

Biomarka sebagai Indikator Sumber Asal Usul Senyawa Organik Minyak Mentah Blok Cepu, Formasi Wonocolo, Bojonegoro, Jawa Timur

Aufa Fadhliah, Yulfi Zetra, Agus Wahyudi, dan Perry Burhan
Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yzetra@chem.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan kajian geokimia organik pada sampel minyak mentah Blok Cepu untuk mengetahui sumber asal-usul senyawa organiknya sebagai data pendukung proses reaktivasi sumur tua kawasan tersebut. Kajian geokimia organik dilakukan melalui analisa biomarka dengan metode ekstraksi, fraksinasi dan identifikasi struktur menggunakan instrumen Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM). Hasil identifikasi menunjukkan adanya distribusi bimodal pada *n*-alkana yang mengindikasikan senyawa organik pada sampel minyak Cepu tidak hanya berasal dari satu sumber. Hal tersebut didukung dengan keberadaan kelompok biomarka seskuiterpana (4 β (H)-eudesmana, drimana), sterana (trans-trans-trans-bikadinana, 5 α (H)-22-kolestena), hopanoid, derivat naftalena (1,2,5-TMN; 1,2,5,6-TeMN; 1,3,6,7-TeMN) serta aromatik triterpenoid pentasiklik sebagai indikator senyawa organik pada minyak Cepu berasal dari tumbuhan tingkat tinggi, bakteri, alga dan fitoplankton.

Kata Kunci—Alifatik, Aromatik, Biomarka, Blok Cepu, Minyak Mentah.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN akan energi, terutama minyak bumi di Indonesia meningkat setiap tahunnya mengikuti pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah. Minyak bumi diproyeksikan masih menjadi sumber energi utama di Indonesia, terutama di bidang transportasi, sebab penggunaan teknologi berbahan bakar minyak bumi masih lebih efisien dibanding peralatan lainnya [1]. Namun peningkatan akan kebutuhan tersebut tidak sebanding dengan produksi minyak dalam negeri yang setiap tahunnya menunjukkan kecenderungan menurun, mengakibatkan semakin meningkatnya ketergantungan akan impor [1-2]. Penurunan produksi minyak dalam negeri terjadi karena sudah tidak produktifnya sumur-sumur tua yang terdapat pada lapangan tambang minyak bumi, sementara produksi sumur baru masih terbatas [2]. Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan produksi minyak di Indonesia sendiri agar ketergantungan akan impor tidak semakin meningkat.

Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi minyak di Indonesia yaitu dengan melakukan eksplorasi sumur-sumur penghasil minyak namun memerlukan biaya yang cukup besar dan waktu yang cukup lama dalam pelaksanaannya [3]. Oleh karena itu, alternatif lain yang dapat dilakukan yaitu reaktivasi sumur-sumur tua yang sudah tidak produktif [4-5]. Terdapat banyak cekungan sumber minyak bumi yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi minyak tersebut, salah satunya terdapat pada Blok Cepu yang dikenal sudah menghasilkan minyak bumi sejak bertahun-

tahun yang lalu [6-8]. Kawasan ini dahulunya dikelola oleh perusahaan besar, namun telah ditinggalkan karena dianggap sudah tidak produktif lagi, sehingga saat ini masyarakat sekitar secara mandiri mengelola lokasi tambang minyak dan menghasilkan produksi minyak yang cukup optimal [6], [9]. Oleh sebab itu, lokasi tambang minyak Blok Cepu ini dianggap potensial untuk dilakukan reaktivasi.

Pelaksanaan reaktivasi sumur tua dapat berjalan optimal dengan melakukan kajian geokimia organik melalui analisa biomarka untuk mengetahui karakteristik geokimia organik dari minyak mentah [10-11]. Kerangka karbon pada biomarka masih dalam keadaan utuh atau hanya mengalami sedikit perubahan setelah melewati proses diagenesis dan katagenesis sehingga dapat memberikan gambaran mengenai sumber asal-usul senyawa organik pada minyak bumi [10], [12]. Pada cekungan Australia melaporkan keberadaan hidrokarbon alifatik (seperti *n*-alkana dan seskuiterpenoid) serta aromatik (seperti naftalena, kadalena, dan fenantrena) sebagai indikator sumber senyawa organik pada sedimen [13-14]. Oleh sebab itu, tulisan ini akan memaparkan hasil kajian geokimia organik melalui analisa biomarka sampel minyak bumi yang diambil dari sumur tua Blok Cepu, sebagai data tambahan dalam pelaksanaan reaktivasi disamping data geofisika yang telah lazim digunakan.

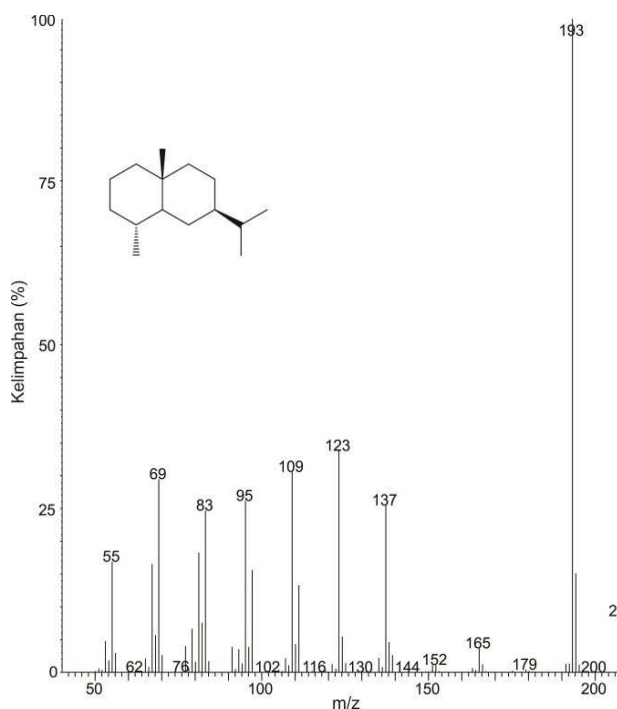
II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Ekstraksi Sampel

Sebanyak 50 mL sampel dipisahkan dari air yang kemungkinan masih terdapat di dalamnya dengan dikocok di dalam corong pisah hingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas berupa minyak diambil, sedangkan lapisan bawah berupa air dibuang. Sampel minyak bebas air sebanyak 2,0016 gram diambil, ditambahkan *n*-heksana berlebih dan dibiarkan pada temperatur kamar selama 48 jam (proses deaspalten) untuk memisahkan malten (filtrat) dan bitumen (endapan) [15]. Endapan yang terbentuk disaring, sedangkan malten atau ekstrak organik total (EOT) diambil untuk difraksinasi menggunakan kromatografi kolom.

B. Fraksinasi Sampel

Sebanyak 0,8057 gram EOT difraksinasi menjadi fraksi hidrokarbon aromatik, alifatik, dan polar secara kromatografi kolom dengan silika gel GF₂₅₄ ukuran pori 60 mesh untuk kromatografi kolom. Fraksinasi menggunakan eluen secara gradien pelarut, dimana fraksi hidrokarbon alifatik dielusi dengan pelarut *n*-heksana, fraksi hidrokarbon aromatik dengan diklorometana (DCM) dan fraksi polar dengan



Gambar 1. Spektrum massa dan struktur 4β(H)-eudesmana.

metanol [16-18]. Selanjutnya masing-masing hasil fraksinasi dievaporasi menggunakan *rotary evaporator vacuum* untuk menguapkan pelarutnya [5]. Fraksi hidrokarbon alifatik yang didapatkan dialiri gas nitrogen. Sedangkan fraksi hidrokarbon aromatik dilakukan desulfurisasi terlebih dahulu. Desulfurisasi dilakukan dengan melewati larutannya pada kolom kecil berisi serbuk Cu [19-20]. Hasil desulfurisasi kemudian dialiri gas nitrogen. Selanjutnya fraksi hidrokarbon alifatik dan aromatik diidentifikasi menggunakan instrumen Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (KG-SM) untuk mengetahui strukturnya.

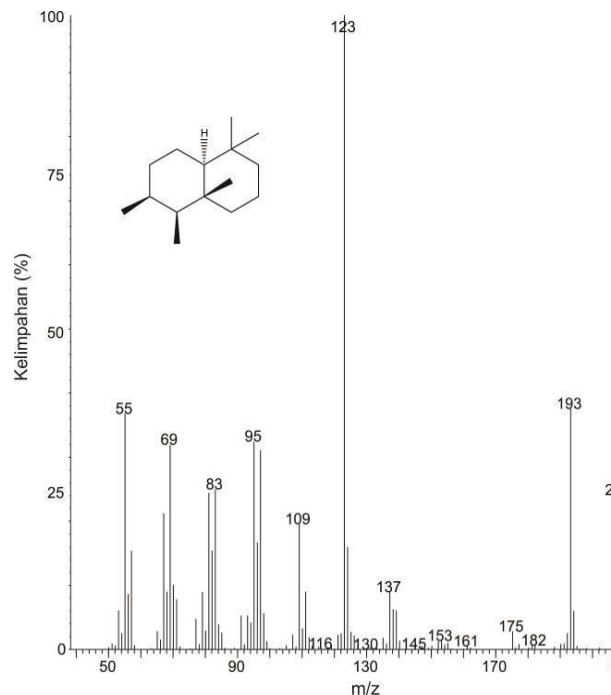
C. Identifikasi dengan KG-SM

Instrumen yang digunakan yaitu KG-SM Agilent GCMS D5975C dengan tipe kolom HP-5MS (60 μm x 250 μm x 0,33 μm) gas helium (He) sebagai gas pembawa. Kondisi operasional KG-SM yaitu suhu isothermal 70°C ditahan selama 1 menit, suhu dinaikkan menjadi 100°C dengan laju alir 10°C/menit, kemudian suhu dinaikkan kembali menjadi 180°C dengan laju kenaikan 1°C/menit, kemudian dinaikkan lagi hingga 315°C dengan laju kenaikan 5°C/menit. Suhu akhir isothermal 315°C dipertahankan 7 menit [18]. Data yang diperoleh diproses lebih lanjut dengan *Enhanced Chemstation software*. Puncak-puncak kromatogram diidentifikasi berdasarkan fragmentogram m/z spesifik, waktu retensi dan fragmentasi spektrum massa. Data yang diperoleh juga dibandingkan dengan hasil yang telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ekstraksi dan Fraksinasi

Ekstraksi terhadap sampel minyak Cepu dengan *n*-heksana berlebih didapatkan ekstrak organik total (EOT) sebanyak 2,4019 gram dan endapan bitumen sebanyak 0,1206 gram. Hasil fraksinasi terhadap EOT menggunakan metode kromatografi kolom diperoleh 0,695 gram fraksi hidrokarbon alifatik dan 0,2991 gram fraksi hidrokarbon aromatik.



Gambar 2. Spektrum massa dan struktur 8β(H)-drimana.

Masing-masing fraksi yang diperoleh, diidentifikasi menggunakan instrumen KG-SM untuk mengetahui struktur biomarkanya.

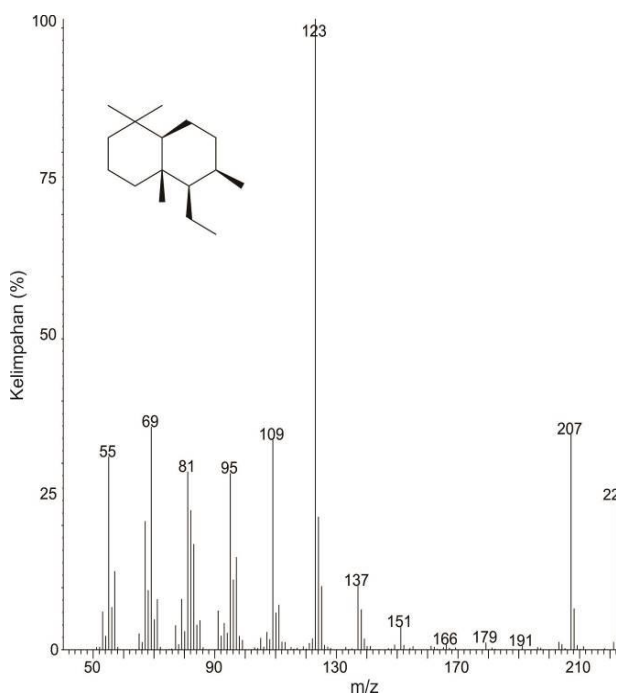
B. Hasil Identifikasi Biomarka

Identifikasi biomarka fraksi hidrokarbon alifatik dan aromatik dilakukan berdasarkan fragmentogram yang spesifik untuk masing-masing senyawa, fragmentasi molekul, dan perbandingan dengan spektrum massa yang telah dipublikasikan pada beberapa penelitian sebelumnya [5], [10], [13], [21-25]. Kelompok biomarka fraksi hidrokarbon alifatik yang teridentifikasi dalam sampel minyak Cepu diantaranya *n*-alkana, isoprenoid, seskuiterpana, triterpana pentasiklik, dan sterana. Sedangkan kelompok biomarka fraksi hidrokarbon aromatik yang teridentifikasi diantaranya derivat naftalena, derivat fenantrena, derivat bifenil, derivat krisena, senyawa aromatik heterosiklik, dan senyawa aromatik triterpenoid pentasiklik.

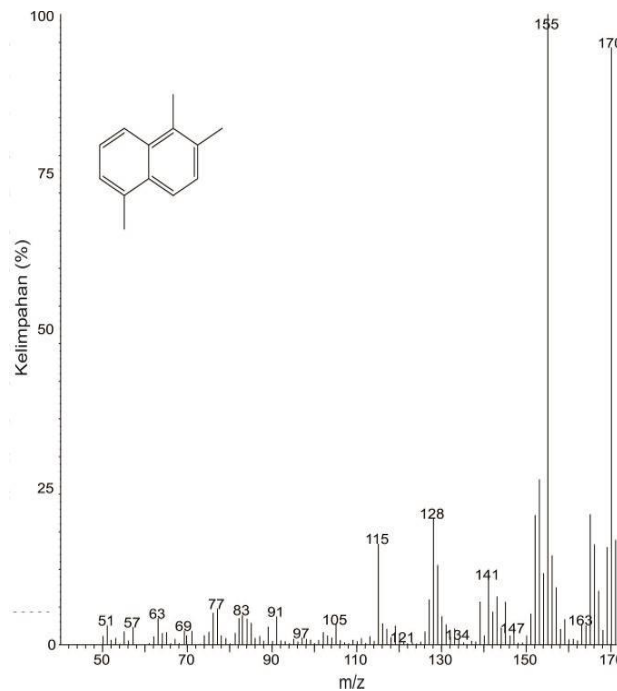
C. Biomarka Sebagai Indikator Sumber Senyawa Organik

Keberadaan biomarka dapat menunjukkan indikator sumber senyawa organik, sebab kerangka karbonnya yang masih dalam keadaan utuh atau hanya mengalami sedikit perubahan setelah melewati proses diagenesis dan katagenesis [10],[12]. Hasil identifikasi biomarka menunjukkan bahan organik sampel minyak Cepu berasal dari berbagai sumber, yaitu tumbuhan tingkat tinggi, bakteri, dan alga.

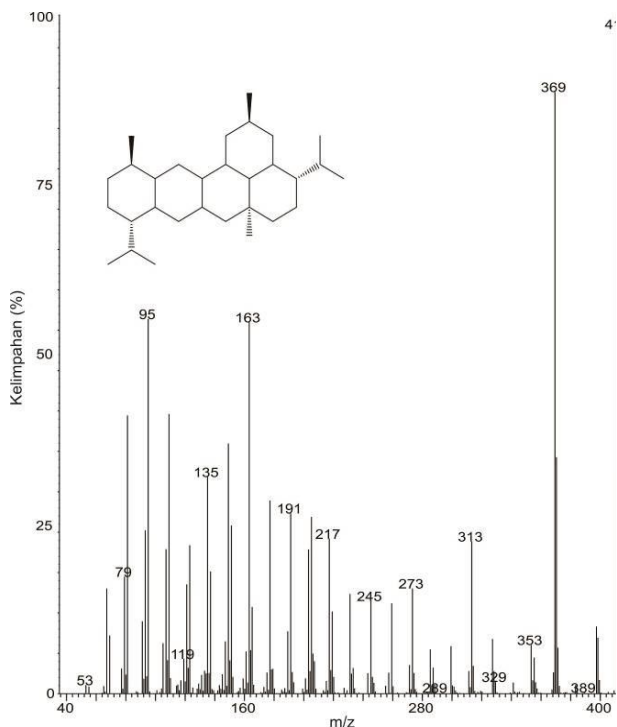
Sumber bahan organik dapat diketahui melalui distribusi *n*-alkana pada sampel minyak Cepu. Analisa biomarka *n*-alkana berdasarkan fragmentogram m/z 57 menunjukkan adanya distribusi bimodal yang mengindikasikan senyawa organik tidak hanya berasal dari satu sumber. Keberadaan *n*-alkana rantai pendek (< C₁₅) mengindikasikan senyawa organik berasal dari alga dan plankton [11], [23], [26]. Sedangkan keberadaan *n*-alkana rantai sedang (*n*-C₁₇-*n*-C₂₄) mengindikasikan adanya aktivitas bakteri pada lingkungan pengendapan purba minyak Cepu [11], [27]. Keberadaan *n*-alkana rantai panjang (C₂₅-C₃₅) menunjukkan senyawa



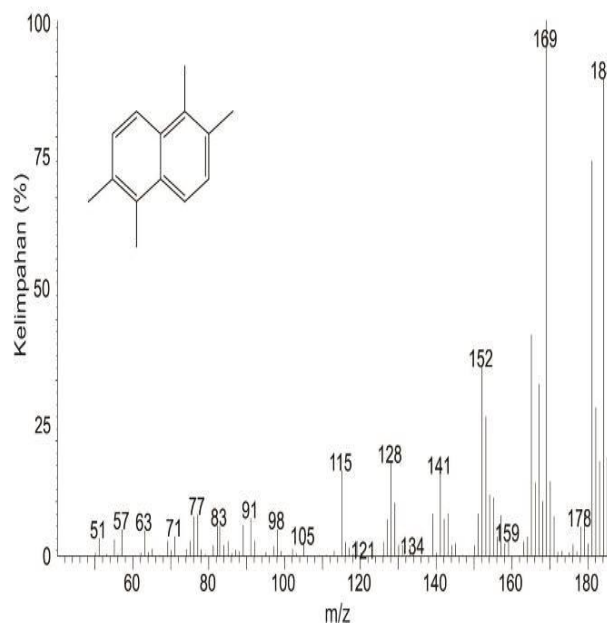
Gambar 3. Spektrum massa dan struktur 8β(H)-homodrimana.



Gambar 5. Spektrum massa dan struktur 1,2,5-TMN.



Gambar 4. Spektrum massa dan struktur trans-trans-trans-bikadinana.



Gambar 6. Spektrum massa dan struktur 1,2,5,6-TeMN.

fforganik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi terestrial [28], [29].

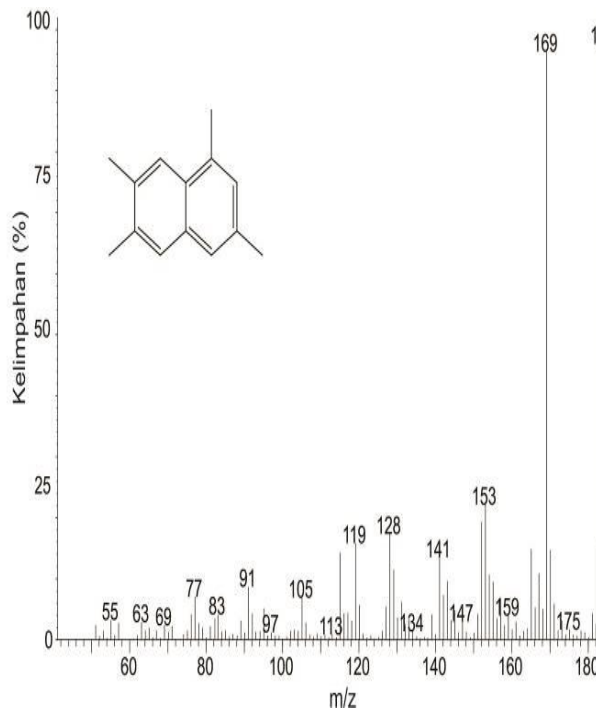
Kelompok biomarka seskuiterpana yang teridentifikasi berdasarkan fragmentogram m/z 123 juga dapat menjadi indikator sumber senyawa organik. Senyawa 4β(H)-eudesmana dengan spektrum massa seperti Gambar 1 merupakan turunan dari senyawa β-eudesmol yang terdapat pada tumbuhan tingkat tinggi, sehingga keberadaannya mengindikasikan senyawa organik yang berasal dari tumbuhan tingkat tinggi [13], [21], [25], [30]. Selain itu, keberadaan 8β(H)-drimana dan 8β(H)-homodrimana dengan spektrum massa seperti Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan adanya input bakteri dalam proses pembentukan senyawa organik [13], [25], [31].

Keberadaan senyawa hopanoid yang teridentifikasi berdasarkan m/z 191, yaitu 17α(H),21β(H)-hopana; 17β(H),21α(H)-hopana; 22S-17α(H),21β(H)-30homohopana; 22R-17α(H),21β(H)-30-homohopana; 22S-17α(H),21β(H)-30,31-bishomohopana; dan 22R-17α(H),21β(H)-30,31-bishomohopana dapat menunjukkan sumber asal-usul senyawa organik. Kelompok senyawa hopanoid dengan kelimpahan yang tertera pada Tabel 1 merupakan turunan dari prekursor bakteriohopanetetrol, sehingga keberadaannya mengindikasikan indikator bakteri sebagai sumber senyawa organik minyak [10], [21], [32-33].

Sumber senyawa organik juga dapat diketahui melalui keberadaan kelompok sterana yang diidentifikasi berdasarkan m/z 217. Senyawa trans-trans-trans-bikadinana dengan spektrum massa seperti Gambar 4 merupakan turunan

Tabel 1.
Kelimpahan senyawa hopanoid

Waktu Retensi (menit)	Nama Senyawa	Intensitas (%)
56.52	17 α (H),21 β (H)-Hopana	58.84
56.80	17 β (H),21 α (H)-Hopana	100
58.60	22S-17 α (H),21 β (H)-30-Homohopana	14.69
58.86	22R-17 α (H),21 β (H)-30-Homohopana	28.21
60.46	22S-17 α (H),21 β (H)-30,31-Bishomohopana	21.66
60.82	22R-17 α (H),21 β (H)-30,31-Bishomohopana	15.16

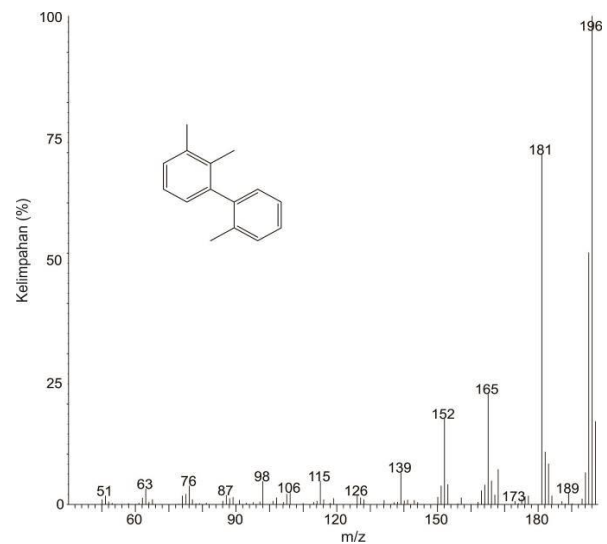


Gambar 7. Spektrum massa dan struktur 1,3,6,7-TeMN.

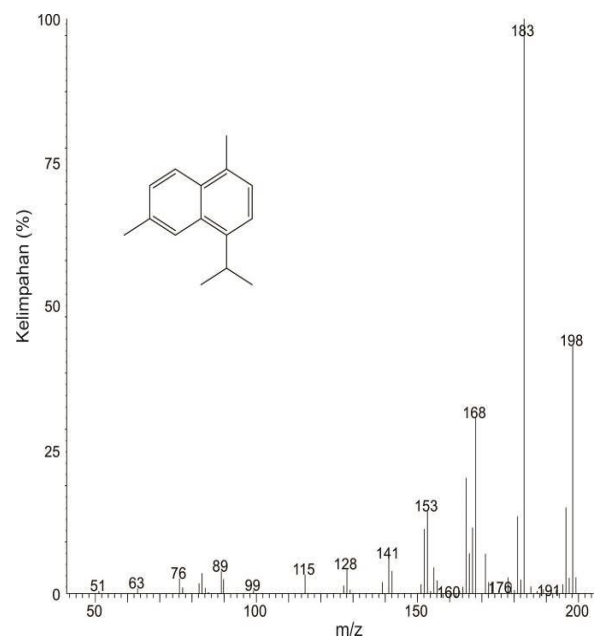
dari senyawa polikadinana, sehingga keberadaannya menjadi indikator senyawa organik yang berasal dari tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae [11], [34]. Selain itu, keberadaan C₂₇ sterana, yaitu 5 α (H)-22-kolestena mengindikasikan senyawa organik bersumber dari alga dan fitoplankton [35-36].

Beberapa biomarka fraksi hidrokarbon aromatik juga dapat menjadi indikator sumber senyawa organik. Keberadaan 1,2,5-TMN dan 1,2,5,6-TeMN dengan spektrum massa seperti Gambar 5 dan Gambar 6 mengindikasikan senyawa organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi terestrial sebab diturunkan dari prekursor β -amirin yang keberadaannya berlimpah dalam tumbuhan Angiospermae [26], [37]. Selain itu keberadaan 1,3,6,7-TeMN dan trimetilbifenil dengan spektrum massa seperti Gambar 7 dan Gambar 8 mengindikasikan input bakteri sebagai sumber senyawa organik minyak Cepu [22], [38].

Keberadaan senyawa kadalena dapat menjadi indikator sumber asal-usul senyawa organik pada minyak. Senyawa kadalena merupakan turunan dari senyawa kadinana dan kadinol yang terdapat pada tumbuhan terestrial [33], [37], [39]. Oleh sebab itu, ditemukannya kadalena dengan spektrum massa seperti Gambar 9 pada sampel minyak Cepu mengindikasikan senyawa organik yang bersumber dari tumbuhan terestrial.



Gambar 8. Spektrum massa dan struktur trimetilbifenil.

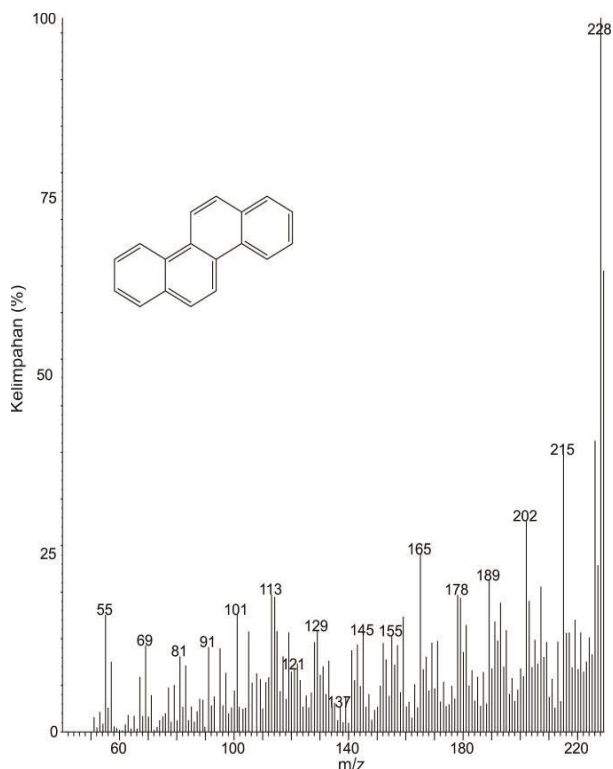


Gambar 9. Spektrum massa dan struktur kadalena.

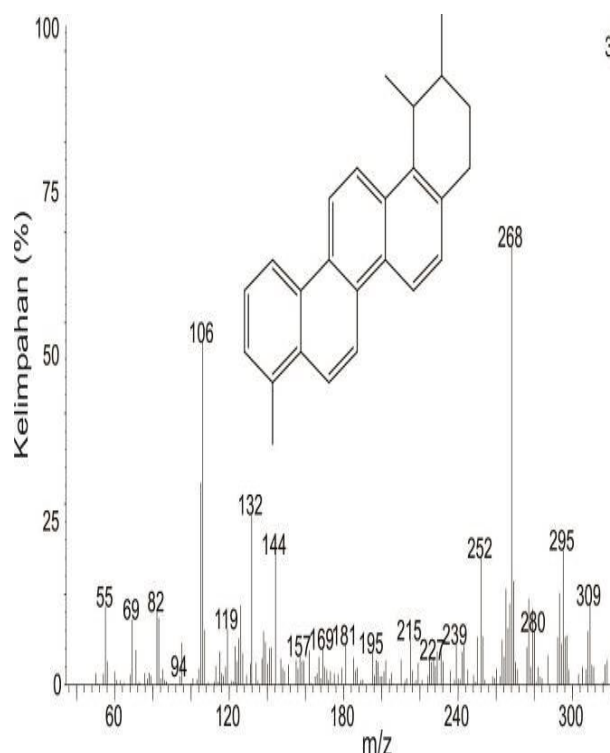
Keberadaan senyawa krisena pada sampel minyak Cepu dengan spektrum massa seperti Gambar 10 mengindikasikan senyawa organik yang berasal dari tumbuhan tingkat tinggi serta terdapat input bakteri dalam proses pembentukannya. Hal tersebut disebabkan karena senyawa krisena dihasilkan melalui reaksi degradasi mikrobial dengan prekursor α -amirin dan β -amirin yang keberadaannya berlimpah pada tumbuhan tingkat tinggi terestrial [40].

Input tumbuhan tingkat tinggi terestrial sebagai sumber senyawa organik minyak Cepu juga didukung oleh keberadaan kelompok senyawa poliaromatik triterpenoid pentasiklik, yaitu 2,2,4a,9-tetrametil-1,2,3,4,4a,5,6,14b-oktahidropisena dengan spektrum massa seperti Gambar 11 dan 1,2,9-trimetil-1,2,3,4-tetrahidropisena dengan spektrum massa seperti Gambar 12. Kedua senyawa tersebut merupakan senyawa yang spesifik terdapat pada tumbuhan tingkat tinggi Angiospermae sehingga keberadaannya mengindikasikan senyawa organik yang bersumber dari tumbuhan tingkat tinggi [33], [41].

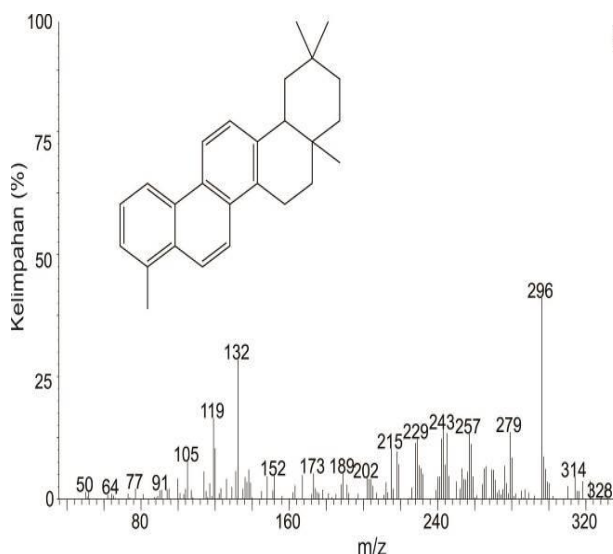
1,2,3,4,4a,5,6,14b-oktahidropisena



Gambar 10. Spektrum massa dan struktur krisena.



Gambar 12. Spektrum massa dan struktur 1,2,9-trimetil-1,2,3,4-tetrahidropisena.



Gambar 11. Spektrum massa dan struktur 2,2,4a,9-tetrametil.

IV. KESIMPULAN

Melalui analisa biomarka yang dilakukan pada penelitian ini, diketahui senyawa organik pada sampel minyak Cepu berasal dari berbagai sumber, yaitu tumbuhan tingkat tinggi terestrial, bakteri, plankton dan alga. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya distribusi bimodal dalam sebaran homolog n -alkana. Keberadaan biomarka $4\beta(H)$ -eudesmana; trans-trans-bikadinana; 1,2,5-TMN; 1,2,5,6-TeMN; dan aromatik triterpenoid pentasiklik menunjukkan senyawa organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi. Sedangkan keberadaan senyawa drimana, hopanoid, dan 1,3,6,7-TeMN mengindikasikan input bakteri pada senyawa organik sampel minyak Cepu, serta keberadaan $5\alpha(H)$ -22-kolestena (C_{27} sterana) menunjukkan senyawa organik bersumber dari alga dan fitoplankton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat (LPPM) ITS yang telah memberikan bantuan dana penelitian sehingga pelaksanaan penelitian berjalan dengan baik dan naskah ini dapat terselesaikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada penambang minyak Blok Cepu atas ketersediannya memberikan sampel, serta tim Laboratorium Geokimia Molekuler, Departemen Kimia, FSAD ITS atas fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sugiyono, "Outlook Energi Indonesia 2015-2035: Prospek Energi Baru Terbarukan," *J Energi Dan Lingkungan*, vol. 12, pp. 87-96, 2016.
- [2] Suharyati *et al.*, *Indonesia Energy Outlook 2019*, 1st ed. Jakarta: Secretary General of the National Energy Council, 2019.
- [3] A. Purwatingsih and others, "Eksplorasi dan eksploitasi pertambangan minyak dan gas bumi di Laut Natuna bagian utara Laut Yuridiksi Nasional untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat di Kepulauan Natuna," *Reformasi*, vol. 2, no. 2, 2012.
- [4] N. Soeparyono and P. G. Lennox, "Structural development of hydrocarbon traps in the Cepu oil fields, northeast Java, Indonesia," *J. Southeast Asian Earth Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 281-291, 1990.
- [5] R. Y. P. Burhan, Y. Zetra, P. Pusparatu, and Z. V. Nugraheni, "Upaya reproduksi sumur tua cekungan Wonocolo melalui karakterisasi geokimia organik," *Akta Kim. Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 1-14, 2019.
- [6] R. N. Naumi and T. Agus, "Pertambangan minyak tradisional di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro Tahun 1970-1987," *AVATARA, e-Journal Pendidik. Sej.*, vol. 3, no. 1, pp. 135-146, 2015.
- [7] S. Gunanto, "Optimalisasi pengelolaan sumur tua dalam rangka peningkatan produksi minyak nasional dan kesejahteraan masyarakat," *J. Miner. Energi, dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 16-25, 2017.
- [8] G. L. Sari, Y. Trihadiningrum, and N. Ni'matuzahroh, "Petroleum hydrocarbon pollution in soil and surface water by public oil fields in Wonocolo sub-district, Indonesia," *J. Ecol. Eng.*, vol. 19, no. 2, 2018.
- [9] E. Sharaf, J. A. Simo, A. R. Carroll, and M. Shields, "Stratigraphic evolution of oligocene; miocene carbonates and siliciclastics, East Java

- basin, Indonesia,” *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 89, no. 6, pp. 799–819, 2005.
- [10] S. D. Killops and V. J. Killops, *Introduction to Organic Geochemistry*, 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013.
- [11] K. E. Peters, K. E. Peters, C. C. Walters, and J. M. Moldowan, *The Biomarker Guide*, 2nd ed., vol. 1. London: Cambridge University Press, 2005.
- [12] D. W. Waples, *Geochemistry in Petroleum Exploration*, 1st ed. Netherlands: Springer Science & Business Media, 2013.
- [13] L. Jiang and S. C. George, “Biomarker signatures of Upper Cretaceous Latrobe Group hydrocarbon source rocks, Gippsland Basin, Australia: Distribution and palaeoenvironment significance of aliphatic hydrocarbons,” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 196, pp. 29–42, 2018.
- [14] L. Jiang and S. C. George, “Biomarker signatures of Upper Cretaceous Latrobe Group petroleum source rocks, Gippsland Basin, Australia: Distribution and geological significance of aromatic hydrocarbons,” *Org. Geochem.*, vol. 138, p. 103905, 2019.
- [15] H. Alboudwarej, J. Beck, W. Y. Svrcek, H. W. Yarranton, and K. Akbarzadeh, “Sensitivity of asphaltene properties to separation techniques,” *Energy & Fuels*, vol. 16, no. 2, pp. 462–469, 2002.
- [16] J. Pryček, M. Ciganek, and Z. Šimek, “Development of an analytical method for polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives,” *J. Chromatogr. A*, vol. 1030, no. 1–2, pp. 103–107, 2004.
- [17] T. Al Darouich, F. Behar, C. Largeau, and H. Budzinski, “Separation and characterisation of the C15-aromatic fraction of Safaniya crude oil,” *Oil Gas Sci. Technol.*, vol. 60, no. 4, pp. 681–695, 2005.
- [18] Y. Zetra, J. Kholik, R. Y. P. Burhan, A. Wahyudi, Z. V. Nugraheni, and E. M. M. Putri, “Organic geochemistry characteristic of aliphatic hydrocarbon fraction of Sawahlunto coal, Ombilin Basin, West Sumatra,” in *AIP Conference Proceedings*, 2018, vol. 2049, no. 1, p. 20018.
- [19] 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, 2002.
- [20] C. Huang, B. Chen, J. Zhang, Z. Liu, and Y. Li, “Desulfurization of gasoline by extraction with new ionic liquids,” *Energy & Fuels*, vol. 18, no. 6, pp. 1862–1864, 2004.
- [21] H. Amijaya and R. Littke, “Properties of thermally metamorphosed coal from Tanjung Enim Area, South Sumatra Basin, Indonesia with special reference to the coalification path of macerals,” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 66, no. 4, pp. 271–295, 2006.
- [22] M. Asif and T. Fazeelat, “Petroleum geochemistry of the Potwar Basin, Pakistan: II--Oil classification based on heterocyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons,” *Appl. geochemistry*, vol. 27, no. 8, pp. 1655–1665, 2012.
- [23] J. M. Fabiańska and S. Kurkiewicz, “Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the Neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turoszów Brown Coal Basins (Poland),” *Int. J. Coal Geol.*, vol. 107, pp. 24–44, 2013, doi: 10.1016/j.coal.2012.11.008.
- [24] J. Schwarzbauer, R. Littke, R. Meier, and H. Strauss, “Stable carbon isotope ratios of aliphatic biomarkers in Late Palaeozoic coals,” *Int. J. coal Geol.*, vol. 107, pp. 127–140, 2013.
- [25] L. Ji, C. He, M. Zhang, Y. Wu, and X. Li, “Bicyclic alkanes in source rocks of the triassic yanchang formation in the ordos basin and their inconsistency in oil-source correlation,” *Mar. Pet. Geol.*, vol. 72, pp. 359–373, 2016.
- [26] M.-F. Romero-Sarmiento, A. Riboulleau, M. Vecoli, and G. J.-M. Versteegh, “Aliphatic and aromatic biomarkers from gondwanan sediments of late ordovician to early devonian age: An early terrestrialization approach,” *Org. Geochem.*, vol. 42, no. 6, pp. 605–617, 2011.
- [27] Y. Zetra, I. B. Sosrowidjojo, and R. Y. P. Burhan, “Paleoenvironment of brown coal from sangatta coal mines, East Borneo, Indonesia,” *J. Teknol.*, vol. 78, no. 7, 2016.
- [28] K. E. Peters, “Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis,” *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 70, no. 3, pp. 318–329, 1986.
- [29] M. J. Fabiańska and D. Smółka-Danielowska, “Biomarker compounds in ash from coal combustion in domestic furnaces (Upper Silesia Coal Basin, Poland),” *Fuel*, vol. 102, pp. 333–344, 2012.
- [30] A. Tewari, S. Dutta, and T. Sarkar, “Biomarker signatures of Permian Gondwana coals from India and their palaeobotanical significance,” *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 468, pp. 414–426, 2017.
- [31] R. Y. P. Burhan, A. M. Chairacita, Y. Zetra, and E. Mutiara, “Biomarking study of aromatic hydrocarbon fraction crude oil Tarakan, North Kalimantan,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. B32--B38, 2019.
- [32] M.-F. Romero-Sarmiento, A. Riboulleau, M. Vecoli, and G. J. M. Versteegh, “Occurrence of retene in upper Silurian–lower Devonian sediments from North Africa: Origin and implications,” *Org. Geochem.*, vol. 41, no. 3, pp. 302–306, 2010.
- [33] Y. Zetra, I. B. Sosrowidjojo, and R. Y. P. Burhan, “Aromatic biomarker from brown coal, Sangatta Coalfield, East Borneo of Middle Miocene to Late Miocene age,” *J. Teknol.*, vol. 78, no. 6, p. 10, 2016.
- [34] B. G. K. Van Aarssen, J. K. C. Hessels, O. A. Abbink, and J. W. De Leeuw, “The occurrence of polycyclic sesqui-, tri-, and oligoterpenoids derived from a resinous polymeric cadinene in crude oils from southeast Asia,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 56, no. 3, pp. 1231–1246, 1992.
- [35] S. M. El-Sabagh, A. Y. El-Naggar, M. M. El Nady, M. A. Ebiad, A. M. Rashad, and E. S. Abdullah, “Distribution of triterpanes and steranes biomarkers as indication of organic matters input and depositional environments of crude oils of oilfields in Gulf of Suez, Egypt,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 969–977, 2018.
- [36] Q. Cheng, M. Zhang, and H. Li, “Anomalous distribution of steranes in deep lacustrine facies low maturity-maturity source rocks and oil of Funing formation in Subei Basin,” *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 181, p. 106190, 2019.
- [37] B. G. K. van Aarssen, R. Alexander, and R. I. Kagi, “Higher plant biomarkers reflect palaeovegetation changes during Jurassic times,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 64, no. 8, pp. 1417–1424, 2000.
- [38] R. Trolie, K. Grice, S. J. Fisher, R. Alexander, and R. I. Kagi, “Alkylbiphenyls and alkylidiphenylmethanes as indicators of petroleum biodegradation,” *Org. Geochem.*, vol. 30, no. 10, pp. 1241–1253, 1999.
- [39] Y. Hauteville, R. Michels, F. Malartre, and A. Trouiller, “Vascular plant biomarkers as proxies for palaeoflora and palaeoclimatic changes at the Dogger/Malm transition of the Paris Basin (France),” *Org. Geochem.*, vol. 37, no. 5, pp. 610–625, 2006.
- [40] H. Zhang, A. Kallimanis, A. I. Koukkou, and C. Drainas, “Isolation and characterization of novel bacteria degrading polycyclic aromatic hydrocarbons from polluted Greek soils,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 65, no. 1, pp. 124–131, 2004.
- [41] M. R. B. Loureiro and J. N. Cardoso, “Aromatic hydrocarbons in the Paraiba Valley oil shale,” *Org. Geochem.*, vol. 15, no. 4, pp. 351–359, 1990.