

**KARAKTERISASI *BIOMARKER* DAN PENENTUAN KEMATANGAN  
TERMAL MINYAK MENTAH (*CRUDE OIL*) DARI  
SUMUR MINYAK MINAS (OSM-1)**

R. Oktaviani<sup>1</sup>, E. M. Tamboesai<sup>2</sup>, A. Awaluddin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi S1 Kimia

<sup>2</sup>Bidang Anorganik Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Kampus Binawidya Pekanbaru, 28293, Indonesia

O\_girlz89@yahoo.com

**ABSTRACT**

The crude oil sample from Minas oil well (OSM-1) was fractionated by column chromatography into saturated and aromatic hydrocarbons as well as polar compounds. The saturated hydrocarbons were characterized using gas chromatography (GC) whereas aromatic hydrocarbons were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The biomarker compositions indicated that Minas crude oil was derived from a mixed organic matter source with the main contribution from higher plants (terrestrial), with mid wax content. It was also showed that Minas crude oil was deposited from lacustrine depositional environment under oxic conditions. The thermal maturity of Minas crude oil was determined by maturity parameters from aromatic hydrocarbons such as methylphenanthrene index (MPI) and vitrinite reflectance equivalent (VRE). The results indicated that the crude oil from Minas oil well (OSM-1) has values of MPI-1, MPI-2, MPI-3 and VRE of 0.82, 0.89, 1.02 and 0.89% respectively. These showed that Minas crude oil has high level of maturity.

Keywords: *Minas crude oil, methylphenanthrene index, thermal maturity.*

**ABSTRAK**

Sampel minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) difraksinasi dengan kolom kromatografi menjadi hidrokarbon saturat, aromatik dan senyawa polar. Hidrokarbon saturat dikarakterisasi dengan menggunakan kromatografi gas (GC) dan hidrokarbon aromatik ditentukan dengan menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS). Komposisi dari biomarker menunjukkan bahwa minyak mentah Minas berasal dari sumber material organik campuran dengan kontribusi utama berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (*terrestrial*), dengan kandungan lilin yang sedang. Hal ini juga menunjukkan bahwa minyak mentah Minas mengendap pada lingkungan pengendapan *lacustrine* pada kondisi oksidasi. Kematangan termal dari minyak mentah Minas ditentukan menggunakan parameter kematangan dari hidrokarbon aromatik seperti indeks metilphenantren (MPI) dan *vitrinite reflectance equivalent* (VRE). Hasil menunjukkan bahwa minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai MPI-1, MPI-

2, MPI-3 dan VRE sebesar 0,82, 0,89, 1,02 dan 0,89%. Hal ini menunjukkan bahwa minyak mentah Minas memiliki tingkat kematangan yang tinggi.

Kata kunci: minyak mentah Minas, indeks metilphenantren, kematangan termal.

## PENDAHULUAN

Minyak bumi memiliki peranan yang sangat besar sebagai sumber energi dan sumber devisa bagi negara. Namun, produksi minyak bumi yang semakin mengalami penurunan tidak bisa lagi memenuhi kebutuhan minyak bumi di Indonesia. Terjadinya penurunan jumlah produksi ini dikarenakan banyaknya sumur minyak yang sudah tidak berproduksi lagi (sumur tua) dan kurangnya kegiatan eksplorasi untuk mencari sumber minyak bumi baru. Oleh karena itu, untuk mengatasi krisis energi di Indonesia perlu dilakukan upaya eksplorasi untuk mencari sumber minyak bumi.

Didalam kegiatan eksplorasi minyak bumi, data kualitas minyak bumi terkait dengan asal sumber material organik, biodegradasi serta lingkungan pengendapannya hanya dapat diketahui melalui analisis geokimia sehingga tanpa analisis geokimia, informasi yang diperoleh masih dapat menyebabkan kegagalan dalam kegiatan eksplorasi minyak bumi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis geokimia sehingga diperoleh informasi yang dapat digunakan sebagai data pendukung eksplorasi minyak bumi (Peters dan Moldowan, 1993).

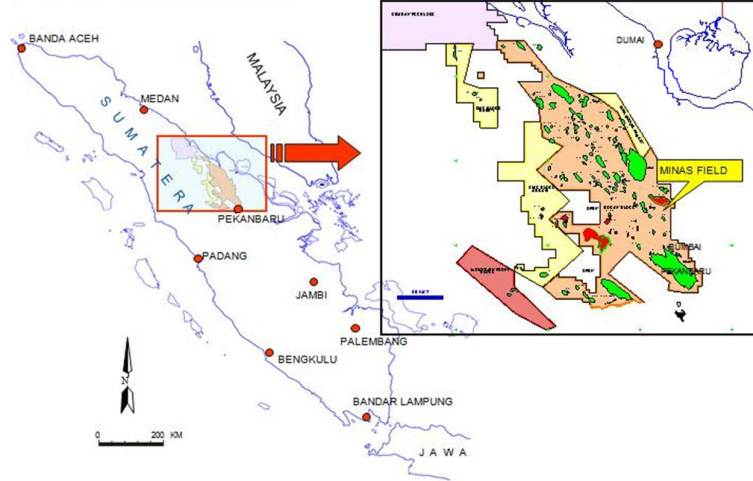
Selain informasi tentang asal usul minyak, analisis geokimia melalui senyawa *biomarker* juga dapat mengetahui kematangan termal dari minyak mentah. Kematangan termal merupakan tingkatan reaksi yang dipengaruhi panas yang mampu mengkonversi material organik sedimen menjadi minyak (Peters dan Moldowan, 1993). Kandungan *biomarker* yang menjadi parameter kematangan dalam sampel geologi dapat memberikan informasi matang tidaknya sampel tersebut sehingga menjadi bahan pertimbangan untuk dilakukannya eksploitasi minyak selama kegiatan eksplorasi minyak berlangsung (Stojanovic dkk., 2007).

Senyawa hidrokarbon aromatik dalam minyak mentah memiliki komponen yang lebih besar dan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan hidrokarbon alifatik pada tingkat kematangan yang tinggi, sehingga parameter kematangan yang berasal dari fraksi aromatik diketahui lebih efektif digunakan untuk evaluasi kematangan termal dari minyak mentah dibandingkan parameter kematangan yang berasal dari fraksi saturat (Radke dkk, 1982). Indeks metilphenantren (MPI) dan *vitrinit reflectance equivalent* (VRE) yang berasal dari fraksi aromatik dapat mengevaluasi kematangan termal minyak mentah dari pertengahan hingga akhir pembentukan *oil window* (Stojanovic dkk., 2007).

## METODE PENELITIAN

### a. Persiapan Sampel

Sampel minyak mentah yang diambil dari sumur minyak Minas (OSM-1), disimpan dibawah suhu 5° C sebelum dilakukan analisis. Peta lokasi sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi ladang minyak Minas

**b. Analisis *Whole Oil* (Tamboesai, 2002)**

Sampel minyak dari sumur minyak Minas (OSM-1) sebanyak 2 g diekstrak dengan menggunakan 3 ml diklorometana untuk mendapatkan minyak mentah dari sampel tersebut. Kemudian sampel *disentrifuse* selama 15 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Dilakukan dua kali pengekstrakan dan hasilnya digabungkan. Selanjutnya sampel dianalisis dengan kromatografi gas (GC) dengan detektor FID.

**c. Fraksinasi *Crude Oil* (Zakaria, dkk., 2000)**

Pada penelitian ini dilakukan dua kali fraksinasi dengan menggunakan kolom kromatografi. Fraksinasi pertama untuk memisahkan senyawa-senyawa polar, sampel minyak mentah dielusi dengan 20 mL n-heksana, eluat kemudian di *waterbath* sehingga didapatkan ekstrak. Fraksinasi kedua untuk memisahkan fraksi saturat dan aromatik. Ekstrak hasil fraksinasi I dielusi dengan 8 ml n-heksana hingga diperoleh fraksi saturat kemudian ekstrak dielusi kembali dengan 14 ml n-heksana/DCM (3:1 v/v) dan diperoleh fraksi aromatik. Selanjutnya fraksi saturat dianalisis menggunakan kromatografi gas (GC) dengan detektor FID dan fraksi aromatik dianalisis dengan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS).

**d. Karakterisasi *Biomarker* Fraksi Saturat**

Sampel minyak mentah fraksi saturat dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas (GC) Shimadzu QP 2010 ULTRA dilengkapi dengan Kolom kapiler *fused silica* Rtx-5 dengan panjang kolom = 30 m, diameter kolom = 0,25 mm, ketebalan film = 0,25  $\mu$ m. Gas pembawa yang digunakan yaitu gas helium. Sampel diinjeksikan menggunakan *column injector* sebanyak 0,2  $\mu$ L, dengan temperatur *inlet* 270 °C, detektor yang digunakan yaitu detektor FID yang suhunya dipertahankan pada 330 °C. Temperatur awal dari oven adalah 60 °C dipertahankan selama 2 menit, lalu suhu dinaikkan bertahap, dengan kenaikan 3 °C/menit hingga suhu 320 °C.

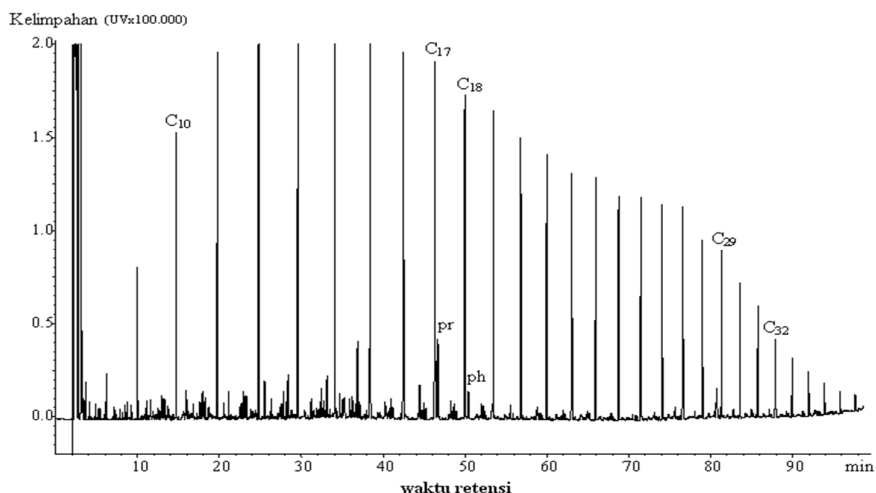
#### e. Karakterisasi *Biomarker* Fraksi Aromat

Sampel minyak mentah fraksi aromatis dianalisis dengan menggunakan kromatografi gas (GC) HP Series 6890 yang diaplikasikan dengan detektor spektroskopi massa (MSD) HP 7683-SIM Mode. Kolom kapiler *fused silica* dengan tipe BPX-35 dengan panjang kolom = 30 m, diameter kolom = 0,25 mm, ketebalan film = 0,1  $\mu\text{m}$ . Gas pembawa yang digunakan yaitu gas helium dengan kecepatan alir 1 mL/menit. Sampel diinjeksikan sebanyak 0,2  $\mu\text{L}$  menggunakan *column injector*, dengan temperatur *inlet* 270 °C, detektor yang digunakan yaitu detektor MSD yang suhunya dipertahankan pada 300 °C. Temperatur awal dari oven adalah 70 °C dipertahankan selama 3 menit, lalu suhu dinaikkan bertahap, dengan kenaikan 3 °C/menit hingga suhu 310 °C. Spektrometer massa dioperasikan dengan energi elektron 70 eV, temperatur ion sumber sebesar 250 °C dan temperatur pemisahan sebesar 250 °C. Identifikasi phenanthren dan metilphenanthren pada fragmentogram ion  $m/z$  178 dan 192.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Penentuan Asal Sumber Material Organik

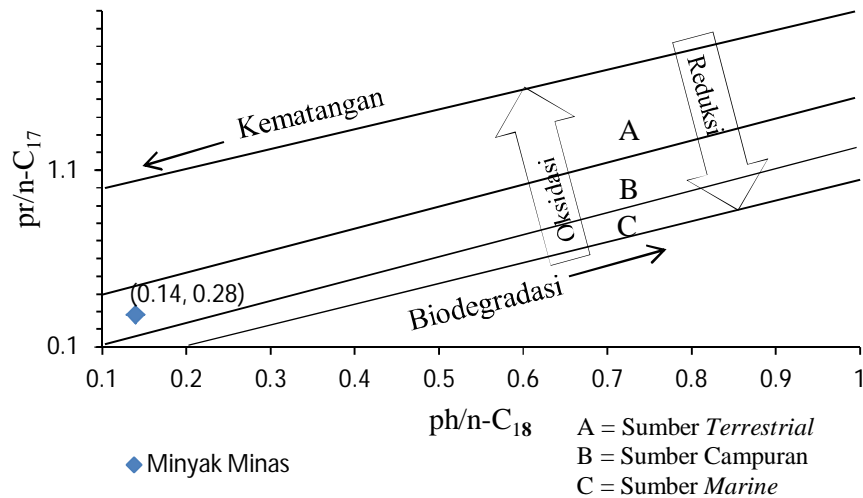
Asal sumber material organik pada minyak mentah dapat diketahui dengan analisis geokimia menggunakan distribusi n-alkana yang terdapat pada fraksi saturat minyak mentah. Selain itu, informasi tentang biodegradasi, kematangan dan sumber material organik dapat juga diperoleh dengan menganalisis fraksi saturat minyak mentah menggunakan parameter rasio isoprenoid/n-alkana ( $pr/n-C_{17}$  dan  $ph/n-C_{18}$ ), meningkatnya kematangan akan menghasilkan rasio  $pr/n-C_{17}$  dan  $ph/n-C_{18}$  yang rendah (Connan dan Cassou, 1980; Waples, 1985).



Gambar 2. Kromatogram gas fraksi saturat dari sumur minyak Minas (OSM-1)

Berdasarkan hasil analisis, distribusi n-alkana pada minyak mentah Minas didominasi oleh n-alkana dari n-C<sub>10</sub> hingga n-C<sub>27</sub> (Gambar 2). Minyak mentah Minas juga memiliki nilai rasio  $pr/n-C_{17}$  dan  $ph/n-C_{18}$  yang rendah yaitu masing-masing sebesar 0,28 dan 0,14 (Tabel 1). Pada Gambar 3. minyak mentah dari sumur minyak

Minas (OSM-1) berada pada zona B, hal ini menunjukkan bahwa minyak mentah Minas berasal dari sumber material organik campuran (darat dan laut) dengan kontribusi utama berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (*terrestrial*) yang mengalami biodegradasi dengan meningkatnya kematangan. Dari Gambar 3, juga terlihat bahwa minyak mentah Minas mengendap pada kondisi oksidasi (Peters dan Moldowan, 1993).



Gambar 3. Perbandingan rasio  $ph/n-C_{18}$  dengan rasio  $pr/n-C_{17}$  pada minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

Tabel 1. Parameter geokimia minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

Parameter geokimia	Minyak mentah Minas (OSM-1)
CPI	1.07
Waxiness	1.11
Pr/n-C <sub>17</sub>	0,28
Ph/n-C <sub>18</sub>	0,14
Pr/Ph	2,26
DBT/PH	0,10
MPI-1	0,82
MPI-2	0,89
MPI-3	1,02
VRE (%)	0,89

Ket.  $CPI = 2(C_{23}+C_{25}+ C_{27}+ C_{29})/\{ C_{25}+2 (C_{24}+ C_{26}+C_{28})+ C_{30}\}$

$Waxiness = \Sigma C_{21}-C_{31}/\Sigma C_{15}-C_{20}$

$MPI-1 = 1,5(2\text{-metilphenantren}+3\text{-metilphenantren}) / \text{Phenantren} + 1\text{-metilphenantren} + 9\text{-metilphenantren}$

$MPI-2 = 3 (2\text{-metilphenantren})/\text{phenantren} + 1\text{-metil phenantren} + 9 \text{ metilphenantren}$

$MPI-3 = 2\text{-metilphenantren} + 3\text{-metilphenantren} / 1\text{-metilphenantren} + 9\text{-metilphenantren}$

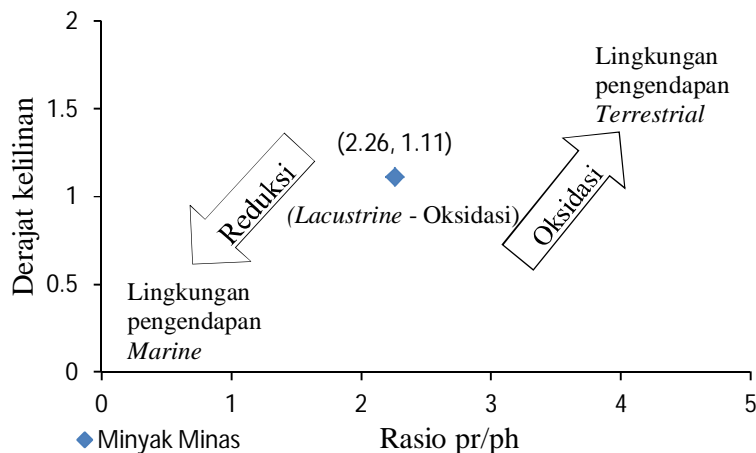
$VRE = 0,6 (MPI-1) + 0,40$

## 2. Penentuan Derajat Kelilinan

Derajat kelilinan (*waxiness*) digunakan untuk mengukur kandungan lilin dan lingkungan pengendapan minyak mentah (Connan dan Cassou, 1980). Derajat kelilinan (*waxiness*)  $< 1$  menunjukkan rendahnya kandungan lilin dan sumber organik yang berasal dari laut (*marine*) terutama berasal dari tumbuhan tingkat tinggi yang tersimpan pada kondisi reduksi, sedangkan derajat kelilinan (*waxiness*)  $> 1$  menunjukkan bahwa sumber organik berasal dari tumbuhan tingkat tinggi/ *terrestrial* (Peters dan Moldowan, 1993). Berdasarkan hasil analisis, minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai derajat kelilinan sebesar 1,11 (Tabel 1) yang menunjukkan bahwa minyak mentah Minas memiliki kandungan lilin yang sedang, hal ini dikarenakan kontribusi utama sumber material organik minyak mentah Minas berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (*terrestrial*).

## 3. Penentuan Lingkungan Pengendapan

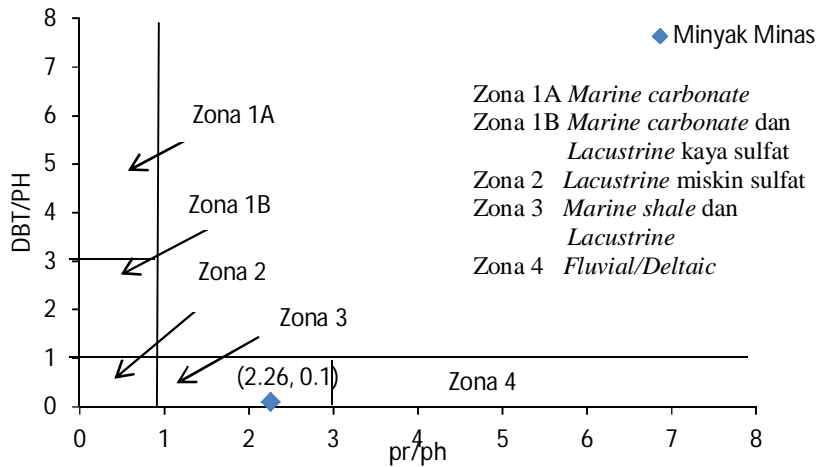
Informasi tentang lingkungan pengendapan pada minyak mentah dapat diperoleh dengan melakukan analisis geokimia, yaitu dengan menggunakan parameter rasio pristana/fitana (pr/ph) pada fraksi saturat dan rasio dibenzothiophen/phenantren (DBT/PH) yang terdapat pada fraksi aromatik minyak mentah. Rasio pr/ph merupakan parameter yang paling umum digunakan dalam korelasi minyak bumi dan dapat juga digunakan sebagai indikator lingkungan pengendapan (Didyk dkk., 1978). Rasio pr/ph yang sangat tinggi ( $>3$ ) mengindikasikan minyak berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (*terrestrial*), nilai rasio pr/ph antara 1 dan 3 mengindikasikan lingkungan pengendapan *lacustrine* dalam keadaan oksidasi, sedangkan nilai rasio pr/ph yang rendah ( $<1$ ) mengindikasikan minyak berasal dari lingkungan laut (*marine*) karbonat (Powell dan McKirdy, 1973).



Gambar 4. Perbandingan antara rasio pr/ph dengan derajat kelilinan pada minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

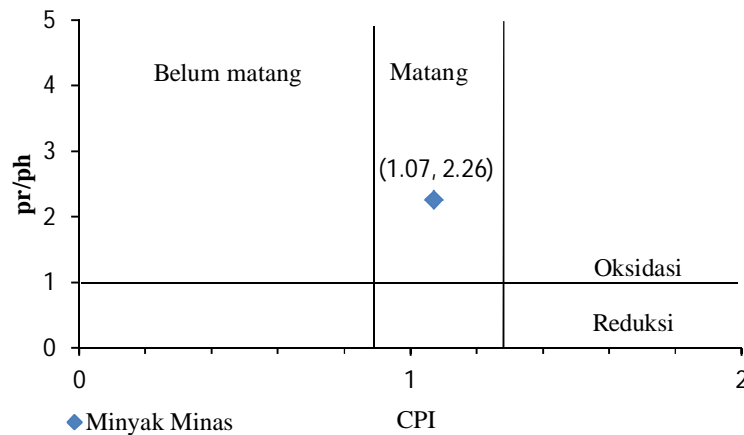
Berdasarkan hasil analisis, minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai rasio pr/ph yaitu sebesar 2,26 dan nilai rasio DBT/PH sebesar 0,10 (Tabel 1). Dari Gambar 4. perbandingan antara rasio pr/ph dengan derajat kelilinan serta Gambar 5. perbandingan antara rasio pr/ph pada fraksi saturat dengan rasio DBT/PH

pada fraksi aromatik, menunjukkan bahwa minyak mentah Minas mengendap pada lingkungan pengendapan *lacustrine* pada kondisi oksidasi.



Gambar 5. Perbandingan rasio  $pr/ph$  dengan  $DBT/PH$  pada minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

#### 4. Penentuan Kematangan Termal

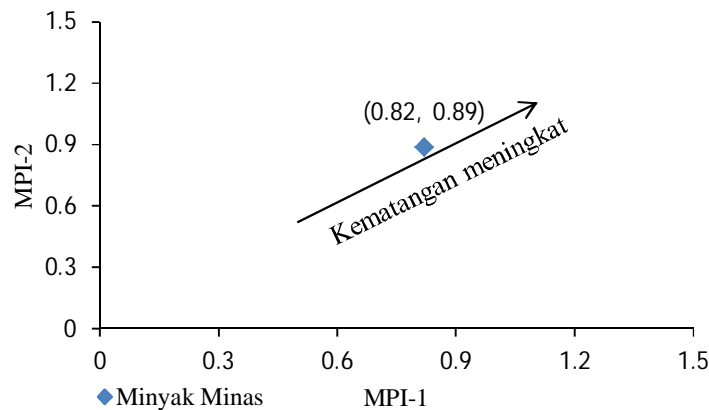


Gambar 6. Perbandingan antara CPI dengan rasio  $pr/ph$  pada minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

Salah satu parameter kematangan termal yaitu indeks preferensi karbon (CPI) yang terdapat pada fraksi saturat minyak mentah dan memiliki range nilai antara 0,99 hingga 1,07. CPI merupakan perbandingan yang diperoleh dengan membandingkan jumlah karbon berangka ganjil dengan jumlah karbon berangka genap dalam alkana (Tissot dan Welte, 1984). Berdasarkan hasil analisis, minyak mentah Minas memiliki nilai CPI sebesar 1,07 (Table 1). Pada Gambar 6. perbandingan antara CPI dengan rasio  $pr/ph$ , terlihat bahwa minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) merupakan minyak yang telah matang dan mengendap pada kondisi oksidasi.

Selain parameter kematangan yang berasal dari fraksi saturat, kematangan termal suatu minyak mentah dapat juga diketahui dengan analisis parameter kematangan yang berasal dari fraksi aromatik. Senyawa hidrokarbon aromatik memiliki komponen yang lebih besar dan konsentrasi yang tinggi dibandingkan hidrokarbon alifatik pada tingkat kematangan yang tinggi, sehingga parameter kematangan yang berasal dari fraksi aromatik diketahui lebih efektif digunakan untuk evaluasi kematangan termal dari batuan sumber dan minyak mentah dibandingkan parameter kematangan fraksi saturat (Radke dkk, 1982). Salah satu parameter kematangan dari fraksi aromatik yaitu indeks metilphenantren. Indeks metilphenantren (MPI) yang dikembangkan oleh Radke dan Walte (1983) ini didasarkan pada distribusi phenantren dan tiga atau empat metil homolog yang menunjukkan perubahan yang progresif selama kematangan. Terdapat tiga parameter kematangan berdasarkan indeks metilphenantren yaitu MPI-1, MPI-2, MPI-3. Dari nilai MPI-1 juga dapat diperoleh nilai VRE yang digunakan untuk menentukan kematangan termal minyak mentah.

Berdasarkan hasil analisis, minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai MPI-1 dan MPI-2 masing-masing sebesar 0,82 dan 0,89 (Tabel 1). Nilai dari MPI-2 lebih tinggi dibanding MPI-1, hal ini dikarenakan perbedaan 2-metilphenantren yang sedikit lebih unggul dibandingkan dengan 3-metilphenanthren yang pada umumnya terdapat pada distribusi metilphenanthren. Oleh karena itu, parameter MPI-2 digunakan sebagai kontrol atau sebagai substitusi untuk MPI-1 (Sonibare dkk., 2008; Okiongbo, 2011).



Gambar 7. Perbandingan nilai MPI-1 dengan nilai MPI-2 pada minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1)

Pada Gambar 7. perbandingan antara nilai MPI-1 dengan nilai MPI-2, terlihat bahwa minyak mentah Minas telah matang. Dari nilai MPI-1 ini dapat juga diketahui nilai persen *vitrinite reflectance equivalent* (VRE). *Vitrinite reflectance* adalah ukuran kemampuan kerogen dalam memantulkan cahaya (Radke dan Walte, 1983). Selain parameter MPI-1 dan MPI-2, dan VRE, parameter MPI-3 juga dapat digunakan untuk menentukan kematangan minyak mentah secara langsung dengan tingkat kematangan yang berbeda (Angelin dkk, 1983; Radke, 1987; Stojanovic dkk., 2007). Minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai VRE dan MPI-3 sebesar 0,89% dan



1,02 (Tabel 1). Berdasarkan nilai VRE dan MPI-3 yang diperoleh, maka minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki tingkat kematangan yang tinggi (Tabel 2).

Tabel 2. Tingkat kematangan minyak mentah berdasarkan nilai VRE dan MPI-3

Tingkat kematangan minyak mentah	VRE (%)	MPI-3
Rendah	0,6 – 0,8	< 0,8
Sedang	0,8 – 1,0	0,8 – 1,0
Tinggi	1,0 – 1,3	> 1,0

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) berasal dari sumber material organik campuran dengan kontribusi utama berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (*terrestrial*) dengan kandungan lilin yang sedang dan mengendap pada lingkungan pengendapan *lacustrine* pada kondisi oksidasi. Minyak mentah dari sumur minyak Minas (OSM-1) memiliki nilai MPI-3 dan VRE sebesar 1,02 dan 0,89% yang menunjukkan bahwa minyak mentah Minas memiliki tingkat kematangan yang tinggi.

Untuk memperoleh hasil yang optimal, penulis menyarankan untuk dilakukannya analisis jalur migrasi dari minyak mentah, sehingga informasi tersebut dapat digunakan sebagai data pendukung dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Emrizal M. Tamboesai, M.Si, M.H dan Bapak Prof. Dr. Amir Awaluddin, M.Sc yang telah sabar membimbing saya dalam penelitian ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Sofia Anita, M.Sc serta kepada Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau yang telah memberikan saran dan masukan demi kesempurnaan penulisan karya ilmiah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Angelin, M.L., Collignan, A., Bellocq, J. 1983. Investigation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Source Rock Bitumens and Petroleums by High Pressure Liquid Chromatography. *Comptes Rendus de l' Academie des Sciences Paris, Series II*. 296: 705-708
- Connan, J. dan Cassou, A.M. 1980. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 44: 1-23

- Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassell, S.C., dan Eglinton, G. 1978. Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*. 272: 216-222
- Okiongbo, K.S. 2011. Maturity Assessment and Characterisation of Jurassic Crude Oils. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 3(3): 254-260
- Peters, K.E. dan Moldowan, J.M. 1993. *The Biomarker Guide, Interpreting molecular fossils in Petroleum and ancient Sediments*. Prentice, New Jersey
- Powell dan Mckirdy. 1973. The effect of source material, rock type and diagenesis on the n-alkane content sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 37: 623-633
- Radke, M., Walte, D.H. dan Willsch, H. 1982. Geochemical Study on a Well in The Western Canada Basin; Relation of The Aromatic Distribution Pattern to Maturity of Organic Matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 46: 1-10
- Radke, M., dan Welte, D.H. 1983. The methylphenanthrene index (MPI): a maturity parameter based on aromatic hydrocarbons. Didalam Bjorùy, M. dkk. 1981. *Advances in Organic Geochemistry*. JohnWiley and Sons, Chichester. pp. 504-512
- Radke, M. 1987. Organic geochemistry of aromatic hydrocarbons. *Advances in Petroleum Geochemistry* (Radke, M.ed.). Academic Press. London. P. 141-205
- Sonibare, O., Alimi, H., Jarvie, D dan Ehinola, O. A. 2008. Origin and occurrence of crude oil in Niger delta, Nigeria. *Journal of Petroleum Science Enginering*. 99-107.
- Stojanovic, K., Jovancevic, Br., Vitorovic, Dr., Pevneva, G.S., Golovko, J.A., dan Golovko, A.K. 2007. Evaluation of Saturated and Aromatic Hydrocarbons Oil-Oil Maturity Correlation Parameters (SE Pannonian Basin, Serbia). *Journal of Serbian Chemical Society*. 72 (12): 1237-1254
- Tamboesai, E.M., 2002. *Korelasi Antar Minyak Bumi Dari Sumur Produksi Sumatera Tengah*. Tesis Program Pasca Sarjana, Bidang Studi Ilmu Kimia, Universitas Indonesia, Depok
- Tissot, B.P., dan Welte, D.H. 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer Verlag, New York
- Waples, D.W. 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Geological Sciences Series. International Human Resources Development Corporation, Boston
- Zakaria, M.P., Horinouchi, A., Tsutsumi, S., Takada, H., Tanabe, S., Ismail, A. (2000). Oil Pollution in the Straits of Malacca, Malaysia: Application of Molecular Markers for Source Iden-tification. *Environmental Science and Technology*. 34: 1189-1196.