

GEOKIMIA ORGANIK FRAKSI AROMATIK *LIGHT OIL* PRODUK PENCAIRAN BATUBARA AREA (PIT) BINTANG SANGATTA KALIMANTAN TIMUR

Lukman Sugiharto Wijaya^{1*} dan R. Y. Perry Burhan²

Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{1*,2}

*E-mail: pburhan@chem.its.ac.id

Abstract

Character geochemical of Coal in area (pit) Stars Sangatta, East Kalimantan shows that the coal is classified as steam coal with thermal maturity and have low calories (5768 kcal/kg). The coal is melted in the 1L autoclave for 60 minutes at a temperature of 450°C and a pressure of 12 MPa to obtain a product slurry. Fractionation of slurry product based on boiling point using a vacuum distillation apparatus 10 mmHg. Fractions obtained include naphtha, light oil, middle oil, heavy oil and coal liquid bottom. Data show that the weight percentage of the product melting fraction is dominated by heavy oil and coal liquid bottom with percentage of total > 50%. Fraction of light oil in the fractionation further by TLC and the eluent n-hexane in order to obtain an aromatic fraction. The composition of the aromatic hydrocarbon fraction light oil products were characterized using gas chromatography mass spectrophotometer (GC-MS). The identification shows that derivative of kadalen compounds, that is compounds norkadalen (C₁₄H₁₆) which is the fraction of oil that can be potentially as diesel fuel.

Keywords: Fuel, Coal area (pit) Bintang Sangatta, Light oil, Coal liquefaction.

Abstrak

Karakter geokimia batubara area (pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur menunjukkan bahwa batubara tersebut tergolong batubara dengan kematangan termal dan kalori yang rendah (5768 kkal/kg). Batubara ini dicairkan dalam reaktor autoclave 1L selama 60 menit pada suhu 450°C dan tekanan 12 MPa untuk memperoleh produk slurry. Produk slurry selanjutnya difraksinasi berdasarkan titik didih menggunakan alat distilasi vakum 10 mmHg. Fraksi-fraksi yang diperoleh antara lain nafta, light oil, middle oil, heavy oil, dan coal liquid bottom. Data prosentase berat menunjukkan bahwa produk pencairan didominasi oleh fraksi Heavy Oil dan Coal Liquid Bottom dengan prosentase total > 50%. Fraksi light oil difraksinasi lebih lanjut menggunakan KLT dan eluen n-heksana agar diperoleh fraksi aromatik. Komposisi senyawa hidrokarbon fraksi aromatik produk light oil dikarakterisasi menggunakan Kromatografi Gas Spektrofotometer Massa (KG-SM). Telah ditemukan adanya senyawa turunan kadalen yaitu senyawa norkadalen (C₁₄H₁₆) yang merupakan fraksi minyak yang dapat berpotensi sebagai bahan bakar solar.

Kata kunci: Bahan bakar, Batubara area (pit) Bintang Sangatta, Light oil, Pencairan batubara.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya alam dan secara geografis memiliki banyak cekungan minyak dan gas. Berdasarkan data cadangan sumber daya yang dikeluarkan oleh Kementerian

Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), sampai tahun 2011 potensi sumber daya energi fosil atau hidrokarbon yang dimiliki masing-masing jenis energi ini menunjukkan bahwa sumber daya batubara 104,8 miliar ton dan cadangan batubara 20,98 miliar ton. Di

sisi lain, minyak bumi sebagai cadangan sumber daya energi lainnya di Indonesia saat ini sudah semakin terbatas. Menurut data yang telah diketahui, Indonesia saat ini hanya memiliki sumber daya minyak bumi 56,6 miliar barel dan cadangan minyak buminya sebesar 7,99 miliar barel. Hal ini memiliki nilai perbandingan tingkat produksi minyak bumi saat ini, akan habis dalam jangka waktu 23 tahun (Giriana, 2012).

Diversifikasi batubara sebagai bahan baku padat menjadi produk lain atau menjadi bahan bakar dalam penampilan lain merupakan obsesi perusahaan tambang batubara dan pemerintah dalam menghadapi krisis bahan bakar minyak di masa depan. Upaya tersebut memerlukan pengkajian karakteristik batubara secara mendalam. Salah satu cara untuk mengetahui karakteristik batubara adalah melalui analisa biomarka yang dimilikinya. Biomarka atau disebut juga dengan fosil molekul adalah senyawa organik kompleks yang terdiri atas karbon, hydrogen, dan unsur lain. Biomarka yang dimiliki oleh suatu fosil dari suatu materi geologi dapat menerangkan asal-muasal, evolusi geologi yang dilaluinya, kematangan, dan lingkungan pengendapan. Senyawa-senyawa yang tergolong sebagai biomarka antara lain n-alkana, hopana, sterana, dan lupana. Senyawa hidrokarbon pada batubara berasal dari lemak seperti wax, kutikula dan resin. Kandungan hidrokarbon alifatik pada batubara mempunyai kesamaan sifat dengan hidrokarbon alifatik pada bahan bakar minyak (Sukandarrumidi, 1995).

Salah satu jenis batubara Kalimantan Timur adalah batubara Pit Bintang, Sangatta, Kalimantan Timur. Secara geologi, batubara ini masuk ke dalam cekungan Kutai. Cekungan Kutai yang telah diketahui banyak mengandung sumber petroleum dan banyak ditemukan deposit batubara baru ini merupakan cekungan terluas (165.000 km²) dan terdalam (12.000-14.000 meter) di Indonesia. Cekungan ini memiliki hidrokarbon yang terjebak dalam formasi Balikpapan (Miosen Tengah) dan formasi Kampung Baru (Miosen-Pliosen) dan gunung berapi sangat mempengaruhi tingginya nilai kalor batubara yang berada di wilayah Cekungan Kutai (Satyana, 1999; Herudyanto, 2012). Input material organik penyusun batubara Sangatta, Kalimantan Timur berasal

dari tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae dan bakteri. Input material organik yang berasal dari tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae ditandai dengan terdapatnya senyawa n-alkana yang dimulai dari rantai karbon C16 sampai C33, pristan dan fitan, alkilnaftalena, seskiterpena (Kadinan, kadalen, norkadalen), dan oleana (oleana 13(18)ena dan olean-12(13)ena), dan fenantrena. Input material organik yang berasal dari bakteri ditandai dengan teridentifikasinya biomarka 17, 21-homohopana dan alkilbenzena. Hal ini menunjukkan terjadinya proses degradasi ketika fase pemendaman dibantu oleh aktivitas bakteri. Lingkungan pengendapan batubara area (pit) Bintang Sangatta Kalimantan Timur merupakan lingkungan oksik berdasarkan rasio pristan:fitan (Pr/Ph) yaitu 12. Hal ini terjadi karena fitol yang merupakan gugus samping molekul klorofil dengan produk *intermediet* asam fitenat dalam lingkungan pengendapan yang bersifat oksik lebih dominan membentuk pristan, sedangkan dalam lingkungan pengendapan yang bersifat anoksik molekul fitol lebih membentuk fitan (Mahmudah, 2014).

Kelayakan diversifikasi batubara padat menjadi batubara cair erat hubungannya dengan data biomarka batubara yang akan dicairkan dengan harapan akan mampu memberikan nilai tambah kegunaan batubara sebagai alternatif pengganti penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar. Hal ini membutuhkan adanya hubungan antara komponen hidrokarbon batubara area (pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur dengan komponen hidrokarbon produk pencairannya yang dilihat dari produk *light oil* dan *Middle Oil* dalam fraksi alifatik dan fraksi aromatik. Hal ini didasarkan pada penelitian Dooley, dkk, (2010), bahwa komponen hidrokarbon alifatik dan aromatik tersebut dapat memberikan informasi kemiripan sifat dengan komponen utama pada bahan bakar minyak, misalnya senyawa n-alkana, iso-alkana, sikloalkana, olefin, dan aromatik.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Peralatan

2.1.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain batubara Sangatta, n-

heksana p.a, diklorometana p.a, metanol 99,8 % p.a, kloroform p.a, aseton p.a, *sea sand*, silika G60 Merck Z 60-230 mesh, H₂SO₄ 10%, NaOH 10%, serbuk Cu dan aquabides.

2.1.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat reaktor *autoclave* 1L, seperangkat alat distilasi vakum, soklet, *hot plate*, *rotary evaporator*, kertas pH, plat KLT, pengaduk magnetik, kompresor, KG-SM dan peralatan gelas pendukung lainnya. Seluruh peralatan gelas yang digunakan pada penelitian ini dikondisikan terlebih dahulu pada keadaan geokimia.

2.2. Prosedur Kerja

2.2.1. Pencairan Batu Bara

Batubara yang berasal dari Sangatta dihaluskan (*grinding*) dan diayak hingga memiliki ukuran partikel 200 mesh. Langkah berikutnya dilakukan analisa proksimat, diperoleh informasi mengenai nilai umpan (*feed*) yang digunakan pada proses pencairan batubara, yang meliputi jumlah batubara, pelarut, sulfur, dan katalis. *Feed* tersebut dimasukkan kedalam *autoclave* 1L serta direaksikan pada temperatur 450°C, selama 60 menit dengan tekanan 12 Mpa. Pada akhir pencairan dihasilkan gas dan bubur berwarna hitam (*slurry*) sebagai produk cair. *Slurry* yang dihasilkan dari reaksi tersebut difraksinasi menggunakan destilasi vakum, berdasarkan titik didih 180°C, 300°C dan 420°C. Hasilnya dicatat dari fraksi-fraksi (*naphta*, *light oil*, *middle oil*, dan *heavy oil*) yang diperoleh.

Kalimantan Timur dihaluskan (di *grinding*) dan diayak hingga memiliki luas permukaan 60,120, dan 200 mesh. Dilakukan analisa proksimat pada batubara berukuran 60 mesh, untuk mengetahui kandungan air, abu, material-material yang mudah menguap dan karbon dalam sampel batubara tersebut. Batubara dengan luas permukaan 120 mesh dianalisa kalori untuk mengetahui energi batubara, sedangkan batubara yang berukuran 200 mesh digunakan untuk proses pencairan. Berdasarkan data analisa proksimat (Tabel 1), diperoleh informasi mengenai nilai umpan (*feed*) yang digunakan pada proses pencairan batubara (Tabel 2). *Feed* tersebut dimasukkan kedalam *autoclave* 1L, reaksi pencairan batubara dilakukan pada kondisi tekanan 12

Mpa dan temperatur 450 C selama 60 menit. Pada akhir pencairan dihasilkan gas dan bubur berwarna hitam (*slurry*) sebagai produk cair. *Slurry* yang dihasilkan dari reaksi tersebut difraksinasi menggunakan destilasi vakum, kemudian dicatat hasil fraksi-fraksi (*naphta*, *light oil*, *middle oil*, dan *heavy oil*) yang diperoleh.

2.2.2. Ekstraksi Produk *Light Oil*

Produk *light oil* dipisahkan dari aspaltenya menggunakan metode Jones, (1982). Sampel *light oil* diekstrak dengan pelarut *n*-heksana (1:5 (w/v)) dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam lalu didiamkan beberapa saat. Endapan (*asphalten*) yang terbentuk dipisahkan. Fasa *n*-heksana ditambahkan beberapa mL H₂SO₄ 10% lalu diekstraksi hingga pH fasa aquos <3. Fasa organik yang diperoleh ditambahkan dengan NaOH 10% lalu diekstraksi lagi hingga pH fasa aquos >13. Cara yang sama dilakukan untuk fraksi *light oil*.

2.2.3. Fraksinasi Fraksi Minyak Netral

Fraksi minyak netral hasil ekstraksi produk *light oil* difraksinasi berdasarkan metode Fabianska (2013), menggunakan kromatografi Lapis Tipis (KLT) silika gel dengan plat kaca. Awalnya, plat KLT dielusi dengan aseton untuk membersihkan pengotor yang kemungkinan menempel pada plat kemudian dikeringkan. Sebelum pemakaian, plat KLT diaktivasi terlebih dahulu dalam oven dengan suhu 110 C selama satu jam. Setelah plat dingin, sampel ditotolkan pada batas bawah KLT dan dielusi menggunakan pelarut *n*-heksana. Elusi *n*-heksana menghasilkan pita-pita pada plat KLT yang dibedakan berdasarkan warna dibawah lampu UV. Pita-pita yang berwarna biru-ungu merupakan kelompok fraksi aromatik, kemudian dikerok. Untuk mengambil sampel pada hasil kerokan silika KLT digunakan corong tulip yang berisi *cellite*. Sampel dari fraksi aromatik diekstrak dengan pelarut diklorometana. Fraksi aromatik kemudian dianalisis menggunakan KG-SM.

2.2.4. Analisa Kromatografi Gas-Spektrofotometer Massa KG-SM

Fraksi aromatik dilakukan desulfurisasi terlebih dahulu menggunakan serbuk Cu untuk menghilangkan sulfur bebas yang

kemungkinan masih ada pada sampel. Sulfur ini dapat mengganggu proses pemisahan dalam KG-SM. Kemudian dilarutkan dalam pelarut diklorometana dan selanjutnya diambil 1 μ L untuk diinjeksikan kedalam instrumen KG-SM. Pengoprasian KG-SM dimulai suhu 50°C (isotermal selama 2 menit) dengan laju pemanasan hingga 175°C (10°C/menit), lalu 225°C (6°C/menit) dan suhu 300°C (4°C/menit) selama 20 menit. Spektrometer massa dioperasikan dalam modus ionisasi elektron 70 eV. Data yang diperoleh kemudian dianalisis. Seluruh puncak pada kromatogram diidentifikasi berdasarkan hasil fragmentogram yang diperoleh, kemudian diinterpretasikan sehingga diperoleh data tentang senyawa hidrokarbon yang terkandung pada sampel yang diteliti.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Pencairan Batubara

Pencairan batubara dilakukan terhadap batubara yang berasal dari area (pit) Bintang, kawasan tambang Sangatta, Kalimantan Timur dengan nilai kalori 5768 kal/gr. Sebelum dilakukan pencairan batubara dianalisa kandungan proksimatnya, untuk mengatur kondisi percobaan dalam pencairan. Analisa proksimat mencakup kandungan air, abu, material yang mudah menguap dan kandungan karbon dalam batubara. Hasil analisa proksimat terhadap batubara area (pit)

Bintang tersebut ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Analisa Proksimat Batubara Area (Pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur

Analisa Proksimat	Kandungan dalam Batubara (%)
Air	8,99
Abu	17,81
Material yang mudah Menguap	34,02
Kandungan Karbon	39,18

Informasi dari analisa proksimat menunjukkan bahwa batubara memiliki kandungan air dan *volatile matter* yang relatif rendah dan kandungan karbon yang rendah. Kondisi seperti ini dapat dikatakan bahwa batubara tersebut merupakan batubara muda dan digolongkan sebagai batubara jenis sub-bituminus (Singh, dkk, 2010).

Pencairan batubara dilakukan menggunakan metode NEDO pada *reactor batch autoclave* 1 Liter. Umpan (*feed*) yang digunakan pada proses pencairan tersebut, meliputi sampel batubara dengan ukuran partikel sebesar 200 mesh, katalis limonit SH, *heavy oil* sebagai pelarut, belerang sebagai *co*-katalis dan gas H₂. Komposisi umpan yang digunakan dihitung berdasarkan hasil analisa proksimat batubara. Tabel 2 berikut menyajikan komposisi umpan yang digunakan:

Tabel 2. Komposisi Umpan Pencairan Batubara Area (Pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur

Komposisi	Umpan (g)					
	Batubara area (pit) Bintang	Pelarut HO	Katalis Limonit SH	Belerang	Gas H ₂	Total Umpan (g)
H ₂ O	6,74		1,05			7,24
Abu	13,37					13,37
Dafc	54,95					54,95
LO		0,76	0,02			0,78
MO		17,07	0,56			17,62
HO		91,03	2,97			94,27
CLB			0,00			0,00
Fe			0,75			0,75
Total (g)	75,07	114,94	5,35	0,66	4,92	200,92

Keterangan: a. CLB (*Coal liquid bottom*); b. Dafc (Batubara bebas air dan abu)

Tabel 3. Produk Pencairan Batubara Area (Pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur

Produk Pencairan	Berat (g)	% wt
Produk cair:		
a. H ₂ O	1,00	1,33
b. Naptha	0,87	1,16
c. LO	5,42	7,22
d. MO	49,46	65,69
e. HO	-18,59	-24,76
f. CLB	18,28	24,35
Sub Total	56,44	75,18
Produk Gas:		
a. CO+CO ₂	1,14	1,52
b. C ₁ -C ₄	3,58	4,77
Sub Total	4,72	6,29
Total	61,16	81,47
Berat yang tidak terukur	13,91	18,53
Total Sampel	75,07	100

Produk total hasil pencairan batubara adalah 61,16 gram (81,47%), dengan produk yang tidak terukur adalah 13,91 gram (18,53%). Destilat total yang dihasilkan dari 75,07 gram sampel batubara yang digunakan pada proses pencairan batubara tersebut sejumlah 56,44 gram (75,18%). Destilat tersebut terdiri dari fraksi nafta sejumlah 0,87 gram (1,16%), LO sejumlah 5,42 gram (7,22%), MO sejumlah 49,46 gram (65,89%) dan fraksi HO sejumlah -18,59 gram (24,76%) serta produk gas yang meliputi CO, CO₂, C₁-C₄ sejumlah 4,72 gram (6,29%). Pada fraksi *heavy oil* yang bernilai minus menunjukkan bahwa pada proses pencairan batubara ini tidak dihasilkan fraksi tersebut. Produk *heavy oil* yang diperoleh dari proses fraksinasi merupakan *heavy oil* yang ditambahkan sebagai *solvent* saat proses awal pencairan, dan walaupun dihasilkan fraksi *heavy oil* selama proses fraksinasi, akan berada dalam jumlah yang sangat kecil. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor temperatur yang digunakan selama proses fraksinasi.

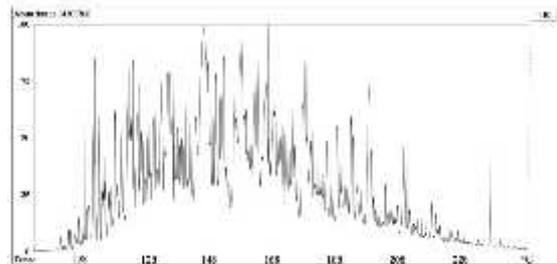
3.2 Fraksinasi Produk Pencairan Batubara Light Oil

Ekstrak organik total dari *Light Oil* (1,1308 gram) diperoleh dengan cara melarutkan masing-masing fraksi dengan

pelarut *n*-heksana. Fraksi *n*-heksana bebas asphalten yang didapatkan selanjutnya diekstrak dengan larutan Asam Sulfat 10% dan Natrium Hidroksida 10% secara bergantian. Proses ekstraksi menghasilkan ekstrak organik total bebas mineral dan asphalten yang disebut sebagai minyak netral. Minyak netral yang dihasilkan dari *light oil* sebesar 3,4720 gr. Minyak netral *light oil* (LO) difraksinasi dengan Kromatografi Lapis Tipis (KLT). Fasa diam yang digunakan adalah plat kaca silika gel 60 F₂₅₄ dan fasa gerak (eluen) *n*-heksana. Sebanyak 0,2867 gr LO ditotolkan pada dua plat KLT dan dielusi. Hasil elusidasi dikontrol dengan sinar UV dan menunjukkan adanya 5 pita fraksi yang berbeda pendaran warnanya di bawah sinar UV 254 dan 366 nm. Fraksi yang terelusi *n*-heksana yang memiliki pendaran warna ungu pekat dan ungu kehijauan akibat adanya gugus kromofor yang dapat berupa senyawa aromatik atau senyawa yang memiliki sistem konjugasi elektron (Fabianska, 2013). Kemudian fraksi pada plat KLT dikerok dan diekstrak dengan pelarut diklorometana (Fabianska, 2004). Proses filtrasi senyawa dari silika gel dilakukan dalam corong tulip dengan bantuan Cellite. Selanjutnya Fraksi aromatik LO dianalisa dengan KG-SM yang sebelumnya dilakukan desulfurisasi terlebih dahulu menggunakan serbuk Cu. Berat fraksi aromatik LO 0,1358 gram.

3.3 Elusidasi KgsM Fraksi Aromatik Light Oil

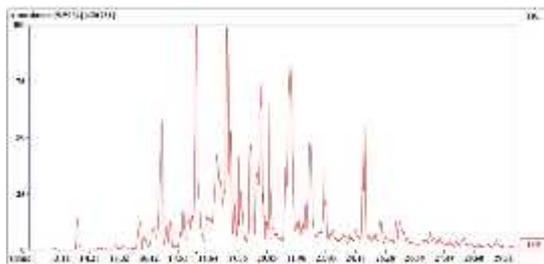
Hasil analisis KG-SM terhadap fraksi aromatik *light oil* batubara area (pit) Bintang Sangatta Kalimantan Timur ditunjukkan oleh kromatogram pada **Gambar 1**.



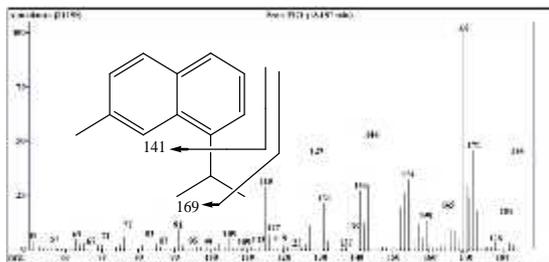
Gambar 1. Kromatogram Total Fraksi Aromatik *Light Oil*

Interpretasi dari kromatogram total fraksi aromatik *Light Oil* didapatkan keberadaan turunan senyawa kadalen pada fraksi minyak aromatik yang diidentifikasi berdasarkan fragmentogram m/z 169. Fragmentogram m/z 169 fraksi hidrokarbon aromatik dari *light oil* ditunjukkan pada Gambar 2. Spektrum massa senyawa turunan kadalen ditunjukkan pada gambar 3, secara berturut-turut.

Pada fragmentogram yang ditunjukkan oleh Gambar 2, teridentifikasi senyawa turunan kadalen yaitu senyawa norkadalen ($C_{14}H_{16}$) yang memiliki fragmen ion m/z 141, 154, dan 169 (pucak dasar), dengan berat molekul sebesar 184. Fragmen-fragmen ion tersebut merupakan karakteristik dari senyawa kadalen dan turunannya (Duta, 2011). Kadalen merupakan salah satu senyawa dari golongan naftalen yang dapat digunakan sebagai komponen dasar penyusun bahan bakar solar (van Aarssen, dkk, 1990).



Gambar 2. Fragmentogram m/z 169 Senyawa Turunan Kadalen Fraksi Aromatik *Light Oil*



Gambar 3. Spektrum Massa Norkadalen, $C_{14}H_{16}$ Fraksi Aromatik *Light Oil*

4. KESIMPULAN

Pada proses pencairan 75,07 gram batubara area (pit) Bintang Sangatta, Kalimantan Timur yang mempunyai nilai energi batubara sebesar 5768 kkal/kg, dihasilkan destilat total sebesar 56,44 gram (75,18%). Destilat tersebut terdiri dari fraksi naphtha sebesar 0,87 gram (1,16%), LO sebesar 5,42 gram (7,22%), MO sebesar 49,46 gram (65,89%), fraksi HO sebesar 18,59 gram (24,76%) dan CLB sebesar 18,28 gram

(24,35%) serta produk gas yang meliputi CO , CO_2 , C_1 - C_4 sebesar 4,72 gram (6,29%). Komposisi senyawa hidrokarbon dalam fraksi aromatik *Light Oil* (LO) terdapat senyawa turunan kadalen yaitu senyawa norkadalen ($C_{14}H_{16}$) yang merupakan fraksi minyak yang dapat berpotensi sebagai bahan bakar solar.

DAFTAR PUSTAKA

- Dooley, dkk., 2010. A jet fuel surrogate formulated by real fuel properties. *Combustion and Flame*, 157, 2333-2339.
- Dutta, S., Mallick, M., Kumar., K., 2011. Terpenoid Composition and Botanical Affinity of Cretaceous Resins from India dan Myanmar. *International Journal of Coal Geology*, 85, 49-55.
- Fabia ska, M.J. (2004). GC-MS investigation of distribution of fatty acids in selected Polish brown coals. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 72, 241-244.
- Fabia ska, M.J., Kurkiewicz, S. (2013). Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the Neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turossów Brown Coal Basins (Poland). *International Journal of Coal Geology* 107, 24-44.
- Girianna, M. (2012). Percepatan Pembangunan Industri Gas Bumi. Laporan Kajian Akhir, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Jakarta.
- Herudiyanto. (2012). Possible explanations of the increasing coal rank at the Pinang Dome area, Sangatta, East Kalimantan. Kementrian ESDM, Badan Geologi, Indonesia.
- Jones, D.W., Pakdel, H., dan Bartle, K. D. (1982). Cyclic alkanes as geochemical markers in coal liquefaction products. *Fuel*, 61, 44-52.
- Mahmudah, Z.M.H. (2014). Karakteristik geokimia organik batubara pit bintang sangatta kalimantan timur. Tesis Magister, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Satyana A.H., Nugroho, D., Surantoko, L. (1999). Tectonic control on the

- hydrocarbon habitats of the Barito, Kutai and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia, Major, Dissimiliteries in adjoining Basins. *Journal of Asian Earth Science*. Jakarta.
- Singh Prakash K., Singh M.P., Singh Alok K., Arora Mukesh. (2010). Petrographic Characteristics of Coal from the Lati Formation, Tarakan Basin, East Kalimantan, Indonesia. *Coal Geology*, 81, 109-116.
- Sukandarrumidi. (1995). *Batubara dan Gambut*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Van Aarssen, B.G.K., Cox H.C., Hoogendoorn, P. dan De Leeuw, J.W. (1990). A cadinene biopolymer present in fossil and extant dammar resins as a source for cadinanes and bicadinanes in crude oils from Southeast Asia, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 3021-3031.