

## **BIOMARKER SEBAGAI INDEKS KEMATANGAN TERMAL MINYAK BUMI LAPANGAN TARAKAN**

**Ine Mustikasari**

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan  
Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jln Pemuda 10 Rawamangun,  
Jakarta - INDONESIA

### **ABSTRAK**

Pendekatan geokimia molekuler dengan biomarker famili sterana, hopana dan bikadinana telah digunakan untuk studi indeks kematangan termal tujuh ( 7 ) minyak bumi lapangan Tarakan, GC – MS digunakan untuk studi tersebut. Nilai rasio  $20S / ( S+R )$  dan  $20 \beta\beta / ( \beta\beta+\alpha\alpha )$  untuk ke tujuh minyak bumi berturut – turut berkisar antara 0,45 - 0,49 dan 0,38 – 0,44; berdasar kedua parameter indeks kematangan termal ini, minyak bumi lapangan Tarakan tergolong kematangan rendah. Nilai rasio  $22S / ( S+R )$  dan BMI1 untuk ketujuh minyak bumi berturut – turut berkisar antara 0,54 – 0,59 dan 2,47 – 2,85 berdasarkan kedua indeks tersebut minyak bumi lapangan Tarakan tergolong matang kecuali lapangan minyak E3 menurut indeks BMI1 kurang matang disebabkan  $< 2, 50$ .

**Kata kunci:** biomarker, indeks kematangan termal, GC – MS.

### **PENDAHULUAN**

Senyawaan organik didalam sedimen, batuan dan minyak bumi dimana struktur atau rangka karbonnya dapat ditelusuri kebelakang apa organisma hidup asalnya *a living organism* yang dinamakan *biological markers or biomarkers* atau biomarker. Fossil dengan skala mikro umumnya berdiameter  $< 30$  nm mengandung variabel stereokimia yang banyak, yaitu pengaturan atom – atom dalam ruang disatu grup pada molekulnya. Karena keragaman ini fossil biomarker sering dapat dihubungkan langsung suatu grup tanaman, hewan, bakteri yang spesifik dari asalnya. Meskipun konsentrasi biomarker cukup tinggi dalam organisma asalnya tapi tidak semua dapat dijadikan biomarker hanya yang cukup stabil dan survival dalam proses diagenesis dan katagenesis masa pencairan petroleum, yang dapat dipakai sebagai biomarker. Beberapa ratus biomarker telah diidentifikasi dalam minyak, sedimen dan batuan.

**Kematangan termal.** Transformasi senyawa organik di dalam sedimen di bawah pengaruh temperatur dan tekanan selama pemendaman dapat diklasifikasikan kedalam tiga proses tahapan yaitu diagenesis, katagenesis dan metagenesis (Tissot dan Welte, 1984). Pada awal diagenesis perubahan secara kimia dan mikrobial terhadap senyawa organik pada temperatur rendah menghasilkan kerogen. Pada proses katagenesis dimana terjadi penambahan temperatur dan tekanan terhadap sedimen yang terpendam lebih dalam maka kerogen akan terpecah dan terbentuk minyak dan gas. Metagenesis merujuk pada perubahan secara evolusi dari senyawa organik (termasuk minyak bumi) dalam cekungan sedimen menjadi gas metana dan grafit di bawah temperatur dan tekanan tinggi. .

Menurut Peters dan Moldowan (1993) kematangan termal ialah besarnya panas yang mendorong berlangsungnya reaksi sedimen senyawa organik menjadi minyak. Kematangan termal dapat diklasifikasikan kedalam tiga kategori “belum matang”, “matang” dan “lewat matang” yang berkenaan dengan terbentuknya minyak. Sebagai contoh klasifikasi “belum matang” merujuk kepada batuan sumber dimana senyawa organik yang mengalami pemecahan kerogen < 10 %, atau dengan kata lain hanya ada sejumlah kecil hidrokarbon yang terlarut. Kategori kedua batuan sumber “matang” dimana senyawa organik mengalami panas cukup berarti merupakan zona utama pembentukan minyak. Batuan sumber “lewat matang” merujuk penghancuran senyawa organik yang terpecah menjadi molekul-molekul kecil seperti metana. Tahapan ini disebut proses metagenesis.

Beberapa parameter biomarker dari famili sterana, hopana dan bikadinana secara luas dikenal untuk menaksir kematangan termal dari sedimen hidrokarbon (Mackenzie dan Mc Kenzie, 1983; Rullkötter dan Marzi, 1989, Sosrowidjojo dkk,1996). Di dalam famili sterana dan hopana dikenal dua struktur yang mencerminkan kontribusi biologi dan geologi. Kontribusi biologi umumnya dicerminkan oleh konfigurasi R sedangkan konfigurasi S menjelaskan struktur molekul dari kontribusi geologi.

**Sterana.** Senyawaan dengan suatu rangka steroid terdapat dalam sedimen seperti alkana, alkena dan aromatik hidrokarbon dan transformasi diagenesis dipublikasikan secara luas (Siefert dan Moldowan, 1978; Mackenzie dkk, 1982 a, b; Moldowan dkk, 1986; Volkman, 1986; Rullkötter dan Marzi, 1988, 1989; Peters dkk, 1990; Peters dan Moldowan, 1991, 1993). Secara singkat, turunan sterol dari tumbuhan tinggi dan alga mengalami transformasi menjadi sterana dan diasterana selama tahap awal diagenesis (Mackenzie dkk, 1982 a; Mackenzie, 1984; de Leeuw dan Baas, 1986; de Leeuw dkk, 1989; 1993; Meyers dan Ishiwalar, 1993). Proses hidrogenasi dan siklisasi pada tahapan akhir diagenesis dan katagenesis akan menghasilkan sterana (Mackenzie dkk, 1982 a; Abbott dkk, 1990)

Proporsi diastereomer 20R dan 20S berubah dengan meningkatnya kematangan termal dari sedimen yang terjadi pada posisi C-20. Sterana sudah lama digunakan sebagai indikator utama dalam kematangan termal (Seifert dan Moldowan, 1978, 1981; Mackenzie dkk, 1980, 1981; Mackenzie dan Mc Kenzie, 1983).

Umumnya kelimpahan sterana biologi (20R) menurun relatif terhadap diastereomer geologi (20S). Meskipun rasio dari senyawaan ini dapat dihitung/diukur dari  $C_{27}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{29}$  dan  $C_{30}$  sterana tetapi pada aplikasi keseharian indikator kematangan termal yang digunakan adalah  $C_{29}$  sterana karena mudah dikenal dengan menggunakan  $m/z$  217 dari parsial kromatogram massa dan relatif lebih sedikit faktor “pengotor” dari senyawaan selain sterana. Rasio diastereomer dapat diekspresikan sebagai  $20S/(20S+20R)$  atau  $20S/20R$ . Umumnya  $20S/(20S+20R)$  naik mencapai keseimbangan dengan nilai 0,52-0,55 dalam batuan sumber yang matang (Seifert dan Moldowan, 1986).

**Hopana.** Penggunaan parameter kematangan dari famili hopana harus hati-hati (Siefert dan Moldowan, 1978, 1980, 1981; Mackenzie dkk, 1980, 1981; Mackenzie dan McKenzie, 1983). Kenaikan temperatur dikarenakan pemendaman lebih dalam diastereomer hopana  $17\beta(H), 21\beta(H)$  atau disingkat  $\beta\beta$  bertransformasi menjadi campuran isomer yang lebih stabil [ $17\alpha(H), 21\beta(H)$  atau  $\alpha\beta$  dan  $17\beta(H), 21\alpha(H)$ ]

atau  $\beta\alpha$ ] (Ensminger dkk, 1997). Ada empat parameter kematangan berdasarkan hopana yang sering digunakan yaitu  $T_s/(T_s+T_m)$  (Seifert dan Moldowan, 1978), moretana/hopana,  $22S/(22S+22R)$  (Peters dan Moldowan, 1993),  $T_s/C_{30}$   $17\alpha(H)$  hopana (Volkman dkk, 1983). Sosrowidjojo dkk (1996) mengusulkan Bicinanes Maturity Index (BMI) sebagai parameter kematangan alternatif pada sampel yang mengandung bikadinana. Tesis ini hanya mengaplikasikan dua parameter kematangan yaitu  $20S/(20S+20R)$  dan BMI dikarenakan parameter kematangan yang lain tidak berfungsi dengan baik. Misalnya kadar  $T_s$  bervariasi relatif terhadap kontribusi unsur resin bikadinana (Sosrowidjojo dkk., 1994)

#### **$22S/(22S+22R)$**

Menurut Peters dan Moldowan (1993) isomerisasi dari  $22R \alpha\beta$  homohopana paling sering digunakan sebagai parameter kematangan dalam satu reservoir. Dengan bertambahnya kematangan suatu senyawaan maka konfigurasi biologi (R) berkurang relatif terhadap diastereomer yang lebih stabil  $22S$  (Ensminger dkk, 1977).

Perubahan biasanya diekspresikan dalam bentuk  $22S/(22S+22R)$  (Mackenzi dkk, 1980; Seifert dan Moldowan, 1980; Peters dan Moldowan, 1986), dengan nilai rasio mencapai 0,57-0,62 (Seifert dan Moldowan, 1986). Parameter ini mempunyai keterbatasan dalam aplikasinya, karena nilai keadaan setimbang biasanya tercapai sebelum mencapai puncak pembentukan hidrokarbon (Seifert dan Moldowan, 1980).

**Bicinanes Maturity Index 1 (BMI1).** Kematangan termal bikadinana kurang dipengaruhi dibandingkan sterana dan hopana karena kenaikan kematangan termal bikadinana sampai mencapai jendela minyak (oil window). BMI1 digunakan dalam penelitian 17 minyak dari zaman tertier berasal dari Asia Tenggara, Papua Nugini, Australia dan Selandia Baru, (Murray dkk., 1994, Sosrowidjojo dkk., 1996). Awal jendela minyak dicirikan dengan nilai BMI1 sekitar 2,5 (Sosrowidjojo dkk., 1996) sedangkan akhir jendela minyak belum bisa ditaksir karena kesulitan mendapatkan sampel yang memadai. Dalam penelitian ini hanya empat

(4) indeks kematangan termal yang diteliti yaitu  $20S/(S+R)$ ,  $20\beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$ ,  $22S / (22S+22R)$  dan BMI1.

## **BAHAN DAN METODA**

**Bahan yang digunakan.** Semua pelarut yang dipergunakan seperti n-heksana (td = 69°C Merck), dichlorometana DCM (td = 40°C, Merck), metanol (td = 64,7°C, Merck), aseton (td = 56,5 °C, Merck) semua berkualitas pro analisis p.a.

**Regensia.** Silika gel 60 F – 254 (Merck) ukuran 0,063 – 0,200 mm (70 – 230 Mesh ASTM) digunakan untuk kromatografi kolom diaktifkan pada temperatur 120°C selama semalam sebelum dipergunakan. Molecular sieves silicalite berupa pelet (Union Carbide) digerus sehingga berupa tepung, dipanaskan pada temperatur 500°C selama semalam, kemudian dipindahkan ke dalam oven dengan temperatur 120°C. (Molekuler sieves) digunakan untuk kromatografi molekular.

**Pendekatan analisis geokimia.** Sebelum dilakukan analisis dengan GC-MS perlu dilakukan persiapan pada sampel minyak. Pertama-tama minyak harus bebas air, kedua meningkatkan kandungan senyawaan yang akan dianalisis.

**Kromatografi gas – Spektrofotometri massa (GC-MS).** Analisis GC-MS untuk tujuh sampel saturat bercabang dan saturat siklik yang mewakili dengan HP 5890 yang dilengkapi dengan kolom ultra fused Silika (HP-1), ukuran kapiler 30 m x 1,25 mm (i.d.) berdasarkan metode West (1989) GC tersebut dihubungkan dengan HP 5970 MSD – komputer (RTE/A) sistem data pengaturan suhu tergantung dari senyawaan yang analisis m/z 217 untuk golongan sterana, m/z 191 untuk golongan hopana dan oleanana, m/z 369 untuk bikadinana.

Gambar 3. adalah kromatogram massa m/z 217 untuk salah satu sampel minyak bumi lapangan Tarakan, sedangkan Gambar 3.3.b terutama merupakan fragmentasi dari golongan sterana. Kromatografi massa m/z

217 digunakan untuk mengidentifikasi sterana diantara kompleks  $C_{27}$  –  $C_{30}$  di daerah waktu retensinya. Identifikasi puncak dalam kromatogram massa dibandingkan dengan data waktu retensinya yang telah dipublikasikan. Tabel 1. merupakan daftar dari sterana dan turunannya yang ada dalam kromatogram massa  $m/z$  217.

**Persiapan sampel.** Sampel minyak bumi dari lapangan mengandung air untuk itu dilakukan pemisahan dengan pipet, dimasukkan dalam vial (botol kecil) pengerjaan ini dilakukan dua kali, kemudian dikeringkan dengan  $Na_2SO_4$  kemudian dipisahkan lagi. Diberi label disimpan dalam lemari pendingin.

**Fraksinasi minyak bumi.** Fraksi saturat, aromatik dan polar didapat dengan cara fraksinasi minyak bumi. Secara lebih rinci metoda yang digunakan sebagai berikut, dibuat kolom yang padat dari silika 60 F – 254 (E. Merck), diperlukan empat gram silika untuk setiap percobaan. Tuangkan n-heksana pada beaker yang berisi silika dan aduk sampai rata, tuang ke kolom sambil digetarkan, sehingga didapat kolom yang padat. Lebih kurang  $75 \cdot 10^{-3}$  gram minyak ditimbang dalam vial, dengan perlahan-lahan minyak diteteskan pada kolom yang telah disiapkan. Berturut-turut dituangkan 36 mL n-heksana, 32 mL 10 % DCM dalam n-heksana terakhir 15 mL DCM dan 15 mL metanol sehingga didapat fraksi saturat, aromatik dan polar.

Masing – masing fraksi dihilangkan pelarutnya dengan memanaskan dalam bak pasir kuarsa pada pemanas listrik. Larutan dipindahkan ke vial dengan volume 2 mL, dikeringkan dengan pemanas listrik sehingga diperoleh berat yang tetap untuk masing – masing fraksi, kemudian ditimbang.

**Isolasi alkana bercabang dan siklik.** Bubuk silicalite kering (0,5 g) dimasukkan dan dipadatkan dalam sebuah pipet Pasteur yang di dasarnya berisi katun bersih, kolom dibilas dengan n-heksana sebelum dipakai. Fraksi saturat dengan berat antara 2 – 15 mg dalam n-heksana dituangkan dalam kolom dan dibiarkan selama 5 menit, kemudian dilusi dengan n-heksana sebanyak empat kali volume silicalite, eluen

ditampung dalam vial, pelarutnya diuapkan pelan-pelan, residu silicalite berisi n-alkana, sedangkan n-heksana yang ditampung mengandung alkana bercabang dan siklik. Alkana bercabang dan siklik disimpan untuk analisis selanjutnya.

#### **METODA ANALISIS DAN INSTRUMENTASI**

Fraksi saturat, aromatik dan polar untuk masing-masing minyak bumi didapat dengan metoda kolom kromatografi dengan menggunakan silika 60 sebagai fasa padat.

Tujuh sampel yang mewakili untuk fraksinasi selanjutnya sehingga didapat fraksi alkana bercabang dan alkana siklik. Dalam fraksinasi ini digunakan metoda molekular sieving dengan silicalite sebagai fasa padat. GC-MS digunakan untuk analisis biomarker dari fraksi alkana bercabang dan siklik.

**Kromatografi gas – Spektrofotometri massa (GC-MS).** Analisis GC-MS untuk tujuh sampel saturat bercabang dan saturat siklik yang mewakili dilakukan dengan HP 5890 yang dilengkapi dengan kolom ultra fused Silika (HP-1), ukuran kapiler 30 m x 1,25 mm (i.d.) berdasarkan metode West (1989) GC tersebut dihubungkan dengan HP 5970 MSD – komputer (RTE/A) sistem data pengaturan suhu tergantung dari senyawaan yang analisis m/z 217 untuk golongan sterana, m/z 191 untuk golongan hopana dan oleanana, m/z 369 untuk bikadinana.

**Penggunaan biomarker.** Identifikasi puncak – puncak dalam kromatografi gas dan kromatografi massa, termasuk didalamnya definisi, metoda dan perhitungan parameter biomarker yang digunakan dalam tesis ini dibahas dalam sub bab ini.

#### **Identifikasi puncak kromatografi**

**Kromatogram massa.** Analisis puncak-puncak sterana, hopana, oleanana, bikadinana diidentifikasi dengan membandingkan kromatogram massanya dengan literatur yang ada. Senyawaan biomarker diantaranya sterana, triterpana pentasiklik dan bikadinana sejak lima belas tahun lalu diteliti oleh Siefert dan Moldowan, (1986),

Moldowandkk, (1986), Huang dkk, (1989 ), Ensminger dkk, (1977), Schoell dkk, (1983), Grantham dkk, (1983), van Aarssen dan de Leeuw, (1989), van Aarssen dkk, (1990 a, b) dan Sosrowidjojo dkk,1994,1996).

**Sterana.** GC – MS digunakan untuk analisis sterana, monitoring pada m/z 217. Gambar 3.3.a adalah kromatogram massa m/z 217 untuk salah satu sampel minyak bumi lapangan Tarakan, sedangkan Gambar 3.3.b terutama merupakan fragmentasi dari golongan sterana. Kromatografi massa m/z 217 digunakan untuk mengidentifikasi sterana diantara kompleks C<sub>27</sub> – C<sub>30</sub> di daerah waktu retensinya. Identifikasi puncak dalam kromatogram massa dibandingkan dengan data waktu retensinya yang telah dipublikasikan. Tabel 1. merupakan daftar dari sterana dan turunannya yang ada dalam kromatogram massa m/z 217.

Tabel 1. Identifikasi puncak sterana  
(No puncak merujuk ke Gambar 3.3.a)

| No Puncak Karbon | Nama Senyawaan  | Jumlah |
|------------------|---|--------|
| 1                | 5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20S)          | 27     |
| 2                | 5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana (20R)            | 27     |
| 3                | 5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana(20S)             | 27     |
| 4                | 5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20R)          | 27     |
| 5                | 24-Metil-5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20S) | 28     |
| 6                | 24-Metil-5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana (20R)   | 28     |
| 7                | 24-Metil-5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana (20S)   | 28     |
| 8                | 24-Metil-5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20R) | 28     |
| 9                | 24-Etil-5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20S)  | 29     |
| 10               | 24-Etil-5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana (20R)    | 29     |
| 11               | 24-Etil-5 $\alpha$ (H),14 $\beta$ (H),17 $\beta$ (H)-sterana (20S)    | 29     |
| 12               | 24-Etil-5 $\alpha$ (H),14 $\alpha$ (H),17 $\alpha$ (H)-sterana (20R)  | 29     |
| o                | Resin bikadinana  | 30     |
| 29               | <i>cis cis trans</i> bikadinana                                       | 30     |
| 30               | <i>trans trans tran</i> bikadinana                                    | 30     |

**Triterpana pentasilik.** hopana seperti ditunjukkan Gambar 3.4.a. Gambar ini merupakan Pemaparan triterpena pentasilik pada m/z 191 dihasilkan



puncak – puncak dari banyak senyawaan yang terfragmentasi yaitu golongan hopana dan non-kromatogram massa m/z 191 untuk salah satu sampel minyak bumi lapangan Tarakan. Sedangkan Gambar 3.4.b terutama merupakan fragmentasi golongan hopana. Tabel 2 Merupakan daftar identifikasi puncak hopana dan non-hopana.

**Tabel 2 Identifikasi puncak triterpana pentasiklik (nomer puncak merujuk ke Gambar 3.4.a)**

| No Puncak Karbon | Nama Senyawaan  | Jumlah |
|------------------|---|--------|
| 13               | 18 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-Trisnorhopna (Ts) | 27     |
| 14               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-22,29,30-Trisnorhopna (Tm) | 27     |
| 15               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-28,30 Bisnorhopna          | 28     |
| 16               | 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-30 Normoretana             | 30     |
| 17               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Hopana                     | 30     |
| 18               | 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-Morena                     | 30     |
| 19               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Homohopana (22S)           | 31     |
| 20               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Homohopana (22R)           | 31     |
| 21               | 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-Homomoretana               | 31     |
| 22               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Bishomohopana (22R)        | 32     |
| 23               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Bishomohopana (22R)        | 32     |
| 24               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Trishomohopana (22S)       | 33     |
| 25               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Trishomohopana (22R)       | 33     |
| 26               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Tetrakishomohopana (22S)   | 34     |
| 27               | 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-Tetrakishomohopana (22R)   | 34     |
| 28               | 18a (H) dan 18b(H) Oleanana                               | 30     |
| 29               | <i>cis-cis-trans</i> -Bikadinana                          | 30     |
| 30               | <i>trans-trans-trans</i> -Bikadinana                      | 30     |

**Bikadinana.** Famili bikadinana dapat terlihat dengan jelas pada kromatogram massa m/z 369, karena fragmen ion tersebut merupakan ion diagnosis famili bikadinssssssana. Gambar 3.5.a merupakan kromatogram massa salah satu sampel minyak lapangan Tarakan. Patron fragmentasi famili bikadinana terlihat pada Gambar 3.5.b. Tabel 3 Merupakan daftar identifikasi puncak bikadinana..

**Definisi dan metoda perhitungan parameter geokimia.** Dalam penelitian ini parameter geokimia yang diperoleh dari pengukuran kromatogram GC–MS ditabulasikan. Semua parameter geokimia yang diukur didapat dengan menghitung luas puncak yang sesuai dari

kromatogramnya. Definisi dan teknik parameter geokimia yang diukur diberikan pada Tabel 4.

Tabel 3 Identifikasi puncak bikadinana  
(nomer puncak merujuk ke Gambar 3.5.a)

| No Puncak Karbon | Nama Senyawaan                              | Jumlah | Rujukan                |
|------------------|---|--------|------------------------|
| 29               | <i>cis-cis-trans</i> -Bikadinana            | 30     | Cox dkk., 1986         |
| 30               | <i>trans-trans-trans</i> -Bikadinana        | 30     | Van Aarssen dkk., 1991 |
| 31               | <i>trans-trans-trans</i> -Bikadinana isomer | 30     | Sosrowidjojo dkk       |
| 32               | Bikadinana                                  | 30     | Granthram dkk., 1983   |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Sterana.** Fraksi saturat bercabang dan siklik dari tujuh sampel minyak bumi yang terpilih dianalisis dengan metoda GC – MS. Identifikasi puncak – puncak kromatogram dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dari sekian banyak puncak dalam parsial kromatogram massa yang penting diperhatikan ialah berturut – turut puncak nomer 9, 10, 11 dan 12 untuk sterana dan 29, 30, 31 dan 32 untuk bikadinana. Puncak - puncak sterana yang dihitung distribusinya ialah,

- No 9 24 – Etil - 5 $\alpha$  (H),14 $\alpha$  (H),17 $\alpha$  (H)-C<sub>29</sub> sterana (20 S)  
 No 10 24 – Etil - 5 $\alpha$  (H),14 $\beta$  (H),17 $\beta$  (H)-C<sub>29</sub>sterana (20 R)  
 No 11 24 – Etil - 5 $\alpha$  (H),14 $\beta$  (H),17 $\beta$  (H)-C<sub>29</sub>sterana (20 S)  
 No 12 24 – Etil - 5 $\alpha$  (H),14 $\alpha$  (H),17 $\alpha$  (H)-C<sub>29</sub> sterana (20 R)

Kematangan sampel ditentukan dengan metoda perhitungan parameter sterana seperti ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan hasil perhitungan sterana baik untuk 20S/(S + R) maupun 20 $\beta\beta$ /( $\beta\beta$ + $\alpha\alpha$ ) untuk tujuh sampel minyak ditunjukkan pada Tabel 4.4. Distribusi 20S/(S+R) pada penelitian ini berkisar antara 0,45 – 0,49 dimana yang terendah adalah minyak bumi A1 dan tertinggi E3 dan F1. Bila melihat kisaran 20S/(S+R) sterana hasil penelitian maka minyak lapangan Tarakan tergolong mempunyai kematangan rendah.

Karena isomer rasio 20S/(S+R) sering dipengaruhi oleh faktor epimer yang lain maka dipergunakan rasio  $20\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  untuk menghitung parameter kematangan (Peters dan Moldowan,1993), yang mencapai keseimbangan pada kisaran 0,67 - 0,71 (Seifert dan Moldowan). Pada penelitian ini kisaran  $C_{29}$  sterana  $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$  mempunyai kisaran antara 0,38-0,44 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4. Atas dasar ini minyak bumi lapangan Tarakan tergolong kematangan rendah.

Tabel 5. Data biomarker sterana minyak bumi lapangan Tarakan.

| No | Sumur | 20 S / ( S + R ) | 20 $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ |
|----|-------|------------------|---|
| 1. | A – 1 | 0,45             | 0,42                                      |
| 2. | B – 2 | 0,47             | 0,40                                      |
| 3. | C – 1 | 0,46             | 0,39                                      |
| 4. | D – 1 | 0,46             | 0,38                                      |
| 5. | E – 2 | 0,47             | 0,40                                      |
| 6. | E – 3 | 0,49             | 0,40                                      |
| 7. | F – 1 | 0,49             | 0,44                                      |

Definisi, parameter dan perhitungan berdasarkan tabel 4.

**Hopana.** Distribusi senyawaan golongan hopana dan oleanana dapat dilihat pada  $m/z$  191 untuk fraksi saturat bercabang dan siklik, Gambar 4.16 - 4.19 merupakan parsial kromatogram massa untuk tujuh minyak terpilih lapangan Tarakan. Identifikasi puncak – puncak dapat dilihat pada Tabel 6.

Pada penelitian ini  $C_{31}$  homohopana yang digunakan untuk parameter kematangan. Definisi, parameter dan metoda perhitungan seperti ditunjukkan Tabel 4. Kisaran rasio homohopana untuk lapangan Tarakan antara 0,54 – 0,59 seperti ditunjukkan Tabel 6. Kisaran rasio homohopana  $22S/(S+R)$  untuk mencapai keseimbangan kematangan antara 0,50 – 0,54 (Siefert dan Moldowan,1986), dengan demikian minyak lapangan Tarakan berdasarkan kisaran homohopana termasuk batuan sumber yang matang. Kisaran rasio homohopana mencapai

keseimbangan di bawah jendela minyak sehingga rasio homohopana hasil penelitian relatif sedikit diatas rasio keseimbangan tersebut meskipun di bawah jendela minyak.

Tabel 6. Data biomarker hopana lapangan Tarakan

| No | Sumur | 22S/(S+R) |
|----|-------|-----------|
| 1  | A - 1 | 0,54      |
| 2  | B - 2 | 0,57      |
| 3  | C - 1 | 0,58      |
| 4  | D - 1 | 0,59      |
| 5  | E - 2 | 0,58      |
| 6  | E - 3 | 0,57      |
| 7  | F - 1 | 0,59      |

Definisi, parameter dan perhitungan berdasarkan tabel 4.

**Bikadinana.** Dalam penelitian ini selain sterana dan hopana juga digunakan bikadinana sebagai indikator kematangan termal, dimana BMI1 digunakan untuk menentukan kematangan termal dari tujuh sampel minyak bumi. Definisi, parameter dan metoda perhitungan BMI1 seperti ditunjukkan Tabel 4.. Data BMI1 untuk minyak bumi lapangan Tarakan ditunjukkan Tabel 7.. Gambar 4.20-4.23 merupakan parsial kromatogram massa  $m/z$  369 untuk bikadinana. Kisaran nilai BMI1 antara 2,47 sampai dengan 2,85 menunjukkan kematangan termal daerah penelitian, yang terendah minyak bumi E3 dan tertinggi B2. Atas dasar nilai BMI1 batuan sumber minyak bumi lapangan Tarakan termasuk batuan sumber yang matang kecuali E3. Batuan sumber diindikasikan matang bila nilai  $BMI1 > 2,50$  (Murray dkk.,1996). Gambar 4.23.a menunjukkan plot kenaikan kematangan termal dari E3 ke B2 dimana BMI1 dan  $20S/(S+R)$  masing-masing sebagai sumbu y dan x.

| No. Sumur | minyak bumi lapangan Tarakan |      |      |
|-----------|------------------------------|------|------|
|           | 20 S/(S+R)                   | BMI1 |      |
| 1.        | A - 1                        | 0,45 | 2,66 |
| 2.        | B - 2                        | 0,47 | 2,85 |
| 3.        | C - 1                        | 0,46 | 2,71 |
| 4.        | D - 1                        | 0,46 | 2,60 |
| 5.        | E - 2                        | 0,47 | 2,78 |
| 6.        | E - 3                        | 0,49 | 2,47 |
| 7.        | F - 1                        | 0,49 | 2,82 |

Definisi, parameter dan perhitungan berdasarkan Tabel 4.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Berdasarkan atas kisaran nilai rasio homohopana antara 0,54 sampai dengan 0,59 minyak bumi lapangan Tarakan termasuk batuan sumber yang matang.
2. Kisaran nilai BMI1 antara 2,47 sampai dengan 2,85 menunjukkan kematangan termal daerah penelitian kecuali E3.

### Saran

Indeks kematangan termal minyak bumi lapangan Tarakan telah diteliti. Meskipun demikian perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui dari mana asalan batuan sumber, bagaimana tipe minyak lapangan Tarakan berasal dari satu reservoir atau tidak dan bagaimana arah migrasinya.