

Evaluasi Batuan Induk Berdasarkan Parameter Hasil Pengukuran Rock Eval Analisis dan TOC di Sub-Cekungan Leles, Garut Jawa Barat

Nisa Nurul Ilmi, Edy Sunardi

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

Abstrak

Ditemukannya singkapan yang menunjukkan adanya endapan akhir Kuartar yang terdiri dari sistem sungai-danau mengindikasikan adanya Sub-cekungan Leles. Sub-cekungan Leles ini merupakan bagian dari Cekungan Garut yang berdasarkan ekspresi morfologi pada permukaan dipisahkan oleh beberapa gunung api dan produk hasil kegiatan gunung api. Sistem sedimentasi dengan umur muda ini membutuhkan serangkaian penelitian untuk mengetahui asal mula sedimen serta lebih lanjut lagi untuk mengetahui proses evolusi sub-cekungan. Evaluasi batuan induk dilakukan sebagai suatu penelitian pendahuluan terhadap sampel dari sub-cekungan leles untuk mengetahui potensi batuan dengan umur Kuartar. Evaluasi ini juga dapat digunakan sebagai analog pembentukan batuan induk pada cekungan dengan sedimen berumur Kuartar. Terdapat lima sampel batuan lempung yang diambil dari beberapa tempat di singkapan Sub-cekungan Leles. Lima sampel ini kemudian diuji untuk mengetahui nilai Total Organic Karbon-nya (TOC) serta dianalisis menggunakan alat *Rock-Eval pyrolysis* untuk mengetahui karakteristik batuan induknya. Dari kelima sampel didapat nilai TOC yang bervariasi, yaitu antara 0,15-5,55%. Data dari *Rock-Eval* menunjukkan bahwa sampel batuan memiliki tingkat kematangan rendah, tingkat indeks oksigen tinggi, potensial generasi hidrokarbon rendah, serta tipe kerogen yang merujuk pada kerogen tipe III. Sebagai suatu analog pembentukan batuan induk, informasi yang didapat dari hasil evaluasi TOC dan data *Rock-Eval pyrolysis* dapat memberikan gambaran terhadap karakteristik sedimen yang diduga merupakan batuan induk.

Kata kunci: batuan induk, Kuartar, *Rock-Eval*, sedimen, sub-cekungan leles, TOC.

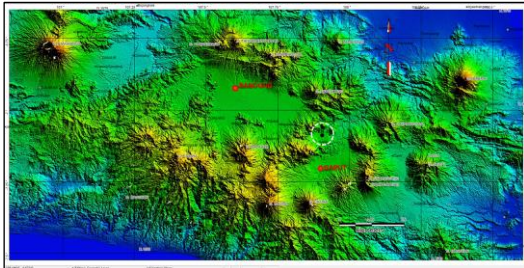
1. PENDAHULUAN

Sub-Cekungan Leles merupakan bagian dari Cekungan Garut, secara fisiografi termasuk ke dalam Zona Bandung (Van Bemmelen, 1949), diyakini mempunyai karakter geologi yang sama dengan Cekungan Bandung (Sunardi, E, 2014). Kedua cekungan tersebut pada kenampakan ekspresi morfologi di permukaan dipisahkan oleh beberapa gunungapi serta produk dari hasil kegiatan gunungapi (Gambar 1).

Cekungan Garut merupakan dataran tinggi umumnya berada pada ketinggian 600 - 1000 m dml, dikelilingi oleh Gunung Karacak (1.838 m), Gunung Cikuray (2.821 m), Gunung Papandayan

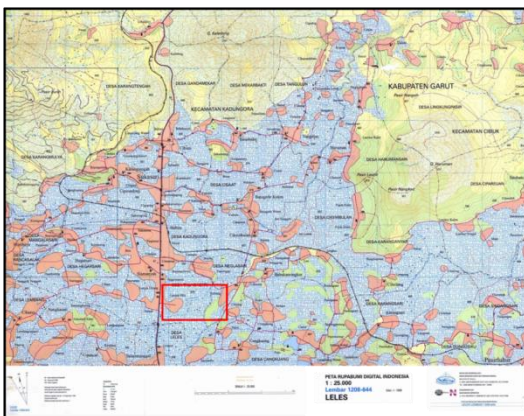
(2.622 m), dan Gunung Guntur (2.249 m), sedangkan sub-cekungan Leles dibatasi oleh tinggian dari beberapa gunung yang terletak hampir melingkar, seperti Gunung Mandalawangi (1549 m) terletak pada arah barat laut, Gunung Kaledong (1251 m) dan Gunung Haruman (1217 m) terletak pada arah utara dan timur laut, dan terbuka ke arah timur, pada bagian tenggara berbatasan dengan Situ (danau) Bagendit, yang kemungkinan danau tersebut merupakan danau terakhir Akhir Kuartar dari Sub-cekungan Leles, pada bagian barat - baratdaya dibatasi oleh Gunung Malang, Gunung Picung dan Tinggian Leles. Seperti halnya Cekungan Bandung, maka Cekungan Garut juga

merupakan bentuk depresi yang dikontrol oleh struktur sesar, merupakan hasil reaktivasi sesar pada Akhir Tersier (Sunardi, E, 2014a).



Gambar 1 . Peta DEM lokasi daerah penelitian, lokasi studi ditandai dengan lingkaran putih

Aktivitas letusan gunungapi sangat intensif terjadi pada wilayah ini, ditunjukkan oleh produk gunungapi berupa aliran lava dan piroklastika yang diendapkan melalui sistem sedimentasi sungai maupun danau. Secara umum aktivitas gunungapi di Jawa Barat sejak Tersier terus berlanjut hingga sekarang, menyebabkan gunungapi aktif didominasi arah barat-timur, baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya (Sunardi, E, 2014b). Hingga saat ini keberadaan produk gunungapi di Cekungan Garut masih terpaku sebagai piroklastika jatuhan dan belum mempunyai tatanan stratigrafi serta sejarah sedimentasi yang komprehensif.



Gambar 2 Studi area (kotak merah) terletak di Kampung Lunjuk Hilir, Desa Talagasari, Kecamatan Kadungora.

Geokimia organik sebagai suatu cabang ilmu geologi memiliki peranan

dalam mengetahui komposisi kimia organik dari sedimen di sub-cekungan leles. Komposisi kimia dari endapan yang dianalisis dapat memberikan informasi mengenai tipe kerogen, material organik yang menjadi input pada proses sedimentasi, serta potensi dari contoh sedimen yang diambil. Material organik pada kebanyakan sedimen merupakan campuran berbagai komponen yang berasal dari banyak sumber dengan beragam perbedaan derajat preservasi (Meyers, 2003). Eadie *et al.* (1984) menyebutkan pula bahwa selama proses terendapkannya sedimen, hampir 90% material awal dari berbagai organisme yang diendapkan mengalami remineralisasi.

Laju remineralisasi serta ketahanan material organik terhadap proses remineralisasi pada material-material organik dari beragam sumber akan berbeda satu sama lain, sehingga didapat material organik yang mengalami remineralisasi total ataupun sebagian (Meyers, 2003). Selanjutnya, Meyers (2003) juga menyebutkan bahwa sesaat setelah material organik mencapai dasar danau, material tersebut masih bisa mengalami beberapa perubahan atau remineralisasi namun dengan laju yang lebih rendah. Meskipun material organik mengalami berbagai proses sehingga bertransformasi dari sumber awalnya, namun perubahan yang terjadi pada endapan material organik ini masih menyimpan informasi *paleoenvironment* penting mengenai asal mula serta bagaimana material organik tersebut dapat diendapkan (Meyers, 2003).

Informasi- informasi yang didapat dari analisis geokimia organik dapat digunakan untuk mengonfirmasi serta memperkuat data pada proses evolusi sub-cekungan leles sebagai proses sedimentasi endapan Akhir Kuartar. Selain itu, akan didapat pula informasi penting untuk merekonstruksi kondisi

lingkungan pada proses pengendapan serta lebih jauh lagi mengevaluasi sejarah perubahan iklim. Selain dari informasi detail mengenai proses evolusi sub-cekungan, data awal geokimia yang didapat juga bisa digunakan sebagai studi analog pembentukan batuan induk yang terjadi pada suatu cekungan. Paper ini merupakan suatu tulisan pendahuluan mengenai analisis geokimia dimana data yang didapat digunakan sebagai sarana untuk mempelajari proses pembentukan batuan induk. Sementara proses pembentukan sub-cekungan secara menyeluruh akan menjadi tulisan yang dipublikasikan selanjutnya di masa yang akan datang.



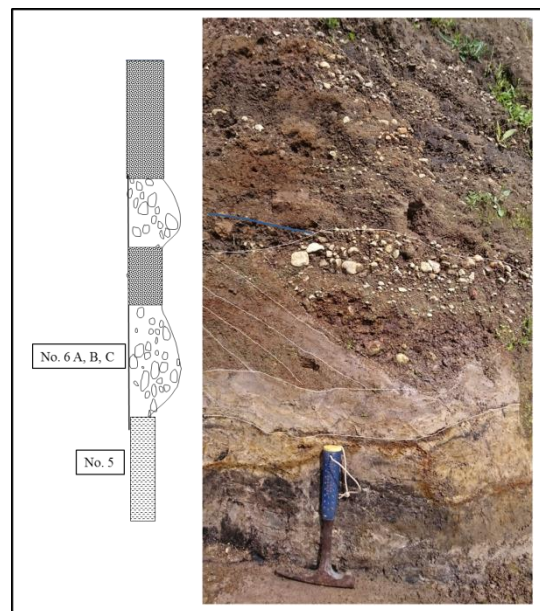
Gambar 3. Singakapan Endapan Akhir Kuartar terdiri dari sistem sungai-danau

2. GEOLOGI REGIONAL

Sub-Cekungan Leles secara fisiografi termasuk ke dalam Zona Bandung, berdasarkan Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Garut dan Pameungpeuk (M. Alzwar, dkk., 1992), terdiri dari Endapan Permukaan dan Batuan Gunungapi.

Endapan Permukaan meliputi endapan kolovium terdiri dari endapan talus, rayapan dan runtunan bagian tubuh kerucut gunung api tua, berupa bongkah-bongkah batuan beku, breksi tuf dan pasir tuf. Endapan danau terdiri dari lempung, lanau, pasir halus hingga kasar dan kerikil, umumnya bersifat tufan. Endapan alluvium terdiri dari lempung, lanau, pasir halus hingga kasar dan kerikil serta bongkah-bongkah batuan beku dan sedimen.

Batuan Gunungapi meliputi batuan yang berumur Plistosen – Holosen, yaitu Batuan Gunungapi Mandalawangi-Mandalagiri terdiri dari tuf kaca mengandung batuapung dan lava bersusunan andesit piroksen hingga basalan. Batuan Gunungapi Muda terdiri dari eflata dan lava aliran bersusun andesit-basalan. Endapan Rempah lepas Gunungapi Muda tak teruraikan terdiri dari abu gunungapi dan lapilli, tuf pasiran bongkah-bongkah, andesit-basal, breksi lahar dan rempah lepas.



Gambar 4. Penampang stratigrafi sedimentasi yang dipengaruhi oleh system sungai-danau pada lokasi sampel No. 5 dan 6 (A,B,C). Pada bagian bawah didominasi oleh batu lempung kaya akan bahan organik, terdapat sisipan debu gunungapi, pada bagian atas terdiri dari pasir kasar konglomeratik dengan komponen batuan beku dan batu apung.

3. METODE PENELITIAN

Analisa laboratorium untuk setiap unit batuan berasal dari sampel terpilih melalui pembuatan penampang stratigrafi di lokasi Lunjuk Hilir, secara umum merupakan interkalasi antara batulempung, gambut dan debu vulkanik, juga terdapat batupasir dan konglomerat berasal dari endapan sungai (gambar 3). Pengambilan sampel dilakukan secara sistematis dimana,

sebanyak 19 sampel terpilih yang diambil secara lateral searah dengan lapisan (Gambar 4). Analisa Geokimia Organik, yaitu TOC (Total Organic Content), GC dan GCMS dilakukan terhadap 5 (lima) sampel dengan No. 3C, 4C, 5.1.D, 7.2.A dan 9.2.A di Laboratorium Lemigas.



Gambar 4. Foto singkapan pengambilan sampel sebanyak 19 sampel terpilih yang diambil secara lateral searah dengan lapisan, secara keseluruhan semua sampel terdiri dari batulempung kaya akan material organik dengan sisipan abu gunung api, kecuali sampel No. 5 terdiri dari konglomerat dan pasir.

4. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Sebagai studi analogi pembentukan batuan induk, sampel sedimen daerah sub-cekungan garut telah dievaluasi hasil analisis *Rock-Eval* serta kandungan TOC-nya, serta dibuat perbandingan terhadap syarat-syarat suatu batuan bisa dikatakan batuan induk. Hasil analisis laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil analisis *Rock-Eval* dan konten TOC.

Sample ID	Lithology	TOC (wt.%)	mg/gm rock			Tmax (°C)	Oil Production Index (OP)	Potential Yield (S ₁ +S ₂)	Hydrogen Index	Oxygen Index
			S ₁	S ₂	S ₃					
3C		1.58	0.01	0.00	1.00	***	1.00	0.01	0	63
4C		5.55	0.16	0.77	4.87	396	0.17	0.93	14	88
5-1D		0.15	0.00	0.00	0.19	***	-	0.00	0	129
7-2A		5.16	0.18	0.85	4.42	398	0.17	1.03	16	86
9-2A		3.45	0.13	0.24	4.13	385	0.35	0.37	7	120

TOC yang ditunjukkan oleh sample yang diukur memiliki rentang 0,15-5,55%. Untuk mempelajari kekayaan dari batuan induk, salah satu parameter yang digunakan adalah TOC (*Total Organic Carbon*). TOC merupakan parameter yang diukur dalam satuan persen dimana TOC ini merupakan persentasi karbon organik dari total

berat batuan contoh (Clayton, 2005). TOC juga merupakan suatu indicator dari total kandungan material organik yang terdapat dalam suatu batuan (Ronov, 1958). Dari data yang didapat, TOC pada sampel yang diajukan memiliki potensi sebagai suatu batuan induk kecuali untuk sampel dengan label 5-1D dengan kadungan TOC yang rendah, yaitu 0,15%. Suatu batuan dapat dikatakan mempunyai potensi sebagai batuan induk jika memiliki kandungan TOC lebih besar dari 1,5% pada saat *immature* (Clayton, 2005). Persen berat dari total organik karbon dapat diinterpretasikan sebagai kekayaan kandungan dari batuan dengan suatu skala semikuantitatif berdasarkan Peters (1986) yang ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Interpretasi semi-kuantitatif untuk batuan induk berdasarkan persen berat TOC (Peters, 1986).

Kekayaan material organik	TOC (wt. %)
Rendah	0,0-0,5
Sedang	0,5-1,0
Baik	1,0-2,0
Sangat baik	> 2,0

Berdasarkan klasifikasi kekayaan batuan oleh Peters (1986), hasil konten TOC dari sampel yang diujikan diinterpretasikan sebagai batuan dengan kekayaan “baik” hingga “sangat baik”. Namun, TOC saja tidak cukup untuk menentukan kekayaan dari suatu batuan sehingga batuan tersebut dapat dikatakan sebagai batuan induk. Diperlukan data lain untuk mendukung kekayaan suatu batuan karena pembentukan minyak dan gas bumi juga berhubungan dengan konten hydrogen yang terdapat dalam suatu sampel (Dembicki Jr., 2009).

Konten hydrogen ini dapat dilihat dan diketahui dari hasil pengukuran *Rock Eval pyrolysis* (Espitalie *et al.*, 1977). Dembicki Jr (2009)

menyebutkan bahwa Rock-Eval dapat memperkirakan konten hydrogen dari material organik dari nilai S2 (Tabel 4.1). Selain menunjukkan data S2 hasil pengukuran menggunakan *Rock-Eval Pyrolysis* terdapat pula data S1, S3, T_{max} , *Potential Yield* (jumlah S1 dan S2), *Oil Production Index* (pembagian antara S1 dengan *Potential Yield*), *Hydrogen Index* $((S2/TOC) \times 100)$, *Oxygen Index* $((S3/TOC) \times 100)$.

Berdasarkan data yang didapat, S1 dari sampel yang diujikan di laboratorium menunjukkan angka yang bervariasi, secara umum memiliki nilai kecil yaitu 0,00-0,18. Data S1 menunjukkan jumlah hidrokarbon bebas yang terdapat dalam batuan (Clayton, 2005). Dari data yang didapat, dapat diketahui bahwa pada sampel yang diujikan tidak terdapat bitumen yang tidak tereksplisikan. Hal ini terjadi karena sampel yang diujikan merupakan sampel singkapan dengan umur sangat muda dan belum mencapai tingkat kematangan untuk suatu batuan induk yang berpotensi mengenerasikan hidrokarbon. Nilai S2 merupakan suatu nilai yang disebut dapat digunakan untuk mengukur potensial sumber, dimana sampel batuan disimulasikan untuk mengalami dekomposisi sebagaimana yang terjadi di dalam *subsurface* oleh alat *Rock-Eval pyrolysis* (Clayton, 2009).

Tabel 4. 3. Parameter kematangan T_{max} (Clayton, 2005).

Type kerogen	T_{max} pada ambang generasi minyak	T_{max} pada puncak generasi
Type I	440 °C	bervariasi sepanjang interval generasi
Type II	435 °C	455 °C
Type III	435 °C	470 °C

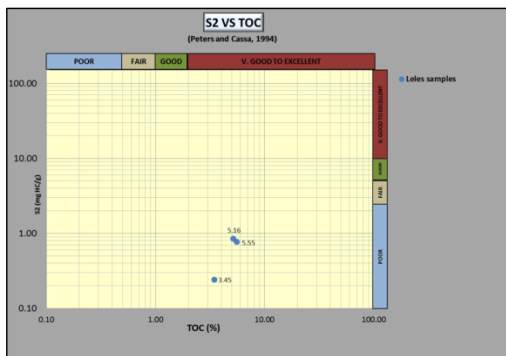
Sementara itu, nilai S3 merujuk kepada jumlah karbon dioksida yang digenerasikan selama *pyrolysis* berlangsung menunjukkan berapa banyak konten oksigen dalam suatu sampel batuan, serta merupakan fungsi dari tipe kerogen dan kematangan (Clayton, 2005). Sampel yang diujikan menunjukkan nilai S3 dengan rentang 0,19-4,87 dengan tiga sampel yang memiliki nilai S3 di atas 4,00. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat kadar karbon dioksida yang tinggi di dalam sampel lebih lanjut lagi S3 ini digunakan untuk menghitung *Oxygen Index* sehingga didapat informasi tambahan mengenai sampel yang diujikan.

T_{max} yang didapat dari hasil pengukuran *Rock Eval Pyrolysis* menunjukkan angka antara 385-398 °C yang menunjukkan bahwa sampel sedimen yang diujikan memiliki tingkat kematangan rendah. T_{max} sendiri merupakan suatu skala kematangan yang digunakan, karena T_{max} akan meningkat nilainya seiring dengan bertambahnya kematangan (Clayton, 2005). Selanjutnya Clayton (2005) menyebutkan bahwa nilai T_{max} tergantung dari litologi batuan sehingga nilainya akan spesifik untuk masing-masing batuan yang berbeda. Parameter kematangan yang didapat dari T_{max} bisa dilihat pada Tabel 4.3.

Untuk *Potential Yield* dari sampel yang diujikan, dapat dilihat bahwa sampel memiliki potensial yang rendah dalam mengenerasikan hidrokarbon. Angka *Potential Yield* yang didapat dari hasil penjumlahan S1 dan S2 adalah antara 0,00-1,03. Kemungkinan hal ini terjadi karena umur sampel batuan yang masih muda sehingga belum memiliki waktu yang cukup untuk terdekomposisi menjadi sumber hidrokarbon.

Dari *potential yield* kemudian akan didapatkan *Oil production Index* yang merupakan fungsi dari S1 dan S2. *Oil*

production index ini menunjukkan kemampuan sampel dalam mengenerasikan hidrokarbon, pada sampel yang telah diujikan didapatkan nilai 0,17-1,00. Menurut Clayton (2005), nilai production index untuk sedimen yang belum matang secara umum adalah 0,1 dan akan meningkat hingga mencapai 0,5 saat puncak generasi. Merujuk pada pernyataan ini, dapat dilihat bahwa sampel sedimen yang diujikan memenuhi kriteria production index yang cukup baik, meskipun saat disatukan dengan data-data lain terdapat hasil yang *unreliable*.

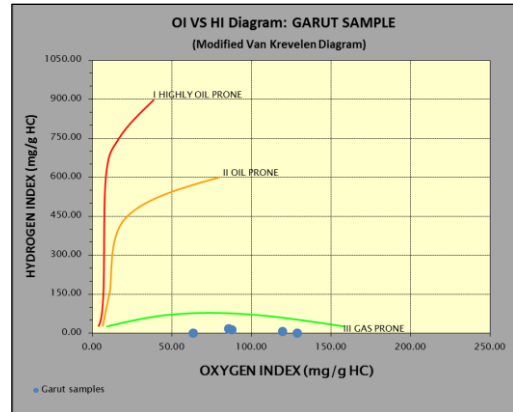


Gambar 4. 1. Plot antara S2 dan TOC yang menunjukkan sebaran data dari sampel sub-cekungan Leles.

Kombinasi antara nilai S2 dan TOC (Peters & Cassa, 1994) dapat digunakan untuk menunjukkan kekayaan dari suatu sampel batuan. Paduan data S2 dan TOC juga dapat menunjukkan berapa banyak material organik yang terdapat pada suatu sampel serta berapa banyak hydrogen yang terasosiasi dengan material organik tersebut (Dembicki Jr., 2009). Gambar 4.1 menunjukkan plot antara TOC dan S2 dari sampel yang diujikan di Laboratorium.

Berdasarkan kombinasi antara data TOC dan S2, didapat bahwa berdasarkan konten hidrogennya (nilai S2), kekayaan dari sampel batuan sebagai batuan induk adalah rendah. Hal ini dapat dilihat dari nilai S2 yang relatif rendah, sehingga meskipun kadar TOC nya tinggi tetapi kandungan

hydrogen dalam batuan tersebut rendah. Hal ini kemudian merujuk pada suatu kondisi dimana kemampuan batuan tersebut dalam mengenerasikan minyak dan gas bumi jg rendah.



Gambar 4. 2. diagram van krevelen untuk menentukan tipe kerogen dari sampel batuan

Nilai Hydrogen Index (HI) dan Oxygen Index (OI) merupakan suatu pengukuran berdasarkan rock eval pyrolysis yang dikombinasikan dengan data TOC. Nilai HI dan OI digunakan untuk menentukan tipe kerogen dari suatu sampel batuan sebagai pengganti untuk H/C dan O/C pada diagram *van Krevelen* (Clayton, 2005). Pada tulisan ini, penentuan tipe kerogen yang dilakukan dengan memplotkan data OI dan HI yang didapat dalam diagram *van Krevelen* dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Nilai OI tinggi serta nilai HI rendah membuat suatu plot pada diagram *van Krevelen* yang merujuk pada kerogen tipe III. Kerogen tipe III ini merupakan suatu jenis kerogen yang akan cenderung menghasilkan gas dibandingkan dengan minyak bumi. Sementara itu berdasarkan klasifikasi yang terdapat dalam Clayton (2005) (Tabel 4.2), suatu sampel yang memiliki nilai HI kurang dari 50 dikatakan sebagai material inert. Sampel sedimen yang diujikan disini memiliki nilai HI yang sangat rendah (0-16) sehingga ada kemungkinan bahwa sampel ini merupakan sampel dengan material

inert karena kurangnya hidrogen yang terasosiasi dengan kerogen.

Tabel 4. 4 Nilai Hidrogen Indeks berdasarkan tipe kerogen dari Clayton (2005).

Kerogen Type	Hydrogen Index
Tipe I	> 550
Tipe II	400-550
Batubara penghasil Minyak	300-400
Batubara penghasil Gas	50-300
Material inert	< 50

Lebih lanjut lagi Dembicki (2009) menyebutkan bahwa apabila suatu sampel memiliki nilai oksigen indeks tinggi sementara nilai hydrogen indeksnya rendah sehingga pada saat diplotkan di diagram van Krevelen berada di dekat sumbu x maka sampel tersebut dapat digolongkan ke dalam kerogen tipe IV. Kerogen tipe IV merupakan produk perubahan atau oksidasi yang sangat berat dari material organik pada lingkungan pengendapannya, dan karenanya tidak dapat menghasilkan hidrokarbon. Pada sampel yang dijukan, ada kemungkinan pula sampel-sample tersebut telah mengalami oksidasi yang berat karena tempat pengambilannya sampel ada pada bagian luar singkapan.

Untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci mengenai tipe kerogen dari sampel yang diujikan maka dibutuhkan analisis lain untuk mendukung hasil dari diagram van Krevelen. Dibutuhkan analisis petrografi organik untuk mengetahui jenis maseral yang terkandung dalam sampel serta untuk mendapatkan informasi asal material organik penyusun kerogen tersebut (Clayton, 2005).

5. KESIMPULAN

Dalam mempelajari karakteristkik batuan induk berdasarkan data hasil

analisis TOC dan *Rock-Eval pyrolysis*, data yang bisa digunakan adalah total organic karbon (TOC), puncak S1, S2, dan S3, T_{max} , indeks produksi minyak (OPI), *potential yield*, serta indeks hydrogen (HI) dan indeks oksigen (OI). Hasil karakterisasi semua parameter di atas menunjukkan bahwa sampel yang diambil dari singkapan di Kampung Lunjuk Hilir, Desa Talagasari, Kecamatan Kadungora, memiliki potensial yang rendah dalam menghasilkan hidrokarbon dengan tipe kerogen yang merujuk pada tipe IV. Tingginya nilai OI menunjukkan adanya kemungkinan proses pengendapan terjadi pada kondisi oksik dengan tingkat oksidasi yang sangat tinggi. Kematangan sampel yang diuji sangat rendah dan masih cukup jauh untuk mencapai *oil window*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alzwar, M., Bachri, S., & Akbar, N. (1992). *Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [2] Clayton, C. 2005. *Petroleum Generation and Migration*. Nautilus, Ltd.
- [3] Dembicki Jr, H. (2009). Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals. *AAPG bulletin*, 93(3), 341-356.
- [4] Eadie, B. J. 1984. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Great Lakes. *Advances in Environmental Science and Technology*, 14, 195-211.
- [5] Espitalie, J., Madec, M., Tissot, B., Mennig, J. J., & Leplat, P. 1977, January. Source rock characterization method for petroleum exploration. In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference.
- [6] Meyers, P. A. 2003. Applications of organic geochemistry to

- paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic geochemistry*, 34(2), 261-289.
- [7] Peters, K. E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin* 70, 318-329.
- [8] Peters, K. E., & Cassa, M. R. 1994. Applied source rock geochemistry. *Memoirs-American Association of Petroleum Geologists*, 93-93.
- [9] Ronov, A. B. 1958. Organic carbon in sedimentary rocks (in relation to the presence of petroleum). *Geochemistry*, 5, 497-509.
- [10] Sunardi, E., 2014, Kontrol struktur terhadap penyebaran batuan vulkanik Kuartar dan gunungapi aktif di Jawa Barat, *Bulletin of Sci. Contribution*, volume 12, hal. 123-127
- [11] Sunardi, E., 2014a, Reaktivasi sesar tua dan pengaruhnya terhadap pembentukan struktur geologi dan cekungan Kuartar di daerah Bandung-Garut, *Bulletin of Sci. Contribution*, volume 12, hal. 63-68
- [12] Sunardi, E., 2015, Late Quaternary Sedimentation within Leles Sub-basin, Garut, West Java-Indonesia, dalam persiapan untuk publikasi.
- [13] Van Bemmelen, R. V. (1949). The geology of Indonesia, vol. IA, *General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*, *Martinus Nijhoff, The Hague, Netherlands*, 732.