

## PENGGUNAAN STERANA DAN ISOTOP KARBON UNTUK MENENTUKAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN ASAL MATERIAL ORGANIK PADA CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN BARAT

Danis Agoes Wiloso<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Geologi, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 9 Desember 2016, revisi masuk: 4 Januari 2017, diterima: 16 Januari 2017

### ABSTRACT

*Research area is located at western part of Northeast Java Basin there are still many uncertainties concerning aspects of petroleum geochemistry. The oil and the source rock data from wells and seeps were tested according steranes data, and carbon isotope. The oil-oil correlation in the research area has divided the oil samples into two oil groups. The first oil group is the oil group in which the organic material comes from the mix of high plants and algae where the depositional environment of the source rock for this oil group is more headed for shallow marine (deltaic) environment. The second oil group is the oil group in which the organic material comes from more of the high plants where the depositional environment of the source rock for this oil group is more headed for terrestrial environment.*

**Keywords:** *geochemistry, sterana, carbon isotope, deltaic, oil-oil correlation.*

### INTISARI

Daerah penelitian terletak di Cekungan Jawa Timur bagian barat yang masih menjadi pertanyaan tentang aspek geokimia petroleumnya. Data minyak dan batuan induk diuji dari sumur serta rembesan minyak berdasarkan data sterana serta isotop karbon. Korelasi minyak-minyak pada daerah penelitian membagi minyak menjadi dua kelompok minyak. Kelompok minyak yang pertama merupakan minyak yang material organiknya berasal dari campuran antara tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk untuk kelompok minyak ini mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah laut dangkal (deltaik). Kelompok minyak yang kedua merupakan minyak yang material organiknya lebih banyak berasal dari tumbuhan tingkat tinggi, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk untuk kelompok minyak ini mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah terestrial.

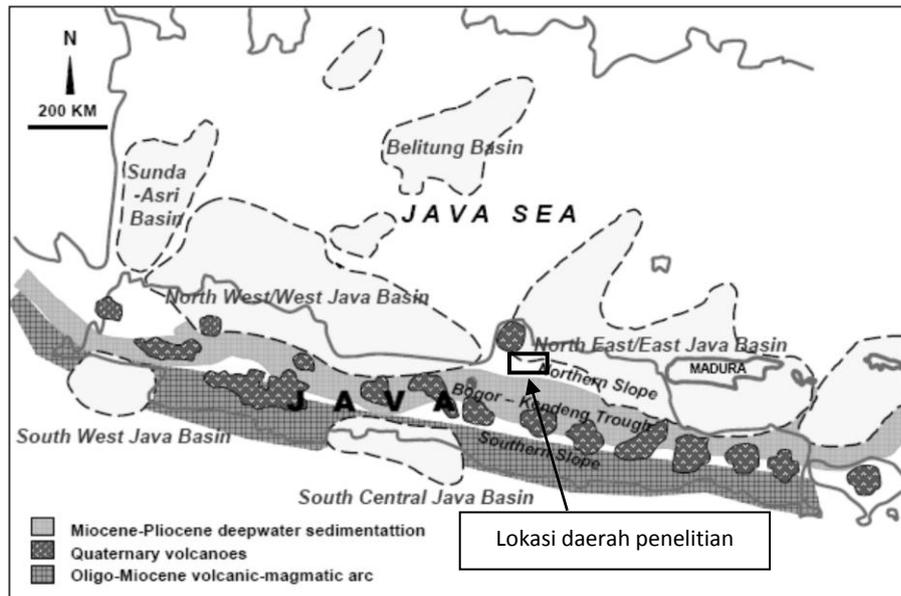
**Kata Kunci:** geokimia, sterana, isotop karbon, deltaik, korelasi minyak-minyak.

### PENDAHULUAN

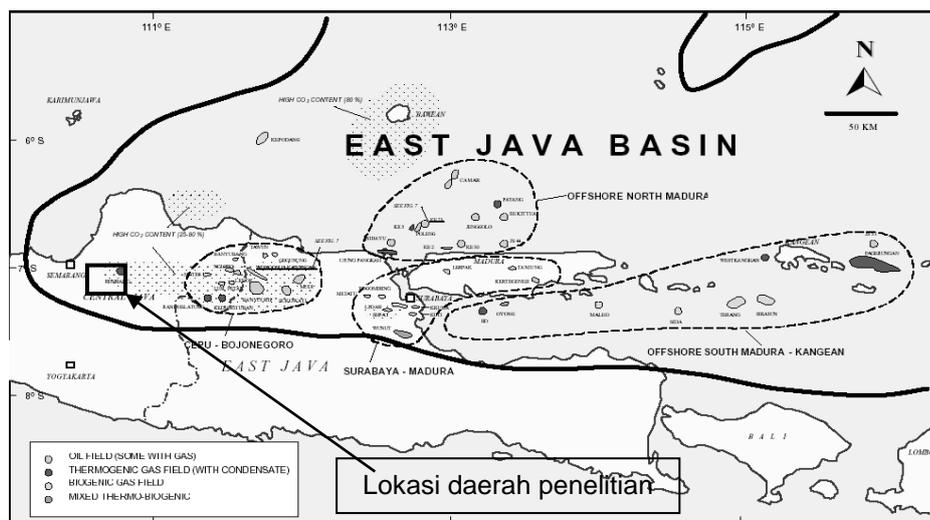
Lokasi penelitian berada di Cekungan Jawa Timur bagian barat atau sekitar 130 km arah timurlaut dari Yogyakarta (Gambar 1) dimana asal batuan induk hidrokarbon di Cekungan Jawa Timur bagian barat masih menjadi masalah, karena masih sedikit yang mengulas tentang keberadaan hidrokarbon di daerah tersebut. Terdapat empat daerah geologi yang dapat dibedakan untuk kejadian minyak di Cekungan Jawa Timur yaitu daerah Cepu-Bojonegoro, daerah Surabaya-Madura, daerah lepas pantai utara Madura dan daerah lepas pantai selatan

Madura-Kangean (Satyana dan Purwaningsih, 2003) tetapi tidak banyak yang mengulas lebih detail tentang lingkungan pengendapan asal material organik di Cekungan Jawa Timur bagian barat (Gambar 2).

Di dalam melakukan penelitian ini digunakan beberapa hipotesis kerja yang akan dicoba untuk dipecahkan dalam studi geokimia ini. Diduga bahwa lingkungan pengendapan asal material organik adalah asal darat dan lakustrin. Penelilian ini dilakukan dengan menggunakan data geokimia yang diperoleh dari Lundin Blora B.V.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian yang berada di Cekungan Jawa Timur bagian barat (Satyana, 2005).

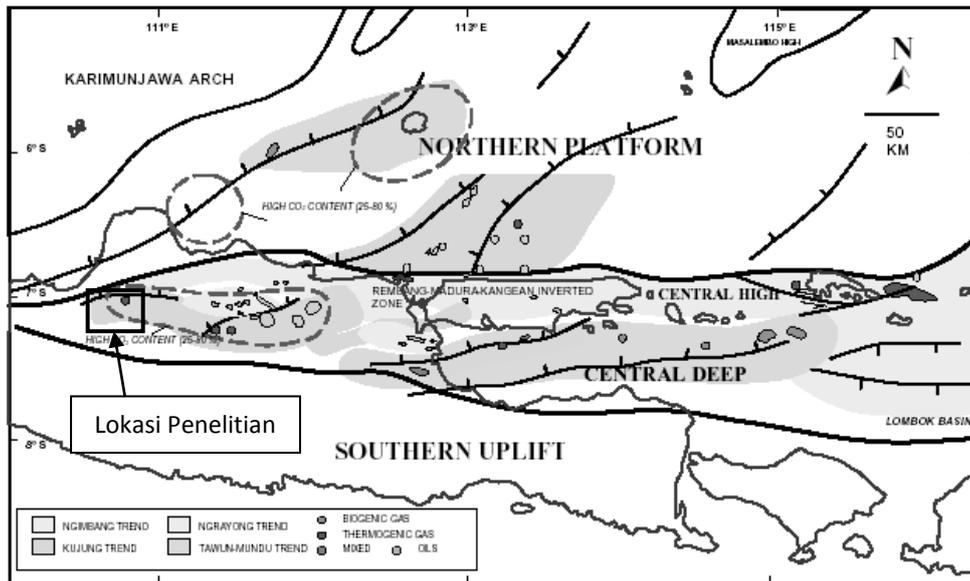


Gambar 2. Empat daerah geologi kejadian minyak yaitu daerah Cepu-Bojonegoro, daerah Surabaya-Madura, daerah lepas pantai utara Madura dan lepas pantai selatan Madura-Kangean. Di bagian barat cekungan hanya ditemukan lapangan gas termogenik di Rembang (Satyana dan Purwaningsih, 2003).

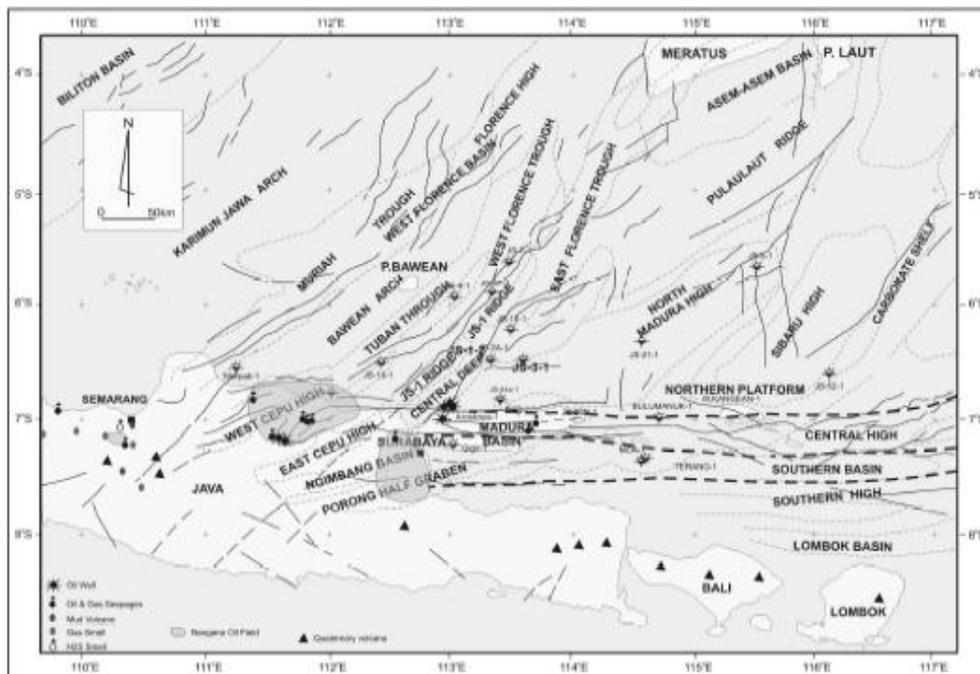
Tiga konfigurasi struktural dapat ditentukan dari utara ke selatan (Gambar 3) yaitu Paparan Utara, Dalamana Tengah dan Pengangkatan Selatan (Satyana, 2005). Batuan dasar Cekungan Jawa Timur telah tersegmentasi ke dalam sejumlah tinggian dan terban (*horst and graben*) yang cenderung berarah baratdaya-timurlaut.

Berdasarkan Sribudiyani, et.al. (2003) di Jawa Timur menunjukkan bahwa dua *rift* sistem berkembang selama kurun Eo-Oligosen. Sistem *rift* yang pertama berarah timurlaut-baratdaya mengikuti kecenderungan struktur Meratus dan sistem yang kedua mempunyai arah timur-barat adalah

sejajar dengan struktur Rembang-Madura-Kangean (Gambar 4).



Gambar 3. Habitat minyak dan gas di Cekungan Jawa Timur. Habitat tersebut berkaitan dengan tatanan struktural dan sistem petroleum (Satyana dan Purwaningsih, 2003).



Gambar 4. Unsur-unsur tektonik di Cekungan Jawa Timur (Sribudiyani, et. al., 2003).

Stratigrafi pada Paleogen Zona Rembang dicirikan dengan sedimentasi yang berhubungan dengan *rift*. Sedimen *syn-rift* sesuai dengan satuan Ngimbang

bagian bawah yang diendapkan pada lingkungan lakustrin sampai laut pada jaman Eosen Tengah sampai Oligosen Awal (Subroto, et. al., 2007). Akhir

pengendapan Formasi Ngimbang ditandai dengan batugamping CD berumur Oligosen Awal (Manur dan Barraclough, 1994).

Periode *rift-sagging* diwakili oleh Formasi Kujung yang pada bagian bawah terdiri dari batuan sedimen berbutir halus didominasi oleh selang-seling napal dengan lapisan tipis batupasir berwarna hijau yang kaya akan fosil dan batugamping, bagian atas dari formasi ini terdiri dari batugamping bioklatik. Umur dari Formasi Kujung ini adalah Oligosen Akhir-Miosen Awal.

Pada Miosen Awal terjadi sedimentasi sedimen berbutir halus endapan muka pantai (*offshore*) dari Formasi Tuban. Fase transgresi disertai naiknya aras air laut mengakibatkan terjadinya akumulasi endapan serpih dan napal dari Formasi Tawun. Amblesan cekungan terjadi pada Miosen Awal dengan terjadinya akumulasi endapan batugamping bioklastik (bagian atas dari Formasi Tawun). Bagian bawah dari Formasi Tawun didominasi batulempung abu-abu hitam dan napal, berubah secara gradasi ke arah atas menjadi batulanau (Darman dan Sidi, 2000).

Kala Miosen Tengah diendapkan Formasi Ngrayong yang diinterpretasikan sebagai endapan kipas lereng (*slope-fan*) dari *lowstand system tract*. Naiknya aras air laut menghasilkan perkembangan *transgressive system tract*, termasuk endapan pantai sampai laut terbuka di bagian bawah Anggota Ngrayong. Naiknya aras air laut diakhiri dengan berkembangnya *highstand system tract* pada bagian atas dari Formasi Ngrayong.

Kala awal Miosen Akhir terjadi endapan *transgressive* dan *highstand system tract* menghasilkan endapan *grainstone* berlapis dan *wackestone* dari Formasi Bulu.

Pengendapan *transgressive* dan *highstand system tract* masih berlanjut dari awal Miosen Akhir sampai pertengahan Miosen Akhir yaitu diendapkannya Formasi Wonocolo, formasi ini pada bagian bawah terdiri dari selang-seling napal pasiran kaya akan

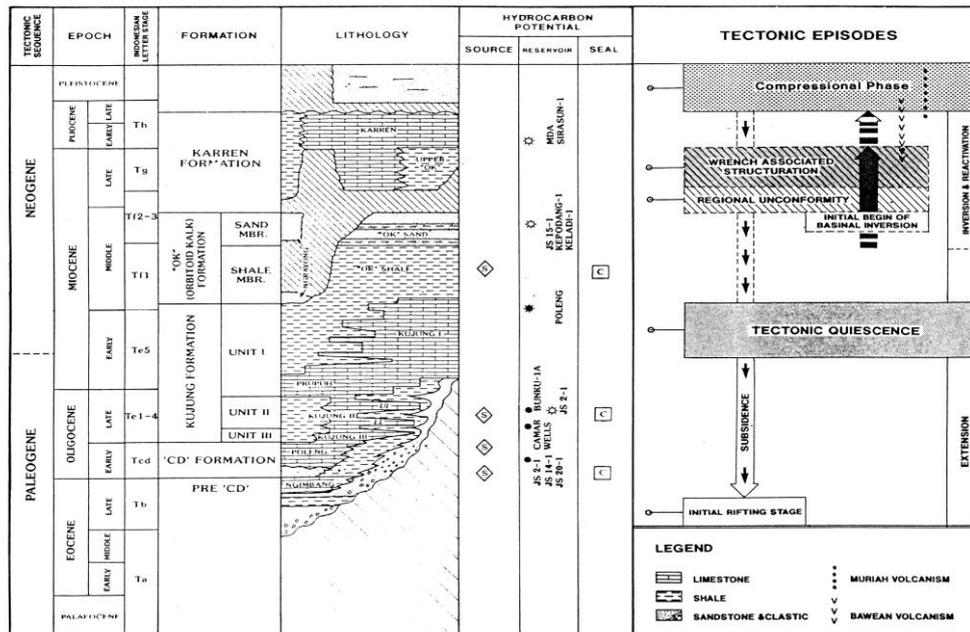
fosil dengan lapisan tipis kalkarenit abu-abu kaya fosil, sedangkan bagian atas dari formasi ini diinterpretasikan sebagai endapan *transgressive system tract* yang terdiri dari serpih dengan sisipan kalkarenit.

Kala Miosen Akhir bagian atas sampai Pliosen merupakan endapan *highstand system tract* dicirikan oleh sedimen progradasi Formasi Ledok yang terdiri dari satuan galukonit menebal ke arah atas, kaya fosil, batupasir gampingan berwarna abu-abu kehijauan, selang-seling lapisan kaya fosil menipis ke atas, napal pasiran abu-abu kehijauan, bagian atas dari Formasi Ledok dicirikan oleh bioturbasi dan silang siur dalam skala besar mengindikasikan lingkungan neritik tepi sampai luar.

#### METODE

Menurut Manur dan Barraclough (1994) pengisian sedimen pada cekungan Paleogen berhubungan erat dengan sejarah tektoniknya. Perlipatan dan peretakan (*doming and fracturing*) pada seluruh daerah selama Eosen/Oligosen telah diikuti oleh periode amblesan regional (*regional subsidence*) dan diakhiri oleh kepasifan tektonik (*tectonic quiescence*) pada jaman Miosen Awal (Gambar 5). Terban berarah timurlaut-baratdaya yang terbentuk selama Eosen Tengah diisi oleh klastik aluvial, lempung lateritik dan serpih lakustrin. Serpih kaya organik di dalam runtunan ini sebagai batuan induk hidrokarbon untuk seluruh daerah ini. *Onlap* pada batuan dasar dimulai pada Eosen Akhir sampai Oligosen Awal dengan pengendapan batupasir laut sebagai dasar transgresif dan batugamping termasuk terumbu.

Distribusi fasies pada kala Neogen dikontrol juga oleh posisi dari tinggian terdahulu (*pre-existing highs*). Serpih laut dangkal, batupasir dan batugamping diendapkan di seluruh daerah dan sedimen laut dalam diendapkan ke arah selatan (Manur dan Barraclough, 1994).



Gambar 5. Sintesis tektonik dan sedimentasi di Cekungan Jawa Timur (Manur dan Barraclough, 1994).

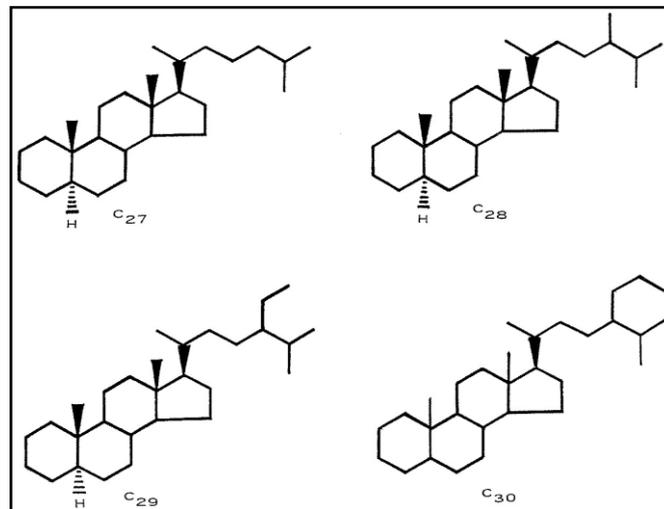
Data minyak diuji berdasarkan ketersediaan data sterana serta isotop karbon. Berdasarkan data tersebut maka selanjutnya dilakukan analisis penentuan material asal, lingkungan pengendapan.

Sterana berasal dari sterol yang ditemukan pada sebagian besar tumbuhan tingkat tinggi dan alga serta jarang atau tidak ditemukan pada organisme prokariotik. Empat perintis sterol utama yang mengandung atom karbon 27, 28, 29 dan 30 telah diidentifikasi pada organisme fotosintetik. Sterol ini memberikan kenaikan jumlah pada keempat sterana "umum" yang berbeda selama proses diagenesis. Keempat sterana ini dapat disebut sebagai homolog atau anggota dari seri homolog karena mereka hanya dibedakan oleh tambahan berupa sekuen dari  $-CH_2-$  pada tempat tertentu di molekul. Penggunaan kata "umum" mengindikasikan rangka karbon yang sama dengan prazat biologisnya.

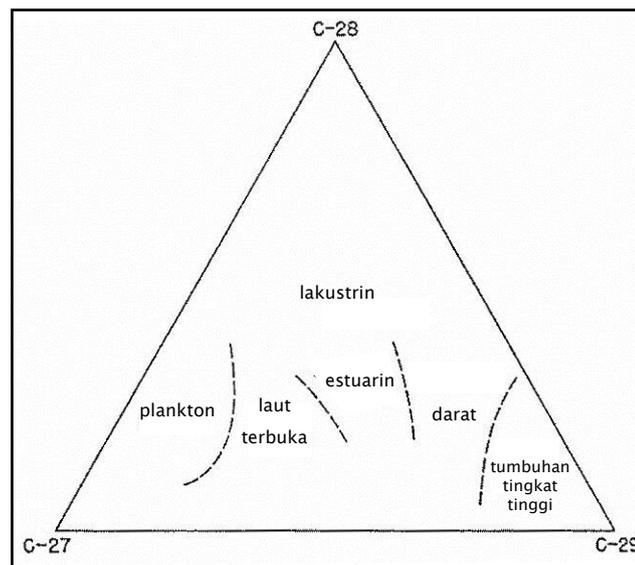
Terdapat beberapa macam penamaan terhadap sterana  $C_{27}$ - $C_{29}$  (Gambar 6). Pada sistem penamaan yang pertama, setiap sterana mempunyai nama yang berbeda berdasarkan asal

dari sterol umum dengan jumlah atom karbon yang sama. Secara berurutan nama untuk  $C_{27}$  sampai dengan  $C_{29}$  adalah kolestana, ergostana dan sitostana. Pada sistem penamaan lainnya, setiap sterana dinamakan sebagai homolog dari kolestana yaitu kolestana, metilkolestana 24 dan etilkolestana 24.

Menurut Huang dan Meinschein (1979) dikutip dari Waples dan Machihara (1991) bahwa proporsi relatif dari  $C_{27}$ - $C_{29}$  pada sterol biasa yang berasal dari organisme hidup berhubungan dengan lingkungan tertentu sehingga sterana pada sedimen kemungkinan menyediakan informasi lingkungan purba yang berharga (Gambar 7). Jumlah yang lebih besar dari sterol  $C_{29}$  mengindikasikan kontribusi yang kuat dari darat sedangkan dominasi dari  $C_{27}$  mengindikasikan kontribusi yang kuat dari fitoplankton laut.  $C_{28}$  memiliki jumlah yang pada umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan kedua sterol lainnya, akan tetapi jumlah yang relatif besar dari biasanya mengindikasikan kontribusi yang kuat dari alga lakustrin.



Gambar 6. Struktur dari sterana C<sub>27</sub>-C<sub>30</sub> yang berasal dari sterol. C<sub>27</sub> adalah kolestana, C<sub>28</sub> adalah ergostana atau metilkolestana 24, C<sub>29</sub> adalah sitostana atau etilkolestana 24, C<sub>30</sub> adalah propilkolestana 24 (Waples dan Machihara 1991).



Gambar 7. Diagram segitiga yang menunjukkan ketergantungan lingkungan dari komposisi sterol pada organisme. Diambil dari Waples dan Machihara (1991).

Nilai isotop karbon diaplikasikan pada dua pembahasan utama dari geokimia minyak yaitu sebagai indikator dari lingkungan pengendapan dan sebagai alat di dalam korelasi minyak-minyak dan minyak-batuan induk. Nilai ini didapat dari ekstrak batuan atau fraksi saturasi dan aromatik C<sub>15+</sub> dari minyak. Korelasi positif didapatkan jika fraksi yang sama dari minyak yang berbeda hanya dipisahkan oleh nilai kurang dari 1

‰. Komposisi isotopik dari minyak dapat berubah karena kematangan dan kemungkinan efek migrasi dan karena ketidakseragaman organik minor pada material sumber.

Menurut Sofer (1984) bahwa isotop karbon dapat digunakan untuk membedakan antara minyak yang berasal dari lingkungan pengendapan laut dan minyak yang berasal dari lingkungan pengendapan darat. Nilai

tersebut disebut sebagai Cv yang merupakan singkatan dari *Canonical value*, yang didapat dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$Cv = 2.53 \delta^{13} C_{\text{sat}} + 2.22 \delta^{13} C_{\text{aro}} - 11.65$$

Nilai Cv lebih besar dari 0,47 mengindikasikan minyak yang didominasi oleh sumber yang berasal dari material organik darat sedangkan nilai Cv lebih kecil dari 0,47 mengindikasikan minyak yang didominasi oleh sumber yang berasal dari material organik laut.

### PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis sterana yang dilakukan terhadap sejumlah contoh minyak yang diambil dari sumur-sumur Rembang-1, Rembang-2 dan Tengis-1 untuk sumur Padi-1 dan Ngawi-1 tidak ada data sterana (Tabel 1), maka didapatkan beberapa kelompok minyak yang menunjukkan asal material organiknya. Diagram perbandingan antara sterana C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> dan C<sub>29</sub> digunakan untuk memberikan gambaran mengenai lingkungan pengendapan dari asal material organiknya.

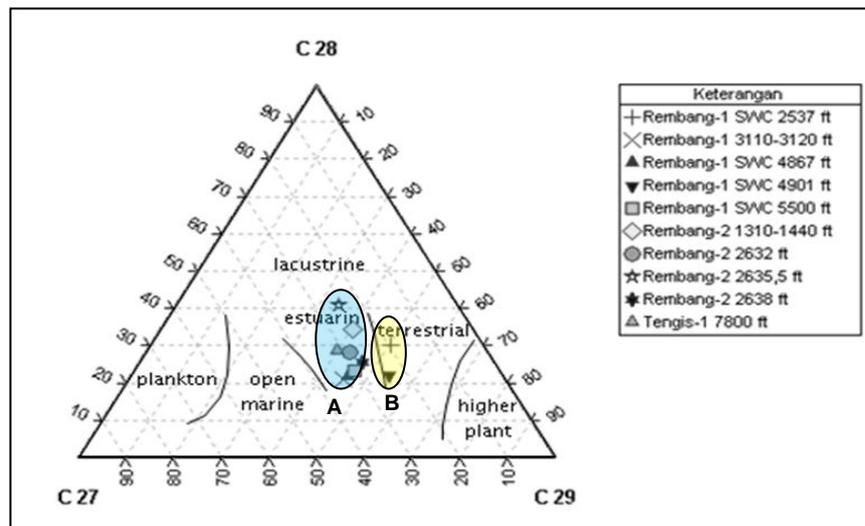
Contoh minyak pada sumur-sumur Rembang-1 (kedalaman 3110-3120 kaki, 4867 kaki, 5500 kaki), Rembang-2 (kedalaman 1410-1440 kaki, 2632 kaki, 2635,5 kaki) dan Tengis-1 (7800 kaki) menunjukkan jumlah percampuran antara sterana C<sub>27</sub> dan C<sub>29</sub> yang merupakan indikasi adanya kontribusi dari laut dan darat, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk yang menghasilkan minyak pada sumur Rembang-1, Rembang-2 dan Tengis-1 mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah laut dangkal (deltaik) (Gambar 8). Contoh minyak pada sumur Rembang-1 kedalaman 2537 kaki dan 4901 kaki menunjukkan jumlah yang lebih besar dari sterana C<sub>29</sub> yang merupakan indikasi adanya kontribusi yang kuat dari darat, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk yang menghasilkan minyak pada sumur Rembang-1 mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah terestrial (Gambar 8).

Berdasarkan hasil analisis isotop karbon yang dilakukan terhadap sejumlah contoh minyak yang diambil dari sumur-sumur Rembang-2, Tengis-1 serta beberapa rembesan minyak yaitu Galeh, Kedung Jati dan Langensari (Tabel 2) maka didapatkan beberapa kelompok minyak yang menunjukkan asal material organiknya, untuk data isotop karbon dari Rembang-1, Padi-1 dan Ngawi-1 tidak tersedia. Diagram isotop karbon  $\delta^{13} C_{\text{sat}}$  terhadap  $\delta^{13} C_{\text{aro}}$  digunakan agar dapat memberikan gambaran mengenai lingkungan pengendapan dari asal material organiknya.

Contoh minyak pada sumur Rembang-2 menunjukkan nilai Cv adalah +2,0 yang merupakan indikasi adanya kontribusi dari material organik darat, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk yang menghasilkan minyak pada sumur Rembang-2 mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah terestrial. Sumur Tengis-1 menunjukkan nilai Cv adalah +4,03 yang merupakan indikasi adanya kontribusi yang kuat dari darat, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk yang menghasilkan minyak pada sumur Tengis-1 mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah terestrial, pada beberapa rembesan minyak menunjukkan nilai Cv antara -1,97- (-5,23) yang merupakan indikasi adanya kontribusi dari laut (Gambar 9).

Tabel 1. Hasil analisis C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> dan C<sub>29</sub> dari beberapa sumur (Anonim, 2005)

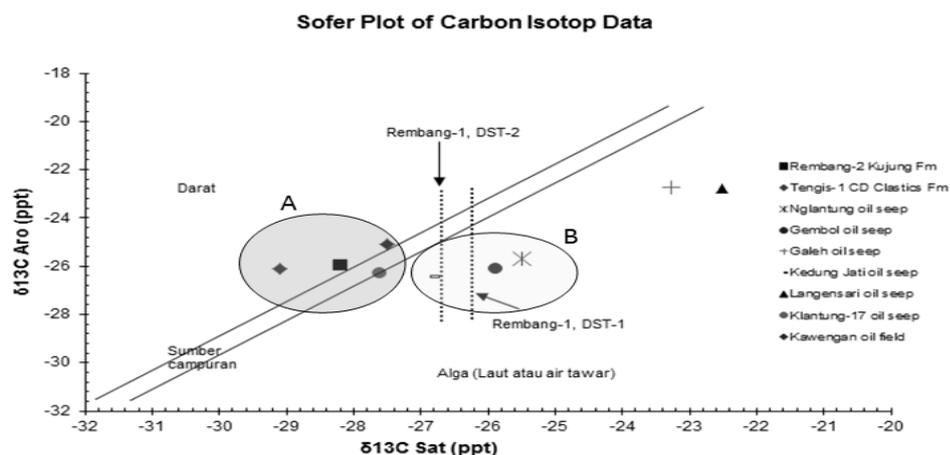
Sumur	C <sub>27</sub>	C <sub>28</sub>	C <sub>29</sub>
Tengis-1	36.96	23.91	39.14
Rembang-1	75.00	15.90	9.20
Rembang-1	60.40	30.20	9.40
Rembang-1	50.30	30.50	19.20
Rembang-1	46.60	20.40	33.10
Rembang-2	43.80	21.90	34.30
Rembang-2	51.50	32.30	16.20
Rembang-2	58.00	21.10	20.90
Rembang-2	65.20	18.30	16.50



Gambar 8. Diagram perbandingan antara sterana C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> dan C<sub>29</sub> yang menunjukkan lingkungan pengendapan asal material organik; A. menunjukkan kelompok minyak estuarin/deltaik dan B. menunjukkan kelompok minyak terestrial.

Tabel 2. Hasil analisis isotop karbon sumur dan rembesan minyak (Anonim, 2005)

Sumur	$\delta^{13}C$ SAT	$\delta^{13}C$ ARO	Cv
Rembang-1	-26.70		
Rembang-1	-26.36		
Rembang-2	-28.19	-25.98	2.00
Tengis-1	-29.10	-26.10	4.03
Rembesan Minyak Langensari	-22.51	-22.76	-5.23
Rembesan minyak Nglantung	-25.49	-25.68	-4.17
Rembesan minyak Gembol	-25.88	-26.09	-4.09
Rembesan minyak Galeh	-23.27	-22.75	-3.28
Rembesan minyak Kedung Jati	-26.85	-26.45	-1.97
Klantung-17	-27.60	-26.30	-0.21
Lapangan Kawengan	-27.50	-25.10	2.20



Gambar 9. Diagram isotop karbon  $\delta^{13}C_{sat}$  terhadap  $\delta^{13}C_{aro}$  yang menunjukkan lingkungan pengendapan asal material organik; A menunjukkan kelompok minyak darat dan B menunjukkan kelompok minyak laut.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sterana dan isotop karbon pada contoh minyak maka terdapat dua kelompok minyak pada daerah penelitian. Kelompok minyak yang pertama merupakan minyak yang material organiknya berasal dari campuran antara tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk untuk kelompok minyak ini mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah laut dangkal (deltaik).

Kelompok minyak yang kedua merupakan minyak yang material organiknya lebih banyak berasal dari tumbuhan tingkat tinggi, sehingga lingkungan pengendapan dari batuan induk untuk kelompok minyak ini mencirikan lingkungan pengendapan yang lebih ke arah terestrial.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2005), Padi-1 Bora Block Indonesia, Analysis Cuttings Report, Lundin Banyumas B.V, File No.: Geochem-04114. Tidak dipublikasikan.
- Darman, H., dan Sidi, F.H., editors, (2000), *An outline of The Geology of Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia.
- Manur, H., Barraclough, R. (1994), Structural Control On Hydrocarbon In The Bawean Area, East Java Sea, *Proceeding Indonesian Petroleum Association*, Twenty Third Annual Convention, October 1994, hal. 129-144.
- Satyana, A.H, Purwaningsih, Margaretha E.M., (2003), Geochemistry Of The East Java Basin: New Observations On Oil Grouping, Genetic Gas Types And Trends Of Hydrocarbon Habitats, *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, Twenty-Ninth Annual Convention & Exhibition, October 2003.
- Satyana, A.H., (2005), Petroleum Geology Of Indonesia: Current Concepts, *Pre-Convention Course, Indonesian Association of Geologists 34<sup>st</sup>*, Annual Convention, Surabaya 28 –30 November 2005.
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Subroto, E.A., Noeradi, D., Priyono, A., Wahono, H.E., Hermanto, E., Praptisih dan Santoso, K., (2007), The Paleogen basin within the Kendeng Zone, Central Java, Java Island, and implications to hydrocarbon prospectivity, *Proceedings Indonesia Petroleum Association 31<sup>st</sup> Annual Convention and Exhibition*. Soft File: IPA07-G-091.
- Waples, D.W., Machihara, T. (1991), *Biomarkers for geologists-a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology*, American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series 9. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, USA.