

Analisa Biomarka batubara Muaraenim Sumatera Selatan sebagai batubara sumber *Coalbed Methane*

Taufan Farizqo Yuniar, Perry Burhan, dan Yulfi Zetra

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: pburhan@chem.its.ac.id

Abstrak— Studi yang mendetail tentang karakteristik batubara seperti kematangan, sumber senyawa organik, dan lingkungan pengendapan menjadi sangat penting dalam eksplorasi CBM untuk mengetahui karakteristik dari reservoir batubara CBM. Kematangan, sumber senyawa organik, dan lingkungan pengendapan dapat diketahui melalui analisa senyawa biomarka dari batubara tersebut. Sampel batubara dihaluskan dan diekstraksi. Ekstrak yang diperoleh dari batubara dipisahkan berdasarkan kepolarannya menjadi fraksi alifatik dan aromatik dengan menggunakan metode Kromatografi Lapis Tipis Preparatif (KLTP). Analisa senyawa biomarka dilakukan dengan menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM). Hasil karakterisasi fraksi alifatik diperoleh senyawa n-alkana (C₁₅-C₃₃), alkana bercabang pristana dan fitana, seskiterpenoid, dan triterpenoid. Sedangkan fraksi aromatik diperoleh senyawa seri naftalena (naftalena hingga tetrametil naftalena), seskiterpenoid aromatik, dan triterpenoid aromatik. Teridentifikasi senyawa kadinana, oleanena, kadalena dan naftalena menunjukkan adanya masukan dari tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae famili Dipterocarpaceae. Adanya senyawa hopanoid menandakan adanya masukan dari bakteri. Nilai rasio pristan dan fitan yang bernilai >1 menunjukkan lingkungan pengendapan yang bersifat oksik. Terdeteksinya senyawa hopanoid dengan konfigurasi β dan juga senyawa prekursor naftalena mengindikasikan tingkat kematangan yang rendah. Tingkat kematangan yang rendah tersebut membuat batubara Muaraenim Sumatera Selatan berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber batubara coalbed methane (CBM).

Kata kunci : Geokimia organik, batubara, biomarka, Muaraenim, Sumatera Selatan, Coalbed Methane

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi fosil yang cukup beragam yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF (*Trillion Cubic Feet*) dan cadangan batubara sebesar 31,35 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru maka minyak bumi akan habis dalam 13 tahun, gas bumi 34 tahun dan batubara 72 tahun. Berdasarkan data dari Badan Geologi, produksi batubara Indonesia mencapai 424 juta ton pada tahun 2013 dan diperkirakan akan meningkat menjadi 545 juta ton pada tahun 2025, dan menjadi 1.220 juta ton pada 2050. Produksi batubara dalam kurun waktu 2013-2050 meningkat rata-rata sebesar 2,9% per tahun. Saat ini hampir 78% dari produksi batubara digunakan untuk ekspor dan sisanya sebesar 22% untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Energi fosil telah

menjadi penggerak pertumbuhan ekonomi Indonesia dimasa lalu dan saat ini, dimasa depan masih ada potensi energi lainnya seperti *coal bed methane*(CBM), *shale gas*, dan energi baru terbarukan yang perlu dioptimalkan pemanfaatannya [1]

Cadangan batubara utama di Indonesia berada di Pulau Sumatera (42%) dan Kalimantan (57%). Dari total 13 milyar ton batubara Pulau Sumatera, 91% cadangan batubara berada di Provinsi Sumatera Selatan yang berada dalam Cekungan Sumatera Selatan [1]. Batubara Cekungan Sumatera Selatan terdapat pada tiga formasi, yakni formasi Lahat, Talangakar dan Muaraenim. Menurut data dari Badan Geologi Indonesia tahun diperkirakan terdapat 120 TCF cadangan CBM pada Cekungan Sumatera Selatan dimana cadangan utamanya berada pada formasi Muaraenim. Formasi tersebut terbentuk pada akhir Miosen hingga awal Pliosen. Batubara yang terdapat pada formasi tersebut kebanyakan merupakan batubara peringkat rendah (kalori rendah) atau lignit hingga peringkat sedang (kalori sedang) atau sub-bituminus. Menurut penelitian yang sebelumnya [2] diperkirakan bahwa batubara peringkat rendah-sedang ini merupakan batubara yang paling prospektif untuk memproduksi gas metana batubara, atau dikenal sebagai *coal bed methane* (CBM).

Coal bed methane (CBM) merupakan gas hidrokarbon nonkonvensional yang bersumber dari batubara dan tersimpan dalam reservoir batubara. Reservoir CBM sangat berbeda dengan reservoir minyak pada umumnya. CBM atau *coalbed gas* adalah gas yang tersimpan karena adsorpsi dalam *micropore* batubara. Pada saat ini CBM telah banyak dikembangkan (umumnya digunakan untuk menggerakkan turbin pembangkit listrik) oleh beberapa negara seperti Amerika, Rusia, China dan Australia. Walaupun dari energi fosil yang tidak terbaharukan, tetapi gas metana terus diproduksi selama lapisan batubara tersebut masih ada. CBM merupakan sumber energi yang relatif masih baru yang merupakan salah satu energi alternatif yang dapat diperbaharui penggunaannya. Selain itu, CBM ini termasuk salah satu sumber energi yang ramah lingkungan [3]. Meskipun terdapat indikasi adanya sumber CBM yang menjanjikan, belum ada eksplorasi secara sistematis di Indonesia, khususnya Cekungan Sumatera Selatan [4]. Eksplorasi CBM memerlukan integrasi beberapa ilmu pengetahuan seperti geologi, geofisika, dan geokimia. Studi yang mendetail tentang karakteristik batubara seperti kematangan, sumber senyawa organik, dan lingkungan pengendapan menjadi sangat penting dalam eksplorasi CBM untuk mengetahui karakteristik dari reservoir batubara CBM

[5]. Kematangan, sumber senyawa organik, dan lingkungan pengendapan dapat diketahui melalui analisa senyawa biomarka dari batubara tersebut.

Biomarka merupakan senyawa kompleks molekular biologis yang berasal dari organisme hidup yang telah mati. Senyawa tersebut tetap menyimpan kerangka dasar dari sumber biosintesis pada makhluk hidup asal, tetapi telah mengalami perubahan gugus fungsi, pemutusan ikatan serta perubahan stereokimia akibat kondisi yang terjadi di dalam perut bumi, seperti adanya perubahan termal maupun tekanan. Oleh karena itu, identifikasi biomarka dapat memberikan banyak informasi mengenai sumber bahan organik dan perubahan-perubahan yang terjadi selama proses geologi perut bumi, sehingga dapat ditelusuri senyawa prekursoranya dan dihubungkan dengan senyawa yang ada pada organisme hidup zaman purba [6]. Selama proses pembentukan batubara sebagian biomakromolekul dari organisme yang mati akan berubah menjadi batubara, sedangkan sebagian kecil lainnya akan tetap mengendap menjadi biomarka. Kandungan senyawa biomarka batubara lebih didominasi oleh senyawa-senyawa hidrokarbon aromatik dibandingkan dengan hidrokarbon alifatiknya. Rantai hidrokarbon alifatik dapat ditemukan berikatan pada cincin aromatik atau berikatan silang dalam matrik batubara [7][8].

Penelitian tentang biomarka batubara Cekungan Sumatera Selatan telah dilakukan sebelumnya salah satunya oleh Amijaya [9] pada batubara dari Tambang Air Laya Sumatera Selatan yang merupakan batubara peringkat rendah. Analisa KG-SM yang dilakukan pada batubara peringkat rendah tersebut menunjukkan variasi distribusi dari biomarka *n*-alkana, isoprenoid, dan aromatik yang menggambarkan variasi sumber bahan organik dan kondisi lingkungan pengendapan. Biomarka terpenoid seperti kadinana, seskuiterpen eudesman dan triterpenoid oleanan dan ursan, mengindikasikan sumber bahan organik tanaman *Angiospermae*, terutama famili *Dipterocarpaceae*. Biomarka aromatik seperti turunan naftalena, fenantrena dan kadalena juga teridentifikasi pada batubara tersebut. Famili *Dipterocarpaceae* merupakan tanaman yang mendominasi pada zaman Miosen sehingga menguatkan penelitian sedimentologi dari Boyd [10] mengenai asal dari batubara Sumatera Selatan yang berasal dari zaman Miosen.

Pengetahuan mengenai biomarka mempunyai banyak fungsi yaitu dapat digunakan untuk mengetahui sumber senyawa pembentuk batubara, kondisi pengendapan dan zaman pembentukan batubara tersebut. Pengetahuan akan hal tersebut akan sangat membantu karakterisasi batubara dan eksplorasi CBM dari Cekungan Sumatera Selatan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sampel

Bahan geologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel batubara dengan kode CBM 1 S-3 BLM-17 pada kedalaman 537-538 m dari Bukit asam, formasi Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan.

B. Fraksinasi

Sampel batubara dihaluskan hingga berukuran 100 mesh. Sampel yang telah halus diambil sebanyak 10 gram untuk diekstraksi. Kemudian batubara diekstraksi dengan metode sokletasi menggunakan alat soklet ekstraktor dengan pelarut diklorometana:metanol (97:3) sebanyak 100 mL selama 1 X 16 jam. Hasil ekstraksi diuapkan pelarutnya dengan menggunakan rotary evaporator lalu dipindahkan dalam botol vial. Ekstrak batubara difraksinasi lebih lanjut menjadi fraksi alifatik dan aromatik dengan menggunakan metode Kromatografi Lapis Tipis Preparatif (KLTP) [11]. Proses fraksinasi dilakukan dengan melarutkan 200 mg ekstrak batubara dalam kloroform dan ditotolkan pada plat KLTP. Elusi dilakukan di dalam *chamber* yang telah berisi *n*-heksana dengan keadaan tertutup hingga batas. Pemisahan fraksi hidrokarbon menggunakan senyawa pembanding lupena untuk fraksi alifatik dengan nilai R_f 1.0-0.9 dan DBA untuk fraksi aromatik dengan nilai R_f 0.9-0.1. Fraksi aromatik yang diperoleh didesulfurisasi dengan menggunakan serbuk Cu. Fraksi alifatik dan aromatik yang diperoleh kemudian dianalisa dengan Kromatografi Gas-Spektrofotometer Massa (KG-SM).

C. Analisa dengan Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM)

Analisa dengan Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM) dilakukan dengan menggunakan GC-MS Agilent 122-5561, kolom DB-5 MS, 60 m x 0.25 mm x 0.1 μ m dengan gas pembawa helium dengan laju 1.2 mL/menit. Program oven terdiri dari suhu awal 70°C isothermal selama 1 menit, 70-150°C dengan laju pemanasan 10°C/menit, 150-290°C dengan laju pemanasan 2°C/menit dan dari 290-315°C dengan laju pemanasan 5°C/menit, kemudian dibiarkan isothermal pada suhu 315°C selama 6 menit. Hasil kromatografi gas spektrometer massa berupa kromatogram yang selanjutnya diinterpretasikan sebagai biomarka dari batubara.

III. HASIL DAN DISKUSI

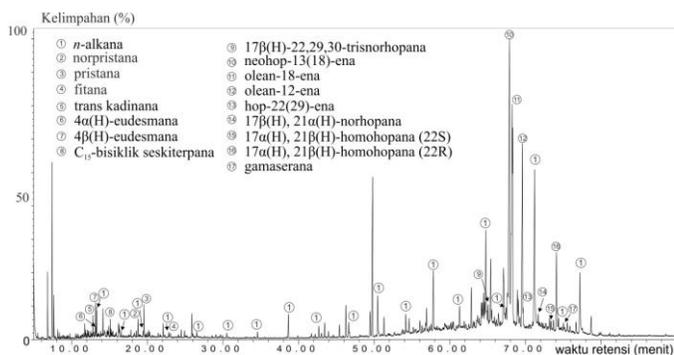
A. Fraksinasi

Batubara diekstraksi dengan metode sokletasi menggunakan alat soklet ekstraktor dengan pelarut diklorometana:metanol (97:3). Proses ekstraksi berlangsung selama 1 X 16 jam dengan total pelarut yang digunakan sebanyak 100 mL. Ekstrak yang diperoleh berupa cairan berwarna kuning kecoklatan. Ekstrak ini kemudian diuapkan pelarutnya dengan *rotary evaporator*. Ekstrak pekat tersebut kemudian dipindahkan ke dalam botol vial. Ekstrak dikeringkan, ditimbang, dan diperoleh padatan sebanyak 1,2224 gram (12.22%). Ekstrak kering yang didapatkan dianggap sebagai ekstrak organik total (EOT).

Fraksi netral difraksinasi kembali dengan metode kromatografi lapis tipis preparatif (KLTP). Hasil fraksinasi EOT diperoleh fraksi kering berupa fraksi alifatik sebanyak 0,0060 gram (%) yang berupa cairan tidak berwarna, fraksi aromatik sebanyak 0,0101 gram (8,9%) berupa padatan kekuningan, dan polar diklorometana sebanyak 0,0641 gram (41,7%) berupa padatan coklat kekuningan.

B. Identifikasi Biomarka Fraksi Alifatik

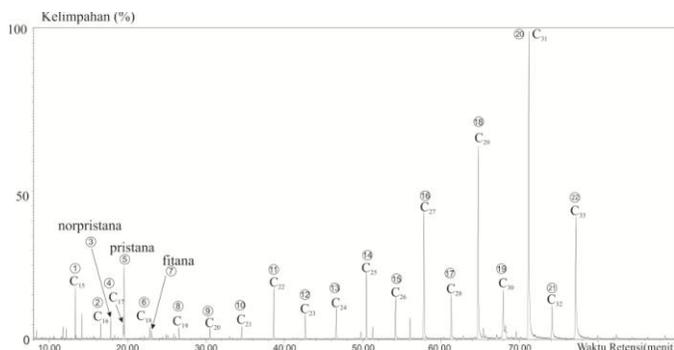
Analisis biomarka fraksi hidrokarbon alifatik menggunakan metode kromatografi gas-spektroskopi massa, memberikan total ion kromatogram (TIC) sebagaimana dilihat pada Gambar 1. Hasil analisis yang dilakukan terhadap total ion kromatogram (TIC) fraksi hidrokarbon alifatik ini menunjukkan adanya beberapa kelompok senyawa dengan struktur yang berbeda, meliputi hidrokarbon *n*-alkana, isoprenoid, seskiterpenoid dan triterpenoid.



Gambar 1. Kromatogram total fraksi hidrokarbon alifatik batubara Muaraenim, Sumatera Selatan (Bukit Asam)

n-alkana dan isoprenoid

Distribusi senyawa *n*-alkana sampel batubara Muaraenim, Sumatera Selatan, diidentifikasi berdasarkan fragmentogram m/z 57 yang merupakan ciri senyawa alkana.



Gambar 2. Fragmentogram m/z 57 fraksi hidrokarbon alifatik batubara Muaraenim, Sumatera Selatan (Bukit Asam)

Distribusi senyawa alkana dapat memberikan informasi asal-usul senyawa biomarka. Kelimpahan yang tinggi pada senyawa *n*-alkana rantai pendek ($< C_{20}$) menunjukkan adanya kontribusi dari alga atau sianobakteri [12]. Sedangkan untuk *n*-alkana rantai panjang ($> C_{20}$) mengindikasikan adanya kontribusi dari tanaman tingkat tinggi [13]. Senyawa *n*-alkana dapat berasal dari prekursor asam lemak rantai lurus yang mengalami dekarboksilasi.

Hasil interpretasi puncak-puncak pada fragmentogram m/z 57 menunjukkan adanya distribusi homolog senyawa *n*-alkana pada rentang C_{15} - C_{33} dengan kelimpahan yang tinggi pada *n*-alkana rantai panjang terutama *n*- C_{29} dan *n*- C_{31} . Kelimpahan yang tinggi pada *n*-alkana rantai panjang tersebut

menunjukkan bahwa sumber senyawa organik batubara Formasi Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan berasal dari tanaman tingkat tinggi. Keberadaan *n*-alkana pada rentang tersebut juga ditemukan pada sedimen di danau Bera, Malaysia [14] dan juga batubara dari Polandia [11]. Keberadaan senyawa biomarka juga dapat digunakan sebagai indikator kematangan pada suatu sampel geologi dari dominasi karbon ganjil atau genapnya. Hasil interpretasi puncak pada fragmentogram m/z 57 didapatkan bahwa karbon ganjil lebih mendominasi, terutama pada *n*- C_{29} dan *n*- C_{31} . Dominasi tersebut menunjukkan bahwa sampel batubara yang dianalisis memiliki tingkat kematangan yang rendah [8].

Pada fragmentogram m/z 57 juga ditemukan senyawa isoprenoid pristana dan fitana. Kedua senyawa tersebut merupakan senyawa isoprenoid yang berasal dari senyawa fitol yang merupakan rantai samping dari klorofil. prekursor kedua senyawa tersebut tidak hanya bersumber dari tanaman tingkat tinggi akan tetapi juga dapat berasal dari fitoplankton ataupun organisme fototropik lainnya [15].

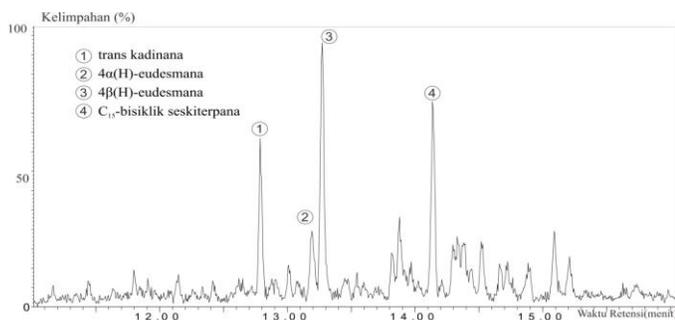
Senyawa fitol akan mengalami reaksi yang berbeda tergantung pada lingkungannya, sehingga senyawa turunannya, yakni pristana dan fitana, dapat digunakan sebagai indikator kondisi lingkungan pengendapan batubara. Apabila kondisi lingkungannya anoksik, fitol akan cenderung mengalami reaksi hidrogenasi pada ikatan rangkapnya membentuk dehidrofitol dan dilanjutkan dengan reaksi dehidrasi membentuk senyawa fitana. Sedangkan pada apabila kondisi lingkungannya anoksik, fitol akan cenderung mengalami reaksi oksidasi membentuk asam fitenoat dilanjutkan dengan reaksi dekarboksilasi membentuk senyawa pristana dan terakhir mengalami reaksi hidrogenasi membentuk senyawa pristana.

Rasio Pr/Ph dapat digunakan sebagai indikator lingkungan pengendapan batubara. Rasio Pr/Ph < 1 atau dengan kata lain pristana lebih dominan, mengindikasikan lingkungan pengendapan yang bersifat anoksik. Sedangkan rasio Pr/Ph > 1 atau dengan kata lain fitana lebih dominan, mengindikasikan lingkungan pengendapan yang bersifat oksik [16]. Seperti pada penelitian dari Rodriguez [17] pada sampel geologi Sumatera Tengah, dimana ditemukan senyawa pristana yang lebih dominan dari fitana (Pr/Ph > 1) yang mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan sampel tersebut bersifat oksik atau oksidatif.

Hasil interpretasi senyawa isoprenoid dan ulasan diatas menunjukkan bahwa keberadaan senyawa pristana dan fitana pada sampel batubara formasi Muaraenim, Sumatera Selatan berasal dari tanaman tingkat tinggi dengan kondisi lingkungan pengendapan yang bersifat oksik dengan senyawa pristana yang lebih dominan. Hal tersebut juga didukung dengan hasil interpretasi senyawa biomarkan *n*-alkana dimana didominasi oleh senyawa biomarka *n*-alkana rantai panjang yang juga berasal dari tanaman tingkat tinggi.

Seskiterpenoid

Identifikasi senyawa biomarka seskiterpenoid dapat dilakukan melalui fragmentogram m/z 123 sebagai fragmen utama senyawa tersebut.

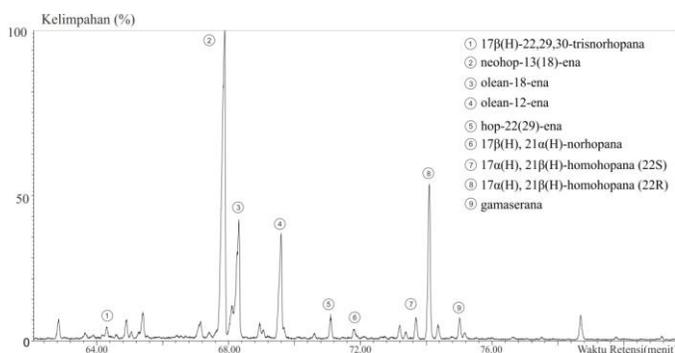


Gambar 2. Fragmentogram m/z 123 fraksi hidrokarbon alifatik batubara Muaraenim, Sumatera Selatan (Bukit Asam)

Keberadaan senyawa kadinana mengindikasikan adanya masukan dari resin damar tumbuhan Angiospermae keluarga Dipterocarpaceae. Senyawa ini merupakan produk depolimerisasi dari polikadinena yang menghasilkan monomer, dimer dan trimer dari senyawa polikadinen. Tumbuhan Angiospermae keluarga Dipterocarpaceae merupakan senyawa yang banyak ditemukan di daerah tropis seperti di Asia Tenggara. Tumbuhan ini hidup pada zaman Tersier sehingga keberadaannya dapat mengindikasikan umur dari sampel batubara Formasi Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan yakni pada zaman Tersier. Keberadaan senyawa drimana mengindikasikan adanya masukan dari resin damar tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae [18].

Triterpenoid

Identifikasi senyawa biomarka seskitertpenoid dapat dilakukan melalui fragmentogram m/z 191 sebagai fragmen utama senyawa tersebut



Gambar 3. Fragmentogram m/z 191 fraksi hidrokarbon alifatik batubara Muaraenim, Sumatera Selatan (Bukit Asam)

Senyawa hopanoid yang dapat teridentifikasi diantaranya adalah $17\beta(H)$ -22,29,30-trisnorhopana (**48**); neohop-13(18)-ena (**49**); hop-22(29)-ena (**50**); $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ -norhopana (**51**); $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -homohopana (22S) (**52**); $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ -homohopana (22R) (**53**) dan gamaserana (**54**).

Keberadaan senyawa $17\beta(H)$ -22,29,30-trisnorhopana (Tm) dan tidak ditemukannya senyawa senyawa $18\alpha(H)$ -22,29,30-trisnorneohopana (Ts) pada sampel

batubara Muaraenim, Sumatera Selatan mengindikasikan tingkat kematangan yang rendah hal tersebut dikarenakan tingkat kestabilan dari Tm yang lebih rendah daripada Ts selama proses katagenesis [19].

Keberadaan senyawa hopena dengan kelimpahan tinggi mengindikasikan tingkat kematangan batubara yang rendah. Senyawa golongan hopena diduga berasal dari diplopterol yang ditemukan dalam beberapa organisme eukariotik, seperti halnya bakteri yang menghasilkan hopanoid [20][21][22]. Diplopterol diperkirakan merupakan prekursor pembentuk senyawa hopena. Kemungkinan senyawa ini terbentuk akibat aktivitas mikrobial pada tahap pembatubaraan selama proses penggabungan [23].

Konfigurasi isomer dari senyawa hopana mempunyai tingkat kestabilan yang berbeda. Senyawa hopana dengan konfigurasi $\beta\beta$ tergolong dalam konfigurasi isomer yang kurang stabil, sehingga akan mengalami isomerisasi kearah $\beta\alpha$ dan pada akhirnya akan mencapai konfigurasi kearah yang paling stabil, yakni $\alpha\beta$ [19]. Keberadaan hopana dengan konfigurasi $\beta\alpha$ ini mengindikasikan rendahnya kematangan dari sampel yang dianalisis [24].

Senyawa $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ -homohopana (22R), $C_{31}H_{54}$ beserta isomernya $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ -homohopana (22S), $C_{31}H_{54}$ juga teridentifikasi pada sampel batubara Muaraenim, Sumatera Selatan. Keberadaan senyawa ini diduga terbentuk melalui reaksi oksidasi yang diikuti dengan dekarboksilasi dari prekursornya bakteriohopanetetrol [25]. Tingginya kelimpahan homohopana, mengindikasikan adanya lingkungan suboksik pada pembentukan senyawa organik batubara [26], hal tersebut sesuai dengan rasio Pr/Ph yang rendah pada pembahasan sebelumnya. Rendahnya kelimpahan 22S terhadap 22R pada sampel batubara Muaraenim, Sumatera Selatan menunjukkan tingkat kematangan yang rendah [27].

Keberadaan senyawa oleanana mengindikasikan senyawa organik yang berasal dari prekursor β -amirin dari tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae [28]. Pentasiklik terpenoid ini terbentuk dari proses defungsionalisasi β -amirin yang terjadi pada tahap awal diagenesis. Triterpenoid pada tumbuhan tingkat tinggi sering kali mengandung cincin karbon dengan ikatan rangkap yang dapat berpindah pada kerangka pentasiklik.

Asal dari senyawa gamaserana kemungkinan berasal dari reduksi dari tetrahimanol (gamaseran- 3β -ol) [29][30]. Konversi diagenetis tetrahimanol menjadi gamaserana kemungkinan besar berlangsung melalui dehidrasi untuk membentuk gamaser-2-ena, diikuti dengan hidrogenasi. Tetrahimanol merupakan lipid yang menggantikan steroid pada membran organisme protozoa tertentu [31]. Tetrahimanol pertama

teridentifikasi dari organisme protozoa *Tetrahimena* [32]. Sehingga keberadaan gamaserana pada batubara menandakan adanya input dari protozoa.

C. Implikasi Geokimia

Berdasarkan hasil penelitian terhadap fraksi hidrokarbon alifatik ekstrak batubara Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan dapat disimpulkan bahwa senyawa biomarka yang terkandung didalamnya adalah *n*-alkana (C_{15} - C_{33}), alkana bercabang pristana (C_{19}) (**4**) dan fitana (C_{20}) (**5**), seskiterpenoid (kadinana (**44**), 4α (H)-eudesmana (**45**), 4β (H)-eudesmana (**46**), drimana (C_{15} bisiklik seskiterpana) (**47**)), triterpenoid (17β (H)- $22,29,30$ -trisorhopana (**48**); neohop- $13(18)$ -ena (**49**); hop- $22(29)$ -ena (**50**); olean- 18 -ena (**55**), olean- 12 -ena (**56**); 17β (H), 21α (H)-norhopana (**51**); 17α (H), 21β (H)-homohopana ($22S$) (**52**); 17α (H), 21β (H)-homohopana ($22R$) (**53**) dan gamaserana (**54**)).

Senyawa biomarka yang ditemukan dalam fraksi alifatik memberikan berbagai informasi, diantaranya adalah bahan organik penyusunnya. Informasi yang telah didapatkan memberitahukan bahwa batubara Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan memiliki senyawa penyusun yang didominasi oleh senyawa yang berasal dari tanaman tingkat tinggi daratan. Pernyataan ini dibuktikan dengan adanya dominasi rantai *n*-alkana diatas C_{20} . Rantai *n*-alkana diatas C_{20} diduga berasal dari lapisan kutikula yang berada pada lapisan terluar daun.

Tanaman tingkat tinggi darat juga berkontribusi dalam memberikan senyawa biomarka pristana (**4**) dan fitana (**5**) akibat dari klorofil yang ada pada daun yang jatuh. Daun yang jatuh akhirnya menjadi fosil yang terakumulasi dan bagian klorofil mengalami hidrolisis rantai samping sehingga menghasilkan fitol (**8**). Fitol (**8**) inilah yang jika teroksidasi akan menjadi pristana dan jika mengalami dehidrasi menjadi fitan. Proses pembentukannya batubara berada pada lingkungan pengendapan bersifat oksik(oksidatif). Pernyataan ini dibuktikan dengan rasio pristana/fitana yang memberikan nilai >1 (Didyk et al., 1978). Akibatnya senyawa pristana ditemukan lebih banyak, karena pembentukan pristana yang melalui proses oksidasi.

Bahan organik yang menjadi sumber senyawa biomarka selain dari tanaman tingkat tinggi daratan namun juga dari bakteri. Keberadaan peran bakteri dalam proses pembentukan batubara dibuktikan dengan adanya senyawa *n*-alkana rantai pendek (C_{15} - C_{19}) dan hopanoid. Senyawa hopanoid sendiri diduga berasal dari senyawa diplopterol (**50**) yang dalam bakteri diubah menjadi senyawa turunan hopanoid (Ries-Kautt and Albrecht, 1989).

Informasi selanjutnya yang dapat diketahui adalah mengenai asal-usul penyusun batubara Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan, senyawa biomarka yang didapatkan juga memberikan informasi mengenai zaman pembentukannya. Pembentukan batubara ini diduga dimulai pada zaman Miosen. Pernyataan ini diperkuat dengan adanya senyawa kadinana sebagai senyawa khas dari zaman *Cretasius* hingga akhir Tersier (termasuk Miosen) karena sumber bahan organik senyawa kadinana sangat melimpah pada zaman Miosen di Cekungan Sumatera Selatan. Senyawa sebagai penanda zaman Miosen lainnya yaitu senyawa

kadalena dan pisenana yang diduga berasal dari tanaman *Dipterocarpaceae* yang melimpah pada zaman miosen (Widodo et al., 2009).

Informasi terakhir yang didapatkan dari analisa senyawa batubara Muaraenim Cekungan Sumatera Selatan adalah kematangan. Berdasarkan analisa dari dominasi *n*-alkana karbon ganjil terhadap *n*-alkana karbon genap memberikan informasi bahwa batubara tersebut kematangannya rendah. Tingginya intensitas dari senyawa triterpenoid berikatan rangkap dan senyawa hopana berkonfigurasi $\beta\alpha$ juga menguatkan hipotesis bahwa tingkat kematangan batubara yang rendah dari batubara Formasi Muaraenim Cekungan Sumatera Selatan. Batubara yang dimanfaatkan sebagai sumber CBM merupakan batubara dengan tingkat kematangan yang relatif rendah, yakni termasuk batubara lignit hingga bituminus. Analisa biomarka batubara Formasi Muaraenim Cekungan Sumatera Selatan menunjukkan tingkat kematangan yang rendah. Dari hipotesis tersebut, maka batubara Formasi Muaraenim Cekungan Sumatera Selatan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai batubara sumber CBM.

IV. KESIMPULAN

Hasil analisa biomarka batubara dari fraksi alifatik dan aromatik yang didapatkan memberikan informasi bahwa sumber masukan bahan organik batubara Formasi Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan berasal dari tumbuhan tingkat tinggi dan mikroorganisme (bakteri). Prekursor senyawa organik batubara tersebut didominasi oleh tanaman tingkat tinggi angiospermae famili *Dipterocarpaceae* yang mendominasi vegetasi pada zaman Miosen awal hingga akhir di Formasi Muaraenim. Bahan organik penyusun batubara mengalami pengendapan dan akumulasi pada lingkungan pengendapan oksik serta batubara mempunyai kematangan yang relatif rendah. Hal tersebut ditandai dengan senyawa hopana yang memiliki konfigurasi $\beta\alpha$, tingginya intensitas senyawa hopana dan masih ditemukannya prekursor senyawa naftalena. Rendahnya kematangan dari batubara Formasi Muaraenim, Cekungan Sumatera Selatan menunjukkan bahwa batubara tersebut memiliki potensi untuk dijadikan sebagai batubara sumber CBM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LEMIGAS atas kesediannya memberikan sampel batubara sekaligus tempat analisa KG-SM. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh anggota tim penelitian Laboratorium Geokimia Molekuler dan semua pihak yang membantu dalam penyusunan naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiyono, A., Boedoyo, S., Fitriana, I., Niode, N., Siregar, E., Paminto, A. K., Suarna, E., Yudiantono, Wahid, L.O.M.A., Wijaya, P.T., Suryani, Anindhita, Yudiantono, 2015. Outlook Energi Indonesia 2015. BPPT, Jakarta.
- [2] Sosrowidjojo, I.B., 2006. Coalbed Methane Potential in The South Palembang Basin. Proceedings of the International Geosciences Conference and Exhibition, IPA, 33th Annual Convention. In CD publication, Jakarta. file # CH-05, 5p.

- [3] Kristadi H. J., Dati D. W., 2006. Gas Metana Batubara : Energi Baru untuk Rakyat. Lemigas, Jakarta.
- [4] Sosrowidjojo, I.B., 2013. Coal Geochemistry Of The Unconventional Muaraenim Coalbed Reservoir, South Sumatera Basin: A Case Study From The Rambutan Field. *Indonesian Mining Journal* 16, 71 – 81.
- [5] Boruah A., Kumar B., Rao P. H., Harinarayana T., 2013 Integrated Development Of Both Conventional And Unconventional Coal Fuels In India. *The International Journal Of Science & Technoledge* 5, 11-17.
- [6] Simoneit B. R. T., 2004. Biomarkers molecular fossils as geochemical indicators of life. *Advances in Space Research* 33, 1255-1261.
- [7] Hunt, J.M., 2002. Petroleum Geochemistry and Geology, second ed. W.H. Freeman and Company, New York.
- [8] Peters, K.E., Moldowan, J.M.1993. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, New Jersey.
- [9] Amijaya, H., 2005. Paleoenvironmental, paleoecological and thermal metamorphism implications on the organic petrography and organic geochemistry of Tertiary Tanjung Enim coal, South Sumatra Basin, Indonesia. PhD Thesis, Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule, Aachen, 170 .
- [10] Boyd, J.D. and Peacock, S.G., 1986. Sedimentological Analysis of a Miocene Deltaic Systems: Airbenakat and Muaraenim Formations, Central Merangin block, South Sumatra. *Proceedings, IPA, 15th Annual Convention*, 245-258.
- [11] Fabiańska, M. J., Cmiel, R. S., Kennan, M. S. 2013. Biomarkers And Aromatic Hydrocarbons In Bituminous Coals Of Upper Silecian Coal Basin : Example From 405 Coal Seam Of The Zaleskie Beds (Poland). *International Journal of Coal Geology* 107, 96-111.
- [12] Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J., Oro, J., 1970. Hydrocarbons of geochemical significance in Microscopic Algae. *Phytochemistry* 9, 603-612.
- [13] Tissot, P.B., dan Walte, H.D., 1984. Petroleum Formation and Occurance 2nd edition. Springer-Verlag, Berlin.
- [14] Bakar N. A., Tay K. S., Omar N. Y. M. J., Abas, M. R. B., Simoneit B. R. T., 2011. The geochemistry of aliphatic and polar organic tracers in sediments from Lake Bera, Malaysia. *Applied Geochemistry* 261433-1455.
- [15] Rontani, J F, Nassiry, M Michotey, V, Guasco, S, dan Bonin, P. (2011). Formation of pristane from α -tocopherol under simulated anoxic sedimentary conditions: A combination of biotic and abiotic degradative processes *Geochimica et cosmochimica acta* 74, 252-263.
- [16] Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassell, S.C., Eglinton, G., 1978. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature* 272, 216–222.
- [17] Rodriguez, N. D., Philp, R. P., 2012. Productivity and paleoclimatic controls on source rock character in the Aman Trough, north central Sumatra, Indonesia. *Organic Geochemistry* 45, 18–28.
- [18] Havelcova, M, Sykorova, I, Trejtnarova, H, dan Sulc, A., 2012. Identification of organic matter in lignite samples from basins in the Czech Republic: Geochemical and Petrographic Properties in relation to lithotype. *Fuel* 99, 129-142.
- [19] Seifert, W.K., Moldowan, J.M., 1980. The effect of thermal stress on source-rock quality as mesured by hopane stereochemistry. *Physics and Chemistry of Earth* 12, 229-237. Peters et al., 2005
- [20] Bottari, F., Marsili, A., Morelli, I., Pacchiani, M., 1972. Aliphatic and triterpenoid hydrocarbons from ferns. *Phytochemistry* 11, 2519-2523.
- [21] Ourisson, G., Albrecht, P. and Rohmer, M., 1979. The hopanoids. Palaeochemistry and biochemistry of a group of natural products. *Pure and Applied Chemistry* 51, 709–29.
- [22] Rohmer, M., Bisseret, P., 1994. Hopanoid and other polyterpenoid biosynthesis in eubacteria. *American Chemical Society. Symposium Series* 562, 31-43.
- [23] Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Zdravkov, A., Kostova, I., Gratzner, R., 2005. Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza-East lignite (Bulgaria). *Organic Geochemistry* 36, 1498–1522.
- [24] Volkman, J.K., Alexander, R., Kagi, R.I., 1983. GC-MS characterisation of C₂₇ and C₂₈ triterpanes in sediments and petroleum. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 1033-1040.
- [25] Killips S.D., Killips V.J., 1993. An Introduction to Organic Geochemistry. John Wiley and Sons Inc., New York.
- [26] Hunt, J.M., 2002. Petroleum Geochemistry and Geology, second ed. W.H. Freeman and Company, New York.
- [27] Philp, R. P., 1985. Fossil Fuel Biomarkers: Application and Spectra. Elsevier, New York.
- [28] Hills, I. R., Smith G.W., & Whitehead E.V.1970. Hydrocarbons from fossil fuels and their relationship to living organism. *Journal of the Institute of Petroleum London* 56 ,27-137.
- [29] Venkatesan, M. I. (1989) Tetrahymanol: its widespread occurrence and geochemical significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 3095–101.
- [30] Ten Haven, H. L., Rohmer, M., Rullkötter, J. and Bisseret, P., 1989. Tetrahymanol, the most likely precursor of gammacerane, occurs ubiquitously in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 3073–9.
- [31] Ourisson, G., Rohmer, M. and Poralla, K., 1987. Prokaryotic hopanoids and other polyterpenoid sterol surrogates. *Annual Review of Microbiology* 41, 301–33.
- [32] Mallory, F. B., Gordon, J. T. and Conner, R. L., 1963. The isolation of a pentacyclic triterpenoid alcohol from a protozoan. *Journal of the American Chemical Society* 85, 1362–3.