

Karakteristik Geokimia Organik Fraksi Hidrokarbon Alifatik Batubara Sawahlunto, Cekungan Ombilin, Sumatra Barat

Januar Kholik, dan Yulfi Zetra

Departemen Kimia, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: januar.kholik@gmail.com

Abstrak—Batubara Sawahlunto, Sumatra Barat dianalisis untuk menentukan karakter geokimia organiknya melalui metode ekstraksi dan identifikasi sehingga dihasilkan fraksi hidrokarbon alifatik. Fraksi hidrokarbon alifatik kemudian dianalisis dan diidentifikasi strukturnya menggunakan Kromatografi Gas – Spektrometri Massa (KG-SM). Identifikasi struktur menunjukkan adanya distribusi *n*-alkana dan isoprenoid. Senyawa *n*-alkana terdistribusi unimodal mulai *n*-C₁₅ sampai *n*-C₃₃ dengan dominasi rantai panjang (>C₂₀) yang mengindikasikan senyawa organik batubara berasal dari tumbuhan tingkat tinggi. Rasio pristan terhadap fitana > 3 menunjukkan lingkungan pengendapan yang oksik. Kedua sampel memiliki nilai LHCPI < 1 menunjukkan bahan organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi. Kedua sampel memiliki nilai CPI > 1 menunjukkan batubara Sawahlunto belum matang. Hasil analisis kalori dengan Bomb Kalorimeter terhadap sampel batubara yang dianalisis menunjukkan sampel tergolong ke dalam peringkat sub-bituminous.

Kata Kunci—Batubara Sawahlunto, geokimia organik, biomarka alifatik, GC-MS.

I. PENDAHULUAN

BATUBARA merupakan salah satu sumber energi dunia terbesar. Material ini merupakan campuran yang sangat kompleks dari zat kimia organik yang mengandung karbon, hidrogen dan oksigen sebagai unsur utama, serta belerang dan nitrogen sebagai unsur tambahan. Kualitas dari batubara ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya tempat terdapatnya cekungan dan kandungan kontaminan yang terdapat pada batubara [1].

Batubara banyak digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik dan beberapa industri. Hampir 40% listrik di dunia dipasok menggunakan bahan bakar batubara. Beberapa negara yang memiliki ketergantungan terbesar terhadap batubara untuk kebutuhan listriknya diantaranya adalah Polandia 94%, Afrika Selatan 92%, China 77% dan Australia 76%. Beberapa tahun terakhir batubara menjadi sumber energi dengan pertumbuhan yang paling pesat dibandingkan dengan energi gas, minyak bumi, nuklir dan sumber energi terbarukan [2].

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki sumber daya batubara melimpah. Indonesia memiliki sekitar 60 cekungan yang tersebar di enam pulau besar, dan sebagian besar terdapat di Pulau Sumatra dan Pulau Kalimantan. Mengutip bahwa Indonesia memiliki sekitar 126 miliar ton batubara dengan cadangan sebesar 32 miliar ton batubara. Namun sebagian besar batubara Indonesia tergolong dalam

peringkat rendah-medium (lignit dan sub-bituminous), dengan kadar abu dan sulfur yang rendah [3].

Batubara Indonesia umumnya terbentuk pada masa Eocene Awal. Cekungan yang terbentuk pada masa tersebut diantaranya Cekungan Barito (Kalimantan Tengah), Upper Kutai (Kalimantan Timur), Ombilin (Sumatra Barat), Cekungan Sumatra Tengah (Riau), serta beberapa cekungan kecil yang tersebar di Pulau Jawa dan Pulau Sulawesi. Cekungan Ombilin terbentuk pada periode Paleogene yang terletak sekitar 100 km ke arah Timur Laut Kota Padang, Sumatra Barat, dengan luas 1200 km². Cekungan Ombilin dibagi menjadi beberapa formasi berdasarkan waktu pembentukannya, dari muda ke tua yaitu Formasi Ranau, Ombilin, Sawah Tambang, Sawahlunto, Sangkarewang, dan Brani [4].

Greve (1867) telah melakukan penelitian pertama tentang potensi batubara Sawahlunto yang diketahui memiliki nilai ekonomis. Tambang batubara Sawahlunto mulai dieksplorasi pada tahun 1982 dengan cadangan batubara sebanyak 200 juta ton batubara. Namun sejak Februari 2016 penambangan batubara yang sebelumnya dikelola oleh PT. Bukit Asam telah dihentikan, karena dianggap tidak ekonomis lagi. Akan tetapi sampai saat ini penambangan batubara di Sawahlunto tetap berjalan walaupun dengan sistem penambangan rakyat. Masih beroperasinya tambang batubara tersebut secara tradisional tentunya dikarenakan batubara tersebut masih memiliki karakteristik yang perlu untuk diketahui. Setiap batubara memiliki karakteristik yang berbeda, tergantung pada kualitas batubara dapat diidentifikasi berdasarkan struktur biomarka yang dihasilkan [5].

Biomarka yang terdapat dalam sedimen, batubara, dan minyak mentah merupakan senyawa kompleks yang mempunyai ciri khas tertentu sehingga dapat memberikan informasi tentang asal-usul senyawa, kematangan termal pada batuan sumber, kondisi lingkungan pengendapan dan umur batuan [6]. Parameter tersebut sangat berguna untuk membantu dalam proses eksplorasi bahan tambang melalui analisis biomarka. Analisis biomarka batubara dapat dilakukan terhadap fraksi hidrokarbon alifatik, aromatik, keton, alkohol, asam dan polar. Namun dalam tulisan ini hanya akan membahas biomarka fraksi hidrokarbon alifatik.

Identifikasi biomarka fraksi hidrokarbon alifatik telah banyak dilakukan, diantaranya: keberadaan *n*-alkana dengan dominasi C₂₁-C₃₃ henikosana, dokosana, trikosana, butakosana, pentakosana, heptakosana, heksakosana, oktakosana, nonakosana, triakontana, hentriakontana,

dotriakontana, dan tritriakontana menjelaskan bahwa senyawa organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi [7][8][9][10]. Dominasi senyawa diterpen dan triterpen menunjukkan bahwa senyawa tersebut berasal dari tanaman Gymnospermae dan Angiospermae, serta senyawa hopan menunjukkan adanya aktivitas mikroba pada proses pembentukan batubara [11]. Lingkungan pengendapan dapat dilihat dari distribusi senyawa pristana dan fitana yang berasal dari senyawa fitol yang terdapat pada klorofil [5][7][12]. Dominasi senyawa diterpen dan triterpen menunjukkan bahwa senyawa tersebut berasal dari tanaman Gymnospermae dan Angiospermae, serta senyawa hopan menunjukkan adanya aktivitas mikroba pada proses pembentukan batubara [10][11].

Analisis biomarka keton telah pernah dilakukan oleh Zetra (2017), demikian juga telah dilakukan analisis terhadap biomarka aromatic oleh Pratama (2017). Sejauh ini belum ada analisis biomarka terhadap fraksi hidrokarbon alifatik dari batubara Sawahlunto, Sumatra Barat, sehingga penelitian ini perlu untuk dilakukan.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik geokimia organik batubara Sawahlunto melalui analisis biomarka fraksi hidrokarbon alifatik.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Uji Nilai Kalori

Sebanyak 0,5 gram masing-masing sampel A dan sampel B batubara Sawahlunto yang telah ditumbuk halus dan di ayak berukuran 200 mesh dilakukan pengujian nilai kalori dengan menggunakan bomb calorimeter. Pengujian nilai kalori dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan – Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Hasil pengujian nilai kalori dapat digunakan untuk mengklasifikasi peringkat batubara yang dianalisis.

B. Ekstraksi Batubara

Masing-masing sampel batubara A dan B digiling halus hingga ukuran 200 mesh. Sebanyak 50 gram masing-masing sampel A dan sampel B dilakukan ekstraksi soklet dalam campuran pelarut aseton, metanol, dan kloroform dengan perbandingan volume 47% : 23% : 30% [7]. Hasil ekstrak yang diperoleh diuapkan pelarutnya untuk mendapatkan ekstrak pekat yang siap untuk difraksinasi.

C. Fraksinasi Ekstrak Batubara

Ekstrak pekat batubara sebanyak 500 mg dilarutkan dalam campuran pelarut kloroform dan methanol, selanjutnya difraksinasi berdasarkan metode kromatografi kolom, menggunakan silika gel G₂₅₄ sebagai fasa diam [13]. Sebagai fasa gerak (eluen) digunakan pelarut organik berdasarkan sistem gradient pelarut.

Ekstrak sampel batubara dipisahkan menjadi empat fraksi melalui kromatografi kolom dengan campuran n-heksana dan diklorometana sebagai eluen. Fraksi satu diperoleh dengan n-heksana sebagai eluen dan dipatkan eluat berwarna kuning. Fraksi dua diperoleh dengan eluen n-heksana : diklorometana (95:5 v/v), fraksi tiga diperoleh dengan eluen n-heksana : diklorometana (90:10 v/v), dan fraksi empat diperoleh dengan eluen n-heksana : diklorometana (40:60 v/v) yang kesemuanya didapatkan eluat berwarna jingga [7]. Setiap fraksi diuapkan pelarutnya dengan seperangkat rotary

evaporator vakum dan dipekatkan atau dikeringkan menggunakan aliran gas nitrogen. Selanjutnya disimpan dalam botol vial yang sebelumnya telah dikondisikan secara geokimia untuk analisis selanjutnya.

D. Identifikasi Biomarka dengan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (KG-SM)

Identifikasi biomarka dengan metode Kromatografi Gas – Spektroskopi massa (KG-SM) dilakukan sesuai kondisi operasional sebagai berikut: sampel dilarutkan dalam pelarut diklorometana, kemudian diambil sebanyak 1 μ L melalui *syringe* untuk disuntikan ke KG-SM Hewlett Packard 5890 Series II yang dilengkapi dengan kolom kombinasi silika dan film HP-5 30 m \times 0,25 mm \times 0,25 μ m. Gas pembawanya adalah helium dengan laju alir 1,2 mL/menit. Temperatur diprogram pada 70 $^{\circ}$ C (1 menit), 70 $^{\circ}$ C – 150 $^{\circ}$ C dengan laju 10 $^{\circ}$ C/menit, 150 $^{\circ}$ C – 180 $^{\circ}$ C dengan laju 1 $^{\circ}$ C/menit, 180 $^{\circ}$ C – 300 $^{\circ}$ C dengan laju 5 $^{\circ}$ C/menit, temperatur isothermal pada 300 $^{\circ}$ C selama 7 menit. Spektrometer massa dioperasikan pada Hewlett Packard 5972 Series Mass Selective Detector dengan energi electron 70 eV.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Klasifikasi Batubara Sawahlunto

Masing-masing sampel batubara Sawahlunto diuji nilai kalorinya menggunakan bomb kalori meter. Nilai kalori yang diperoleh dapat digunakan sebagai indikator peringkat kematangan batubara. Hasil uji menunjukkan nilai kalori dari masing-masing sampel yaitu sampel A sebesar 7472 kalori/gram dan sampel B sebesar 7731 kalori/gram. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa batubara Sawahlunto termasuk kedalam peringkat batubara sub-bituminous yakni batubara dengan kematangan medium [14].

B. Ekstraksi dan Fraksinasi Batubara

Ekstraksi yang dilakukan terhadap kedua sampel batubara, (Sampel A dan Sampel B) mendapatkan ekstrak organik total masing-masing sebanyak 3,6096 g (7,21%) dan 2,8263 g (5,65%). Fraksinasi yang dilakukan terhadap sampel batubara A diperoleh hasil berturut-turut fraksi A1 (37,5 mg), A2 (11 mg), A3 (4,7 mg), A4 (67,8 mg). Hasil fraksinasi sampel B diperoleh fraksi B1 (45,7 mg), B2 (4,7 mg), B3 (13,9 mg), B4 (60,8 mg). Fraksi A1,A2 dan B1,B2 diidentifikasi struktur biomarkanya menggunakan KG-SM.

C. Identifikasi Biomarka Hidrokarbon Alifatik

Identifikasi struktur biomarka terhadap fraksi hidrokarbon alifatik sampel A dan B tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kedua sampel menunjukkan adanya kelompok *n*-alkana, isoprenoid, dan pentasiklik hopana. Kelompok senyawa steroid tidak ditemukan dalam batubara Sawahlunto. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Aggayana (1996) pada batubara Periode Tersier Indonesia [15]. Tidak adanya senyawa steroid dalam batubara, karena komponen tersebut terlepas/tergabung bersama matriks terlarut selama proses diagenesis [16]. Senyawa steroid yang tidak terdapat dalam batubara, dimungkinkan juga karena ketiadaan/tidak berubahnya prekursor selama tahap diagenesis [17].

1) Biomarka *n*-Alkana

Keberadaan senyawa *n*-alkana diidentifikasi berdasarkan fragmentogram spesifik yaitu m/z 57. Distribusi senyawa *n*-alkana sampel A dan sampel B dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Identifikasi lebih lanjut dilakukan disetiap puncak pada fragmentogram m/z 57, sehingga diperoleh spektrum massa yang memberikan informasi adanya senyawa *n*-alkana. Spektrum tersebut dapat memberikan informasi untuk mengetahui senyawa pada setiap puncaknya. Spektrum massa untuk puncak *n*-alkana dimulai dari ion 57 sebagai puncak dasar, dan diikuti oleh penurunan intensitas puncak setiap penambahan 14 satuan, akibat dari perpanjangan gugus etilen ($-CH_2-$) [18].

Hasil interpretasi spektrum massa puncak *n*-C₂₀ yang menghasilkan fragmen m/z 57 (puncak dasar), 71, 85, 99, dan seterusnya, mengikuti pola yang linier hingga m/z 282 sebagai ion molekul. Hasil interpretasi spektrum massa tersebut mengindikasikan sebagai *n*-kosana (C₂₀H₄₂). Hal yang sama dilakukan pada setiap puncak sehingga dapat diketahui distribusi senyawa *n*-alkana berkisar pada rentang *n*-C₁₅-*n*-C₃₃ untuk sampel A, dan *n*-C₁₅-*n*-C₃₀ untuk sampel B. Senyawa *n*-alkana pada kedua sampel dapat dikategorikan menjadi dua yaitu, hidrokarbon rantai pendek (<20) dan hidrokarbon rantai panjang (>20). Hidrokarbon rantai pendek pada kedua sampel terindikasi dari *n*-C₁₅-*n*-C₂₀ dengan ketiadaan rantai *n*-C₁₇. Senyawa hidrokarbon rantai panjang terindikasi dari *n*-C₂₁-*n*-C₃₃ pada sampel A dan *n*-C₂₁-*n*-C₃₀ pada sampel B. Senyawa *n*-alkana dari kedua sampel memiliki distribusi unimodal. Amijaya dkk (2006) melaporkan bahwa pada batubara peringkat rendah memiliki distribusi senyawa *n*-alkana secara unimodal dengan puncak tertinggi pada C₂₇ [7].

Rasio hidrokarbon rantai pendek terhadap hidrokarbon rantai panjang (LHCPI) memberikan informasi terkait dominasi senyawa *n*-alkana. Nilai LHCPI kecil (<1) menunjukkan senyawa *n*-alkana didominasi oleh hidrokarbon rantai panjang, begitu juga sebaliknya jika nilai besar (>1) menunjukkan senyawa *n*-alkana didominasi oleh hidrokarbon rantai pendek. Kedua sampel batubara Sawahlunto memiliki nilai LHCPI yang kecil (<1) (Tabel 1), menunjukkan hidrokarbon rantai panjang lebih dominan dari hidrokarbon rantai pendek yang merupakan ciri dari batubara peringkat rendah yang belum matang [7][19]. Menurut Tissot dan Walte (1984), hidrokarbon rantai panjang menunjukkan bahwa sumber bahan organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi dari golongan gymnospermae dan angiospermae [20]. Tumbuhan tingkat tinggi golongan gymnospermae dan angiospermae ditemukan pada Zaman Tersier Akhir dan semakin berkembang pada Zaman Kuarterner [21]. Nilai CPI diperoleh dengan menghitung rasio luas puncak rantai karbon ganjil terhadap rantai karbon genap pada rentang C₂₄ sampai C₃₄ [22]. Beberapa peneliti mengamati bahwa sedimen yang belum matang memiliki nilai CPI tinggi (1,5). Laporan oleh Onojake (2015) dan El Nady dkk., (2014) mengatakan bahwa sedimen yang matang memiliki rentang nilai CPI antara 0,72-1,09. Nilai CPI pada kedua sampel batubara Sawahlunto diluar dari rentang tersebut, dimana sampel A memiliki nilai CPI 2,37 dan sampel B memiliki nilai CPI 1,75.

2) Biomarka Alkana Bercabang

Hasil analisa puncak lain berdasarkan fragmentogram m/z 57, menunjukkan adanya senyawa alkana bercabang mirip dengan senyawa *n*-alkana, tetapi adanya percabangan menimbulkan intensitas puncak-puncak fragmen tertentu [23][24]. Interpretasi dilakukan dengan elusidasi spektrum massa puncak pristana (Pr). **Gambar 3** menghasilkan ion molekuler m/z 268, yang merupakan ion molekul C₁₉H₄₀. Hasil interpretasi tersebut hampir sama dengan puncak *n*-C₁₉, namun untuk puncak *i*-C₁₉ memiliki ciri khas yaitu spektrum yang meningkat pada ion molekul 183 dikarenakan adanya percabangan, yang merupakan ciri khas dari spektrum massa isoprenoid. Isoprenoid pristana dan fitana secara umum berasal dari fitol yang merupakan rantai samping dari klorofil pada organisme fototropik, serta bakterioklorofil dalam bakteri sulfur ungu [7][10]. Keberadaan senyawa alkana bercabang dapat memberikan informasi bahwa sedimen mendapatkan masukan bahan organik yang berasal dari organisme fototropik [9][25]. Distribusi dari isoprenoid dapat menunjukkan karakteristik dari suatu sedimen. Senyawa pristana (C₁₉H₄₀) dan fitana (C₂₀H₄₂) yang terkandung dalam batubara Sawahlunto, mengindikasikan adanya masukan bahan organik yang berasal dari organisme fototropik.

Biomarka alkana bercabang juga memberikan informasi terkait dengan lingkungan pengendapan sedimen. Sampel dengan dominasi senyawa pristana (Pr/Ph>1) menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan sedimen bersifat oksik, sedangkan dominasi senyawa fitana (Pr/Ph<1) menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan sedimen bersifat anoksik [7][10][26]. Sampel A memiliki nilai rasio Pr/Ph sebesar 15,67, dan sampel B memiliki nilai rasio Pr/Ph sebesar 11,93. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua sampel batubara Sawahlunto mengalami pemendaman pada kondisi lingkungan yang sangat oksik.

3) Biomarka Hopana

Biomarka hopana dianalisa pada berdasarkan fragmentogram spesifik m/z 191, yang merupakan hasil pemusutan dari cincin A-B pada senyawa hopana [24]. Distribusi senyawa hopana dari sampel A batubara Sawahlunto, berada pada rentang antara C₂₈-C₃₁. Senyawa hopana pada sampel A masih didominasi oleh konfigurasi isomer 17 β (H),21 β (H). Distribusi senyawa hopana sampel B batubara Sawahlunto memiliki distribusi pada rentang antara C₂₉-C₃₁. Senyawa hopana sampel B menunjukkan adanya konfigurasi isomer 17 α (H),21 β (H). Keberadaan senyawa hopana pada rentang C₂₈-C₃₁ merupakan distribusi khas dari batubara peringkat rendah, ditambah dengan tidak ditemukannya puncak bisnorhopana pada kedua sampel tersebut tambah menguatkan kedua sampel masuk dalam batubara peringkat rendah [17][23].

Zetra (2016) melaporkan bahwa batubara yang terindikasi adanya senyawa hopana, mendapatkan masukan bahan organik yang berasal dari bakteri atau pakis dan lumut [10]. Senyawa homohopana juga menjadi rujukan bahwasanya sampel mendapat masukan bahan organik yang berasal dari bakteriohopanetetrol [27]. Lingkungan pengendapan juga dapat dilihat dari distribusi senyawa homohopana C₃₁, yang mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan sedimen bersifat oksik. Kedua sampel sama-sama ditemukan senyawa

homohopana, dimana kelimpahan senyawa tersebut pada sampel B lebih tinggi dibandingkan pada sampel A.

Senyawa hopana memiliki konfigurasi isomer yaitu $17\beta(H)$, $21\beta(H)$; $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ dan $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$. Konfigurasi isomer tersebut dapat dijadikan acuan sebagai penentu kematangan termal batubara, dimana konfigurasi $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ merupakan konfigurasi yang paling stabil, sehingga mengindikasikan batubara yang matang secara termal [28]. Bertambahnya kematangan batubara akan diikuti dengan meningkatnya senyawa hopana dengan konfigurasi $17\alpha(H)$, $21\beta(H)$ [7][29]. Keberadaan senyawa neohop-13(18)-ene dalam sampel batubara A, namun tidak ditemukannya senyawa tersebut dalam batubara B, mengindikasikan kematangan batubara A lebih rendah dari pada batubara B.

D. Aspek Geokimia Organik Batubara Sawahlunto

Analisa biomarka fraksi hidrokarbon alifatik terhadap batubara Sawahlunto menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara sampel batubara A dan B. Senyawa yang teridentifikasi meliputi *n*-alkana dengan rentang *n*-C₁₅-*n*-C₃₃ pada sampel A dan *n*-C₁₅-*n*-C₃₀ pada sampel B. Senyawa dengan puncak *n*-C₁₇ tidak ditemukan pada kedua sampel, namun kedua sampel juga menunjukkan tingginya kelimpahan pristan dibandingkan dengan fitana.

Analisa biomarka yang telah dilakukan pada kedua sampel batubara Sawahlunto, dapat memberikan informasi terkait sumber bahan organik, lingkungan pengendapan, tingkat kematangan termal dan peringkat batubara. Batubara Sawahlunto berasal dari bahan organik tanaman tingkat tinggi darat. Hal ini dapat diinterpretasi berdasarkan nilai LHCPI kurang dari satu, yang menunjukkan adanya dominan hidrokarbon rantai panjang [7]. Adanya input bakteri dalam batubara Sawahlunto juga ditunjukkan oleh keberadaan senyawa hopana yang berasal dari bakterihopane, serta keberadaan senyawa *n*-alkana rantai pendek (<20) [11][22].

Lingkungan pengendapan batubara Sawahlunto yang sangat oksik ditunjukkan oleh tingginya rasio Pr/Ph (> 3). Hasil perhitungan menunjukkan sampel A memiliki nilai Pr/Ph 15,67 dan pada sampel B memiliki nilai Pr/Ph 11,93, yang menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan batubara Sawahlunto berada pada kondisi sangat oksik [6][7][10]. Lingkungan pengendapan yang sangat oksik juga ditunjukkan oleh keberadaan senyawa homohopana pada kedua sampel, karena senyawa tersebut hasil dari yang dihasilkan melalui reaksi oksidasi dan dekarboksilasi dari bakterihopane [30].

Tingkat kematangan batubara Sawahlunto dapat dilihat dari nilai CPI pada kedua sampel dan gugus isomer dari senyawa hopana. Nilai CPI pada sampel A sebesar 2,38 sedangkan pada sampel B sebesar 1,75. Hasil ini menunjukkan peringkat batubara yang belum matang [31]. Kematangan yang rendah dari batubara A dan B yang dianalisis juga ditunjukkan oleh distribusi unimodal dari senyawa *n*-alkana. Seiring dengan peningkatan kematangan akan mengakibatkan perubahan distribusi *n*-alkana menjadi bimodal, sebagai akibat dari meningkatnya tekanan dan temperatur selama proses pemadaman [32]. Distribusi senyawa hopana sebagai indikator kematangan batubara hampir merata dan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua sampel A dan B, sehingga tidak dapat digunakan untuk pemetaan

kematangan batubara yang dianalisis. Namun kedua sampel menunjukkan adanya hopana dengan konfigurasi $17\beta(H)$, $21\beta(H)$, yang mengindikasikan kematangan batubara yang rendah [23][28].

Keberadaan senyawa hopana pada sampel A namun tidak ditemukan dalam sampel batubara B, mengindikasikan bahwa batubara A memiliki peringkat kematangan yang lebih rendah dibandingkan sampel B. Keberadaan senyawa hopana tak jenuh, mengindikasikan batubara yang belum matang [29].

IV. KESIMPULAN

Analisis biomarka fraksi hidrokarbon alifatik sampel A dan sampel B batubara Sawahlunto, Ombilin Basin memberikan informasi tentang komposisi senyawa yang terkandung. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam kedua sampel termasuk *n*-alkana, isoprenoid, dan senyawa hopana. Studi tentang biomarka menunjukkan bahwa sumber bahan organik berasal dari dominasi terestrial tumbuhan yang lebih tinggi yang merupakan vegetasi yang sangat menonjol di pulau Sumatera, dan adanya masukan bakteri. Hasil studi senyawa biomarka dapat memberikan informasi bahwa lingkungan pengendapan batubara Sawahlunto, Ombilin Basin berada dalam kondisi yang sangat lembek, dengan kematangan yang rendah. Hasil analisis kalori menunjukkan bahwa kedua sampel batubara Sawahlunto, Ombilin Basin, Sumatera Barat, termasuk dalam kelompok sub-bituminus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Arif, *Batubara Indonesia*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2014.
- [2] E. Pratama, "Karakteristik Geokimia Organik Fraksi Aromatik Batubara Sawahlunto, Cekungan Ombilin, Sumatra Barat," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [3] C. Stanford, *Coal resources, production and use in Indonesia*. In *D. Osborne, The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*. Queensland: Woodhead Publishing Limited, 2013.
- [4] T. Koesoemadinata, R., and Matasak, "Stratigraphy and sedimentation in the Ombilin Basin, Central Sumatra (west Sumatra Province)," in *Proceedings of 10th Annual Convention, Indonesian Petroleum Association*, 1981, pp. 217-249.
- [5] J. K. Volkman, "A Review of Sterol Markers for Marine and Terrigenous Organic Mater," *Org. Geochem.*, vol. 9, pp. 83-99, 1986.
- [6] J. Peters, K., Walters, C., and Moldowan, *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005.
- [7] R. Amijaya, H., Schwarzbauer, J., and Littke, "Organic geochemistry of the Lower Subancol seam, South Sumatra Basin, Indonesia: Palaeoecological and thermal metamorphism implication," *Org. Geochem.*, vol. 37, pp. 261-279, 2006.
- [8] R. Y. P. Burhan, J. M. Trendel, P. Adam, P. Wehrung, P. Albrecht, and A. Nissenbaum, "Fossil bacterial ecosystem at methane seeps: Origin of organic matter from Be'eri sulfur deposit, Israel," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 66, no. 23, pp. 4085-4101, Dec. 2002.
- [9] and S. Tuo, J., Wang, X., Chen, J., "Aliphatic and diterpenoid hydrocarbon and their individual carbon isotope composition in coal from the Liohe Basin, China," *Org. Geochem.*, vol. 34, pp. 1615-1625, 2003.
- [10] R. P. Zetra, Y., Sosrowidjojo, I. B., and Burhan, "Paleoenvironment of Brown Coal from Sangatta Coal Mines, East Borneo, Indonesia," *J. Teknol. (Sciences Eng.)*, vol. 78, no. 7, pp. 121-129, 2016.
- [11] V. Devic, G. J., and Zoran, "Biomarker and micropetrographic investigation of coal from the Krepoljin Brown Coal Basin Serbia," *Int. J. Coal Geol.*, pp. 48-59, 2013.
- [12] G. Romero-Sarmiento, M., Riboulleau, A., Vecoli, M., and Versteegh, "Aliphatic and aromatic biomarkers from Gondwanan sediments of Late Ordovician to Early Devonian age: An early terrestrialization approach," *Org. Geochem.*, vol. 42, pp. 605-617,

- 2011.
- [13] V. Schwarzbauer, J., Littke, R., and Weigelt, "Identification of specific organic contaminants for estimating the contribution of the Elbe river to the pollution of the German Bight," *Org. Geochem.*, vol. 31, pp. 1713–1731, 2000.
- [14] R. Orem, W., and Finkelman, "Coal Formation and Geochemistry. In K. Turekian, & H. Holland," *Treatise on Geochemistry*, pp. 207–232, 2013.
- [15] K. Anggayana, "Mikroskopische und organisch-geochemische Untersuchungen an Kohlen aus Indonesien," 1996.
- [16] F. Chaffee, A., Hoover, D., Johns, R., and Schweighardt, "Biological markers extractable from coal. In R. John," *Biol. Markers Sediment. Rec.*, pp. 311–345, 1986.
- [17] I. Lu, S., and Kaplan, "Diterpanes, triterpanes, steranes, and aromatic hydrocarbon in natural bitumens and pyrolysates from different humic coals," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 56, pp. 55–66, 1992.
- [18] S. Peters, K., and Moldowan, *The Biomarkers Guide Interpreting Molecular Fossil in Petroleum and Ancient Sediment*. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1993.
- [19] H. Littke, R., Luckge, A., and Wilkes, "Organic matter in Neogene sediments of the Southern Canary Channel, Canary Island," in *Proceedings of the ODP Scientific Results*, 1998, pp. 361–372.
- [20] D. Tissot, B., and Welte, *Petroleum formation and occurrence, second ed.* Berlin, 1984.
- [21] S. A. Stout, "Aliphatic and Aromatic Triterpenoid Hydrocarbon in Tertiary Angiospermous Lignite," *Org. Geochem.*, vol. 18, pp. 51–66, 1992.
- [22] E. D. Bray, E. E., and Evans, "Distribution of n-parafins as a clue to recognition of source beds," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 22, pp. 2–15, 1961.
- [23] R. P. Philp, *Fossil Fuel Biomarkers Application and Spectra*. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 1985.
- [24] R. P. Zetra, Y., Kusuma, H. S., Riandra, F., Sosrowidjojo, I. B., dan Burhan, "The Oxygenated Biomarker as an Indicator of Origin and Maturity of Miocene Brown Coal, Sangatta Coal Mines, East Kalimantan," *Indones. J. Geosci.*, vol. 5, no. 2, pp. 107–116, 2018.
- [25] J. W. Brooks, J. D., Gould, K., and Smith, "Isoprenoid Hydrocarbons in Coal and Petroleum," *Nature*, vol. 222, pp. 257–259, 1969.
- [26] G. Didyk, B., Simoneit, B., Brassels, S., and Eglinton, "Organic Geochemical Indicators of Palaeoenvironmental Conditions of Sedimentation," *Nature*, pp. 216–222, 1978.
- [27] and R. M. Orrison, G., Albrecht, P., "The hopanoids palaeochemistry and biochemistry of a group of natural products," *Pure Appl. Chem.*, vol. 51, pp. 702–729, 1979.
- [28] V. Killops, S., and Killops, *Introduction to Organic Geochemistry (Second edition)*. Carlton: Blackwell Publishing, 2005.
- [29] R. P. Zetra, Y., Amirotul, U., Nugraheni, Z. V., and Burhan, "Karakteristik Geokimia Organik Fraksi Keton Batubara Sawahlunto, Sumatra Barat," *Akta Kim.*, vol. 2, no. 1, pp. 79–87, 2017.
- [30] J. Dorselaer, A., Albrecht P, and Conan, "Changes in composition of polycyclic alkanes by thermal maturation (Yallourn Lignite, Australia). In R. Campos, & J. Goni," *Adv. Org. Geochemistry 1975*, pp. 53–59, 1977.
- [31] N. S. El Nady, M. M., Harb, F. M., & Mohammed, "Biomarkers characteristic of crude oils from Ashrafi and GH oilfields in the Gulf of Suez Egypt.," *Egypt. J. Pet.*, 2014.
- [32] S. C. George, "Effect of igneous intrusion on the organic geochemistry of a siltstone and an oil shale horizon in the Midland Valley of Scotland," *Org. Geochem.*, vol. 18, pp. 705–723, 1992.