk batubara cair, tetapi jumlahnya lebih rendah daripada produk termocracking pitan dan pristan [22]. Penelitian lain melaporkan bahwa sumber *light isoprenoid* C_9 - C_{16} dari hasil termocracking steran, hopan, tetraterpen dan rangkaian trisiklik terpen yang memiliki rantai samping isoprenoid [23,24,25]. Steran, hopan, tertaterpen dan rangkaian trisiklik terpen yang memiliki rantai samping isoprenoid mempunyai stabilitas termal rendah sehingga pada suhu tinggi (misal pada proses *liquefaction*) mengalami perubahan menjadi *light isoprenoid* yang merupakan komponen umum dalam bahan bakar cair.

Penelitian terhadap ekstrak batubara *low rank* Kalimantan Timur ditemukan senyawa, pitan, pristan, steran dan hopan, tetapi senyawa tersebut

tidak ditemukan dalam produk pencairan batubara. Hal ini disebabkan oleh stabilitas termal yang rendah pada senyawa tersebut sehingga mengalami perubahan menjadi *light isoprenoid* dalam proses pencairan batubara yang dilakukan pada suhu tinggi yaitu 450°C. Senyawa isoalkana (*light isoprenoid*) fraksi hidrokarbon alifatik ditemukan dalam produk pencairan batubara *low rank* maupun minyak bumi, sehingga produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur layak diformulasikan sebagai sumber bahan bakar cair.

Senyawa seskiterpen

Analisa senyawa bisiklik seskiterpen diidentifikasi berdasarkan fragmentogram *m/z* 109. Hasil identifikasi fragmentogram *m/z* 109 fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur dapat dilihat pada Gambar 5. Identifikasi terhadap puncak ke-(1) fragmentogram *m/z* 109 diperoleh spektrum massa yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Elusidasi spektrum massa Gambar 6, dihasilkan fragmen ion *m/z* 95, 109 (puncak dasar), 165, dan 208 (puncak dasar) merupakan ciri khas senyawa bisiklik seskiterpen dengan nama struktur transkadinan (**3**). Senyawa tersebut juga ditemukan dalam ekstrak batubara *low rank* Kalimantan Timur [8]. Senyawa kadinan banyak ditemukan pada minyak mentah dan sedimen Asia tenggara yang diidentifikasi berdasarkan percobaan pirolisis dengan fosil dan resin segar [26]. Adanya senyawa transkadinan dalam produk pencairan batubara *low rank* menunjukkan senyawa tersebut mempunyai stabilitas termal tinggi sehingga tetap bertahan selama proses pencairan. Hal ini mendukung kelayakan produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur untuk diformulasikan sebagai bahan bakar cair, karena senyawa transkadinan dapat juga merupakan konstituen dari minyak mentah.

Senyawa alkilsikloheksana

Analisis senyawa alkilsikloheksana dalam produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur diidentifikasi berdasarkan fragmentogram m/z 83. Hasil identifikasi dapat dilihat pada Gambar 7. Salah satu hasil Identifikasi terhadap puncak fragmentogram m/z 83 diperoleh spektrum massa yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Elusidasi spektrum massa Gambar 8 dihasilkan fragmen ion m/z 55, 69, 83 (puncak dasar), dan 97 merupakan fragmen ion yang khas untuk alkilsikloheksana. Berdasarkan hasil elusidasi dapat disimpulkan bahwa spektrum massa pada Gambar 8 adalah alkilsikloheksana dengan berat molekul 196, yaitu $C_{14}H_{28}$ (4). Elusidasi pada setiap puncak fragmentogram m/z 83, ditemukan alkilsikloheksana C_{14} dan C_{16} . Senyawa alkilsikloheksana dalam produk pencairan batubara *low rank* diperkirakan berasal *n*-alkana rantai panjang yang terbentuk melalui proses termocracking yang disertai dengan reaksi siklisasi olefin radikal [12,27], sehingga biomarka *n*-alkana rantai panjang yang ditemukan dalam ekstrak batubara *low rank* Kalimantan Timur menjadi sumber terbentuknya senyawa tersebut [8]. Senyawa alkilsikloheksana merupakan komponen yang banyak ditemukan pada fraksi hidrokarbon alifatik berbagai batuan sumber, minyak bumi, dan batubara. Alisiklik hidrokarbon, seperti alkilsikloheksana ditemukan pada *light oil* dari produk pencairan batubara bituminous Shenhua Shangwan [13]. Senyawa tersebut merupakan komponen dari *light* hidrokarbon sehingga keberadaannya dalam produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur mendukung kelayakannya untuk dapat diformulasikan sebagai sumber bahan bakar cair.

KESIMPULAN

Hasil penelitian fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan

Timur mengidentifikasi adanya campuran senyawa pembangun bahan bakar cair yang terdiri dari: *n*-alkana (C_{11} - C_{25}), alkana bercabang (C_9), seskuiterpen (transkadinan), dan alkilsikloheksana (C_{14} dan C_{16}). Senyawa-senyawa tersebut merupakan hasil pirolisa yang diturunkan dari komponen batubara dan biomarka batubara. Komposisi molekul produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur sama dengan komposisi *light hydrocarbon crude oil*. Hal ini mengindikasikan bahwa produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur layak untuk dapat diformulasikan menjadi bahan bakar cair.

UCAPAN TERIMAKASIH

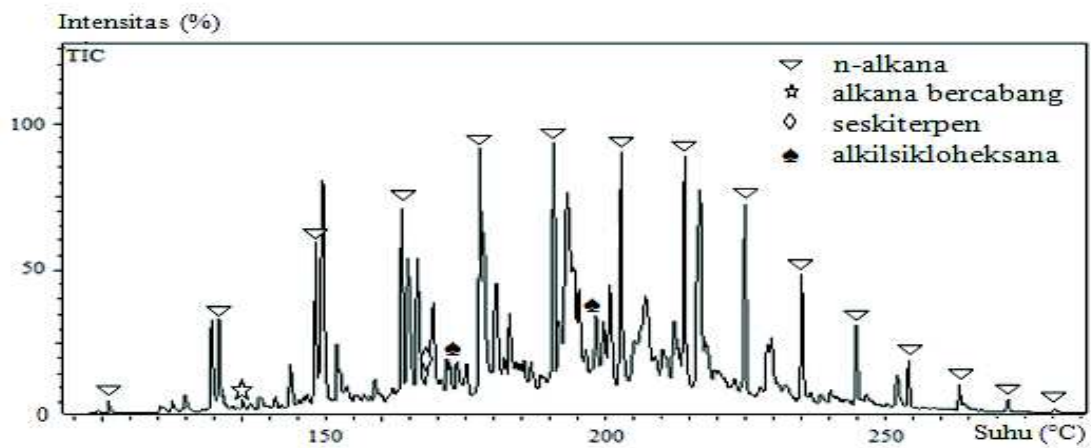
Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Pendidikan Agama Islam Departemen Agama RI (beasiswa bagi EDU), Direktorat P2M – Dikti melalui Hibah Penelitian Tim Pascasarjana, Laboratorium Pencairan Batubara BPPT Serpong (fasilitas *liquefaction*) atas terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

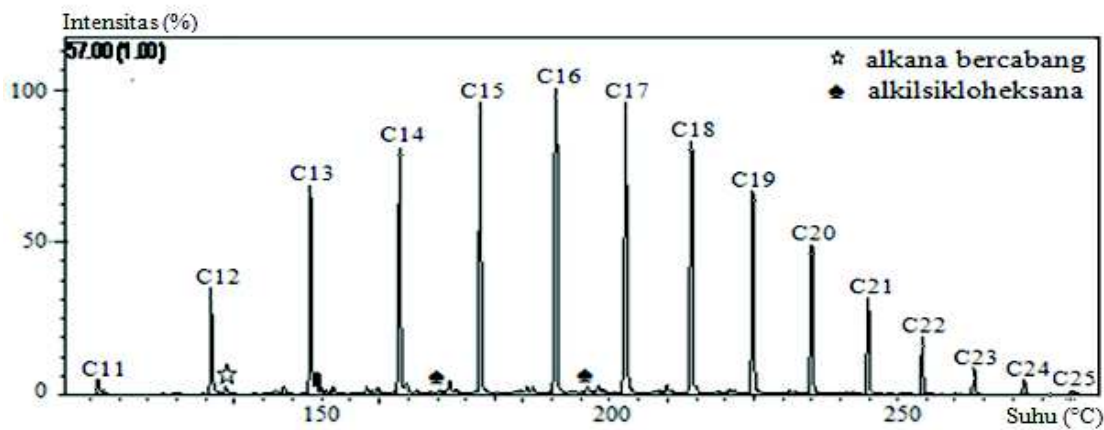
- [1] Jauhari, M., 2007, *Economic Review*, 208, Jakarta.
- [2] Bukin, D., 2009, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, tekMIRA Badan Sumber Daya Mineral dan Departemen ESDM.
- [3] Chavarria, P., Martinez, M.T., Miranda, J.L., and Oscar, J., 1986, *Fuel Process. Tech*, 13, 205-211.
- [4] Legarreta, J. A., Arias, P. L., and de marco, I., 1987, *Fuel Process. Tech.*, 15, 293-305.
- [5] Petersen, H. I., and Nytoft, H. P., 2005, *Org. Geochemis.: Challenges for the 21st Century*, Gonzalez Vila, dkk. (Eds), 22nd IMOG, Sevilla, 552-553.
- [6] Killop, S. D., and Killops, V. J., 1993, A Introduction to organic Geochemistry, Longman Group UK Ltd., England.

- [7] Ohkouchi, N., Kawamura, K., and Taira, A., 1997, *Org. Geochem.*, 27, 173-183.
- [8] Munifah, 2009, Karakteristik geokimia organik batubara *low rank* Samarinda Kalimantan Timur, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] Jones, D. W., Pakdel, H., and Bartle, K. D., 1982, *Fuel*, 61, 44-51.
- [10] Herod, A. A., Hellenbrand, R., Xu, B., Zhang, S., and Kandiyoti, R., 1995, *Fuel*, 74, 1739-1752.
- [11] Shah, Y. T., 1981, Reaction engineering in direct coal liquefaction, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- [12] Kissin, Y. V., 1990, *Org. Geochem.*, 15, 575-594.
- [13] Gao, Z., Liu, L., Zhu, X., Li, W., 2008, *J. Science & Engin.* 14, 136-139.
- [14] Pereira, R. C. C., and Pasa, V. M. D., 2006, *Fuel*, 85, 1860-1865.
- [15] Sukandarrumidi, 1995, Batubara dan gambut, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [16] Horsfield, B., Yordy, K. L., and Crelling, J. C., 1988, *Org. Geochem.*, 13, 121-129.
- [17] Widodo. S., Bechtel, A., Anggayana, K., and Puttmann, W., 2009, *Org. Geochem.*, 40, 206-218.
- [18] Dong, J. Z., Katoh, T., Itoh, H., and Ouchi, K., 1987, *Fuel*, 66, 1336-1346.
- [19] Noble, R. A., Wu, C. H., and Atkinson, C. D., 1991, *Org. Geochem.*, 10, 363-374.
- [20] White, C.M., Shultz, J.L., and Sharkey, Jr., A.G., 1977, *Nature*, 268, 620-622.
- [21] Kissin, Y. V., 1993, *Org. Geochem.*, 51, 2445-2451.
- [22] Albalges J., Borbon J. and Salagre P., 1978, *Tetrahedron Lett.*, 6, 595-598.
- [23] Tissot, B. P., and Welte, D. H., 1984, Petroleum formation and occurrence, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [24] Philp R. P. and Oung J. N., 1988, *Anal. Chem.*, 60, 887-896.
- [25] Simoneit B. R. T., Leif R. N., Radler F., Almeida D., Pinto A. C., and Albrecht P. (1990), *Naturwissenschaften*, 77, 380-383.
- [26] van Aarssen, B.G.K., Cox, H.C., Hoogendoorn, P., and De Leeuw, J.W., 1990, *Geochim.*
- [27] Dong, J. Z., Vorkink, W. P., and Lee, M. L., 1993, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 837-849.
- [28] Barthlot, W., Neinhuis, C., Cutler, D., Ditsch, F., Meusel, I., Theisen, I. and Wilhelmi, H., 1998, *Botanic. J.Linn. Soc.*, 126, 237-260.

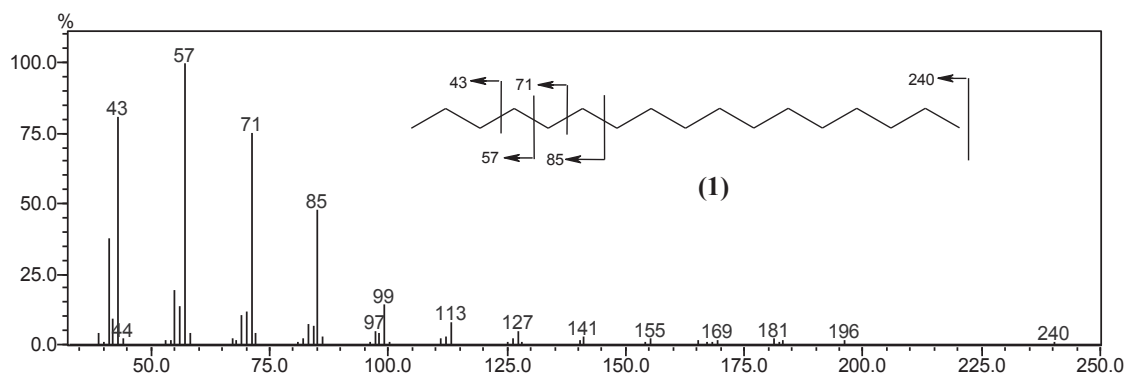
LAMPIRAN



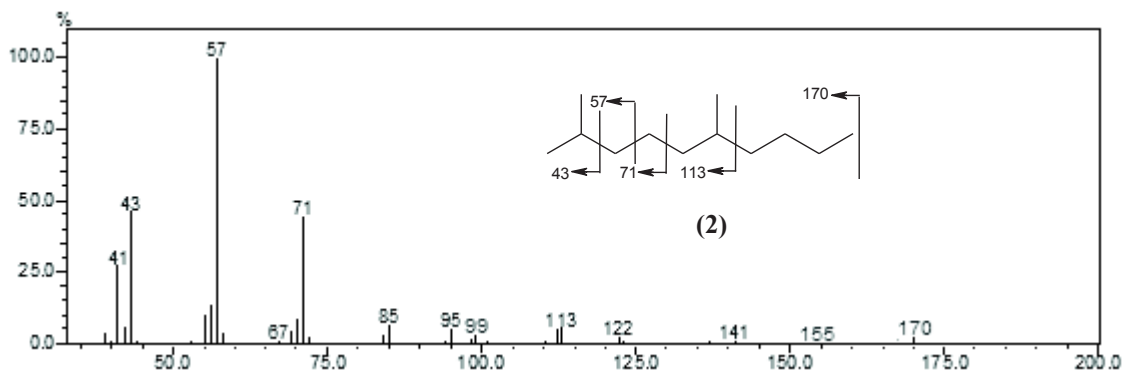
Gambar 1. Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur. Kondisi: KG-SM QP2010S, program temperatur kolom adalah 60°C-100°C (10°C/menit), 100°C-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



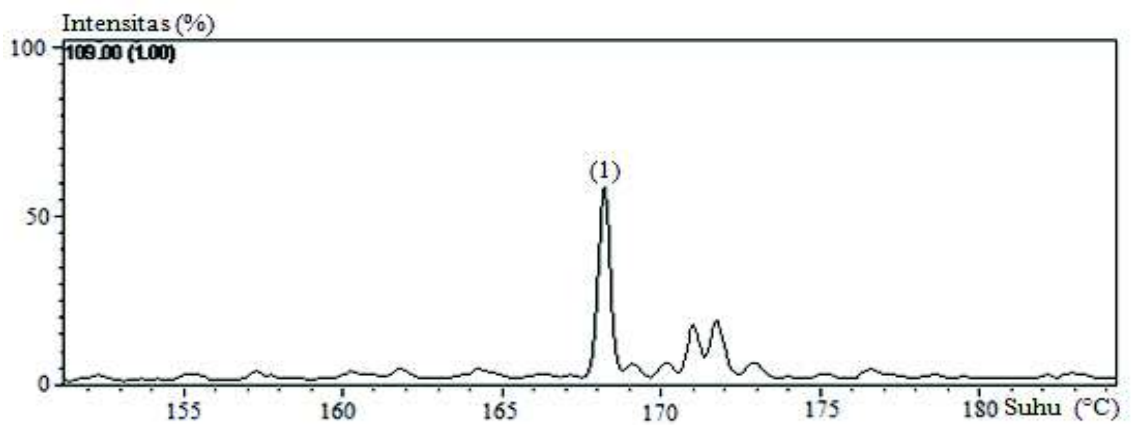
Gambar 2. Fragmentogram m/z 57 fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur. Kondisi operasi : KG-SM QP2010S, program temperatur kolom adalah 60°C-100°C (10°C/menit), 100°C-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



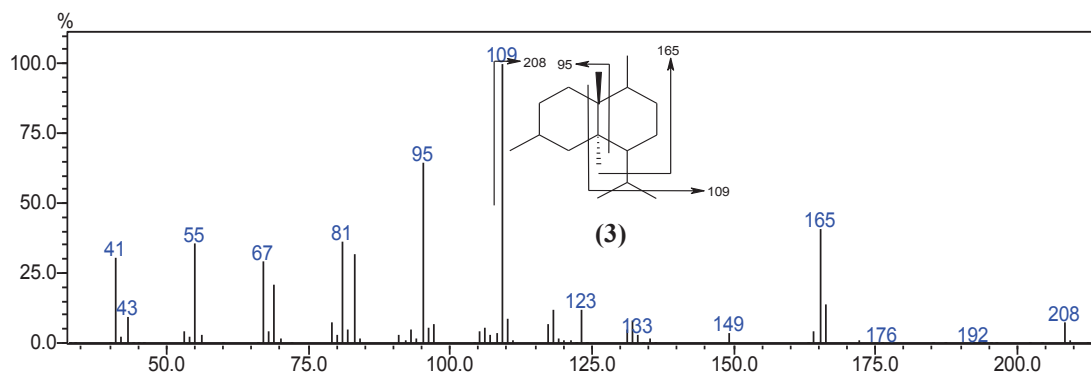
Gambar 3. Spektrum massa *n*-alkana $C_{17}H_{36}$



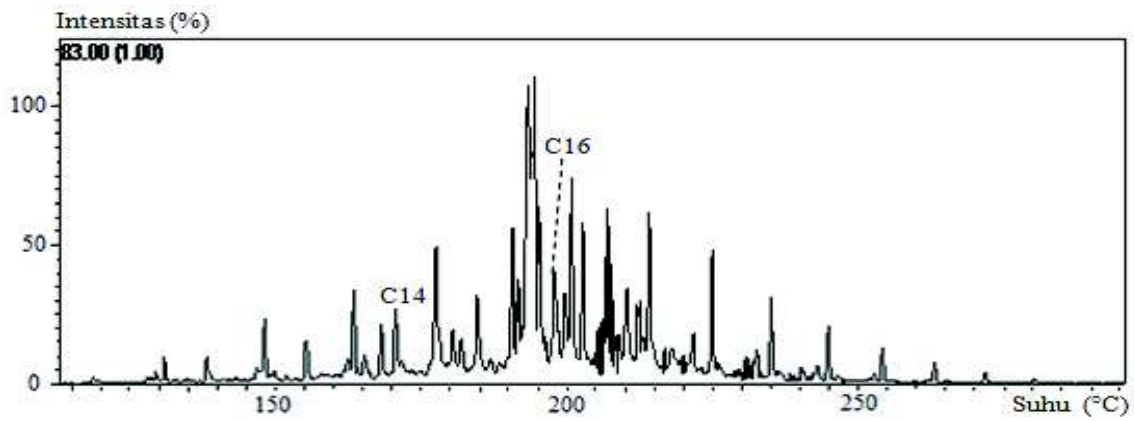
Gambar 4. Spektrum massa alkana bercabang $C_{12}H_{26}$



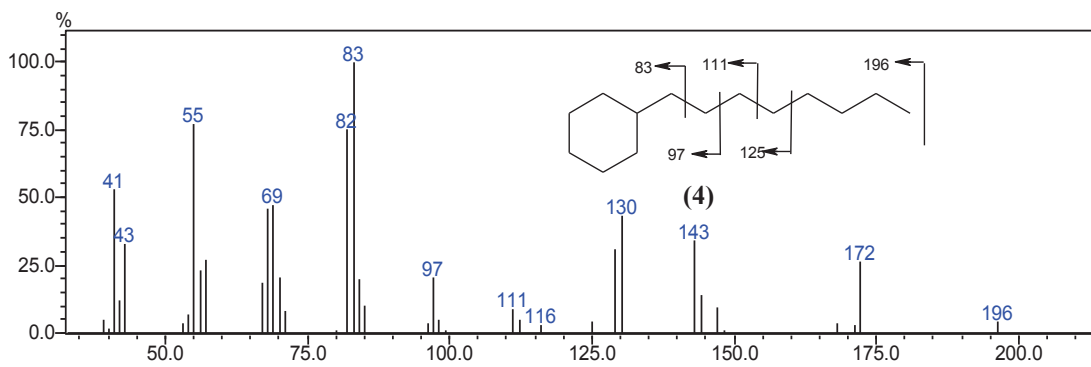
Gambar 5. Fragmentogram m/z 109 fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur. Kondisi operasi: KG-SM QP2010S, program temperatur kolom adalah 60°C-100°C (10°C/menit), 100°C-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



Gambar 6. Spektrum massa puncak ke-1



Gambar 8. Fragmentogram m/z 83 fraksi hidrokarbon alifatik produk pencairan batubara *low rank* Kalimantan Timur. Kondisi operasi: KG-SM QP2010S, program temperatur kolom adalah 60°C-100°C (10°C/menit), 100°C-290°C (4°C/menit) dan isothermal pada 290°C selama 25 menit.



Gambar 8. Spektrum massa alkilsikloheksana $C_{14}H_{28}$