

Pengaruh Material Clay (Kaolinite/Illite) Terhadap Maturasi dan Potensi Material Organik Untuk Dasar Pengolahan Material Serpih Sebagai Energi Alternatif Pengganti BBM

Ordas Dewanto^{1*)}, Bambang Soegijono²⁾, Suharso³⁾

^{1,2)} Program Pascasarjana Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia

³⁾ Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Lampung

*Email: ordas@unila.ac.id

Abstrak

Material serpih atau material organik sejenisnya, masuk dalam kategori kerogen tipe II. Untuk mengembangkan dan membantu proses pengolahan atau pemanfaatan material organik tersebut, maka sangat perlu dilakukan penelitian yang lebih spesifik tentang material serpih berupa kelompok senyawa siklik/alifatik yang berakumulasi di dalam material clay tersebut. Material clay yang mengandung kaolinite/illite tentunya akan sangat mempengaruhi material organik tersebut, misalnya jumlah kandungan organik karbon dalam clay dan kematangan termalnya. Pengukuran tingkat kematangan termal material clay-organik dilakukan berdasarkan harga temperatur maksimum (Tmax) dari analisis pirolisis. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa material clay dengan volume yang lebih besar dari pada material organik ternyata sangat berperan besar dalam proses maturasi. Kemudian jenis material clay yang didominasi oleh material karbonat, hasilnya menunjukkan penurunan pada proses maturasi. Selain itu ditentukan juga tipe material serpih menggunakan data pirolisis rock-eval. Kombinasi antara indeks hidrogen (HI) dan Tmax pada diagram van Krevelen menunjukkan kerogen tipe II yang lebih cenderung berpotensi sebagai minyak dan gas.

Kata kunci: material serpih, kerogen, kaolinite/illite, siklik/alifatik, maturasi

1. Pendahuluan

Menurut Barkia, Belkbir dan Jayaweera (2004) bahwa pasokan energi telah menjadi masalah di seluruh dunia selama beberapa dekade terakhir. Banyak negara telah berusaha untuk mengatasi kenaikan harga minyak dan efeknya pada perekonomian. Mobilisasi sumber daya energi nasional menjadi tugas penting bagi banyak negara untuk pembangunan ekonomi dan kemajuan sosial. Al-Hamaiedh dkk (2010) mengatakan bahwa di Yordania konsumsi minyak yang tinggi dan pengurangan cadangan minyak mentah diperkirakan akan meningkatkan krisis energi, oleh karena itu pencarian sumber energi alternatif menjadi begitu penting.

Pusat Sumber Daya Geologi telah melakukan kegiatan penyelidikan material serpih minyak di 53 lokasi di Indonesia (Hadiyanto, 2009). Didukung juga oleh Tobing (2003) melakukan inventarisasi endapan bitumen (material serpih minyak) padat di daerah Ayah. Selain itu Tjahjono (2004) melakukan survey pendahuluan endapan bitumen (material serpih minyak) padat di Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah. Selama ini penelitian-penelitian yang telah berjalan belum banyak yang membahas atau meneliti secara spesifik jenis kandungan material organik yang berasosiasi dengan material clay dan mendapat perlakuan panas.

Perbandingan antara material organik dengan clay akan mempengaruhi kandungan organik karbon dan kematangan termalnya. Dalam penelitian ini massa dari clay (kaolinite/illite) akan divariasikan dan diuji sifat material organiknya. Sebelum material organik berupa kelompok senyawa siklik/ alifatik yang dipilih dipadukan dengan material clay yang mengandung kaolinite/illite maka dilakukan dahulu karakterisasi terhadap clay. Setelah diperoleh beberapa data dari hasil karakterisasi campuran material tersebut, kemudian dilakukan proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Proses pemanasan ini adalah kasus khusus termolisis terkait dengan proses kimia charring, dan yang paling sering digunakan untuk organik bahan. Hal ini terjadi secara spontan pada temperatur tinggi, selanjutnya akan dianalisis proses perubahan yang terjadi. Proses pemanasan yang dilakukan dengan metode pirolisis mengacu pada para peneliti terdahulu yaitu Katz (1983), Berraja dkk (1988), Kamtono, Praptisih dan Siregar (2005), Heryanto dan Hermiyanto (2006), Hidayat dan Fatimah (2007), Praptisih, Kamtono, Putra dan Hendrizan (2009), Hermiyanto dan Ningrum (2009).

Meskipun pada skala produksi komersial akan dihasilkan limbah cukup besar, namun ternyata secara teori limbah tersebut dapat dimanfaatkan

sebagai media tanam, bahan timbunan konstruksi jalan, bahan dasar semen. AL-Hasan (2006) telah berhasil melakukan penelitian tentang perilaku beton yang dibuat menggunakan abu material serpih minyak dan campuran semen, dan hasilnya luar biasa, beton tersebut memiliki perilaku yang kuat dan elastis. Hasil penelitian yang cukup menggembirakan, sehingga mendorong para peneliti untuk melakukan pengembangan penelitian tentang material serpih minyak, seperti yang dilakukan oleh Peters, Walters, dan Moldowan (2006), serta Dewanto (2008).

Hasil penelitian ini akan menghasilkan suatu riset sains dasar yang dapat dipakai sebagai landasan teori tentang terapan suatu ilmu pengetahuan dalam skala industri, terutama sangat bermanfaat untuk mengembangkan pengolahan material oil shale atau batuan organik sejenisnya sebagai energi alternatif.

2. Metode Penelitian

Persiapan material dengan komposisi yang diinginkan didapatkan dari komposisi material clay dengan jenis kaolinite atau illite, dan material organik yaitu kelompok senyawa siklik berupa: naftalen dan asam salisilat dan senyawa organik alifatik berupa: asam stearat dan asam laurat, dengan perbandingan tertentu dipadukan dengan ukuran butiran yang sama dilanjutkan dengan proses pembentukan dengan tekanan pres yang berbeda-beda untuk mendapatkan material yang siap dianalisis.

Karakterisasi masing-masing material sebelum dicampurkan dan setelah dicampur meliputi analisis mikroskopis dan makroskopis material. Analisis makroskopis material antara lain: kerapatan, topografi permukaan material, dan perubahan massa terhadap temperature. Disamping mendapatkan sifat makroskopis tersebut di atas diharapkan juga didapatkan karakteristik material secara mikroskopis antara lain: komposisi/jenis (kualitatif & kuantitatif), ukuran pori-pori, sistem kristal & parameter kisi.

Selain sifat mikro dan makro yang diperoleh, diharapkan juga didapatkan beberapa informasi lain dari material yang telah dilakukan pengujian, dengan melakukan perbandingan dengan beberapa literatur. Peralatan instrumentasi laboratorium yang dipergunakan dalam analisis makroskopis dan mikroskopis adalah: XRF (X-ray fluorescence), XRD (X-ray diffraction), SEM (Scanning Electron Microscopy).

Setelah campuran material tersebut di atas ditimbang dan dikarakterisasi selanjutnya dilakukan pemanasan dengan cara Pirolisis. Pirolisis digunakan untuk menentukan kandungan organik (TOC) dari beberapa campuran material, untuk menentukan kematangan material organik pada

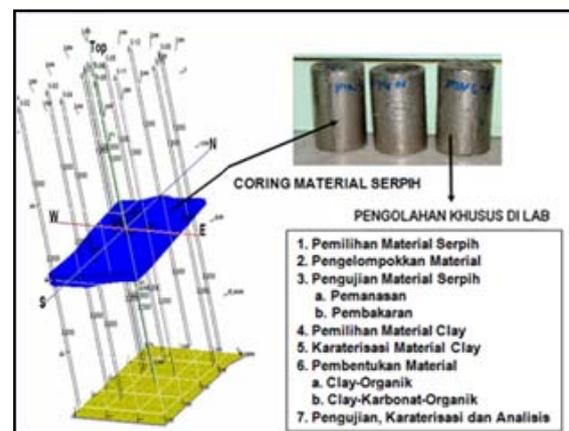
beberapa campuran material tersebut, serta untuk mendeteksi kandungan minyak/gas yang dihasilkan dari proses pemanasan. Data hasil proses pirolisis ini dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan beberapa parameter untuk menggambarkan kematangan dan potensi beberapa jenis campuran material tersebut di atas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemilihan Material

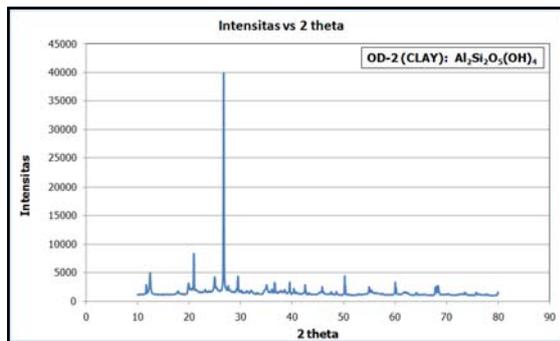
Disebabkan berbedanya kondisi dan skala pengamatan antara kondisi di laboratorium dan di reservoir, maka harus dilakukan konversi hasil pemodelan di laboratorium ke kondisi reservoir, dengan bantuan kapasitas panas pada setiap kedalaman dari sumur yang diamati untuk skala laboratorium yang dikalibrasikan, sehingga dapat dianggap berlaku dalam proses perubahan material organik menjadi material serpih minyak. Dengan demikian penelitian ini berorientasi pada usaha menghubungkan tingkat perubahan material di insitu ke laboratorium, sehingga terbentuk sebuah metoda yang sistematis untuk mempersiapkan hasil-hasil pengujian laboratorium dan perhitungan yang dapat dianggap siap pakai pada hasil keluaran sumur eksplorasi (misal: kapasitas termal dan karakteristik material batuan), sesuai dengan kondisi material reservoir yang bersangkutan.

Dalam penelitian ini digunakan material clay dan material sedimen. Rancangan penelitian di laboratorium diharapkan diperoleh gambaran karakteristik material yang diinginkan. Beberapa material yang dipakai dalam penelitian ini adalah material dengan nomor sampel OD-1, OD-2, OD-3, OD-4, OD-5, OD-6, OD-7 dan OD-8. Material clay-organik yang menunjukkan hasil terbaik adalah OD-2. Secara rinci proses pengambilan (coring), penentuan jenis material sampai ke pengolahan di laboratorium ditunjukkan dalam Gambar 1.



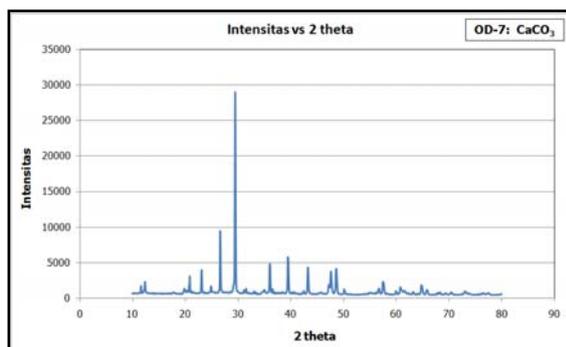
Gambar 1. Proses coring, penentuan jenis material sampai ke pengolahan.

Material dengan sampel OD-2 terdiri dari material clay. Sebelum dilakukan pencampuran dengan material organik, maka dilakukan karakterisasi material campuran tersebut dengan SEM dan XRD. Berdasarkan hasil foto SEM, material clay disini berjenis kaolinite, hal ini didukung dari hasil karakterisasi dengan XRD khusus material clay (Gambar 2).



Gambar 2. Hasil XRD OD-2 material clay

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan karakteristik material dengan sampel OD-2 yaitu berupa kaolinite $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$. Pada saat pengujian pirolisis material ini akan ditambah dengan material organik. Hasil karakterisasi material bersih dari clay dengan nomor sampel OD-7 menunjukkan material karbonat dengan nama Calcite ($CaCO_3$). Hal tersebut didukung oleh hasil karakterisasi menggunakan XRD (Gambar 3). Dari hasil XRD sampel material OD-7 memiliki beberapa pik yang dominan yaitu pik di kira-kira sudut dua theta antara 20° sampai dengan 50° (Gambar 3). Pik-pik tersebut apakah milik Ca, C atau O, maka perlu dianalisis dengan Program Match.



Gambar 3. Hasil XRD OD-3 material karbonat

Perkiraan senyawa/fasa yang terkandung dalam sampel, space group dan parameter kisi, posisi atom untuk tiap-tiap fasa diperoleh dari hasil fitting dengan software Match. Dalam prakteknya analisis data dengan menggunakan Match ini adalah lebih mudah, karena grafik "UDI" dapat

dibandingkan langsung dengan database yang dimiliki oleh software tersebut. Sejak awal dari hasil Edax SEM telah diketahui unsur penyusun sampel adalah didominasi oleh Ca, O dan C, oleh karena itu pada saat menjalankan software match, untuk mendapatkan parameter kisi, space group, posisi atom langsung memilih senyawa/unsur tersebut. Dari program Match didapat hasil yang cocok dengan unsur-unsur tersebut, dan menunjukkan Calcite ($CaCO_3$). Pada saat pengujian pirolisis material ini akan tetap bercampur dengan clay ditambah material organik.

3.2 Pengujian Pirolisis Tahap Awal

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Ini adalah proses kimia penting di beberapa memasak prosedur seperti memanggang, menggoreng dan karamel. Pirolisis juga merupakan alat analisis kimia, misalnya dengan pirolisis kromatografi gas spektrometri massa.

3.3 Analisis TOC dan Rock-Eval

Analisis material clay-organik adalah untuk mengetahui jenis bahan tersebut dan mengukur vitrinit reflektan (Ro) yang terdapat secara tersebar dalam material serpih sebagai bahan pembawa organik. Analisis ini memberikan informasi tentang peran temperatur terhadap bahan organik yang diketahui dari pengukuran reflektan vitrinit (Ro) dan sekaligus juga merupakan parameter untuk mengetahui tingkat kematangan material serpih. Pengukuran ini merupakan parameter yang baik untuk mengetahui peran temperatur terhadap material serpih dari kandungan bahan organik (kerogen). Nilai termal ini merupakan indikator tingkat kematangan material serpih.

Untuk mengetahui potensi hidrokarbon, tipe material serpih, serta tingkat kematangan termal dari material serpih, dilakukan analisis kimia-material, yaitu analisis geokimia organik yang dilakukan berupa analisis total organic carbon (TOC) dan juga pyrolysis pada 20 percontoh material clay-organik.

Tabel 1. Hasil Analisis TOC

No	TOC (%)	S1	S2	S3	PY
		(mg/g)			
1	19,94	543,66	61,40	17,32	605,06
2	34,38	574,42	78,03	19,50	652,45
3	9,14	141,63	22,90	37,45	164,53

Pada penelitian ini pengujian berhasil dilakukan pada 3 percontoh material clay-organik yaitu pada sampel OD2/Ast1 (no:1), OD2/Ast2 (no:2) dan material karbonat-organik OD7/Asl3 (no:3). Hasil pengujian pirolisis pada tiga percontoh material clay-organik dan karbonat-organik ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 2. Dua material clay-organik (sampel nomor 1 dan 2) menunjukkan potensi hidrokarbon sangat baik $PY=605,06-652,45$ mg/g material clay-organik dan $TOC=19,94-34,38\%$. Kemudian satu material clay-organik menunjukkan potensi yang sedang ($PY=164,53$ mg/g material clay-organik dan $TOC=9,14\%$).

Tabel 2. Hasil Analisis Pirolisis

No	PI	PC	T _{max} (°C)	HI	OI
1	0,90	50,22	323	308	87
2	0,88	54,15	322	227	57
3	0,86	13,66	493	251	410

3.4 Potensi Material Serpilh

Berdasarkan hasil analisa TOC dan pirolisis diperoleh hasil kandungan karbon organik material bervariasi dari kategori sedang pada sampel OD7/Asl3 ($TOC=9,14\%$) dan kategori baik pada sampel OD2/Ast1 ($TOC=19,94\%$) dan sangat baik pada sampel OD2/Ast2 ($TOC=34,38\%$). Hasil analisis pirolisis menunjukan hal yang sama, dari lima material serpilh dengan nilai $TOC>0,5\%$ menunjukkan kandungan organik yang sedang sampai tinggi dengan nilai S₂ yang cukup tinggi.

Material OD2/Ast2 mengandung material clay yang cukup banyak dibandingkan dengan material organik. Begitu juga untuk material OD7/Asl3 mengandung material karbonat yang cukup banyak dibandingkan dengan material organiknya. Dari kedua jenis material yang bercampur dengan organik tersebut ternyata hasil karakteristiknya berbeda, dimana material clay sangat mempengaruhi proses pemanasan dari material organik tersebut, sehingga hasil dari pirolisis menunjukkan nilai TOC yang berbeda, yaitu sedang dan tinggi. Sedangkan untuk sampel OD2/Ast1 mengandung material clay yang lebih sedikit dibandingkan dengan material organiknya, sehingga pengaruh dari material clay tidak terlalu besar seperti sampel OD2/Ast2. Hasil pirolisis menunjukkan bahwa nilai TOC cukup tinggi juga dibandingkan sampel OD7/Asl3. Untuk OD7/Asl3 mempunyai kandungan karbonat dan organik, dan hasil pirolisis menunjukkan bahwa nilai TOC tidak tinggi. Analisis secara detail belum bisa dilakukan, karena material hasil pengujian ini perlu dikarakterisasi kembali menggunakan SEM dan XRD. Selain itu memerlukan beberapa perbandingan dari 20 sampel material clay-organik.

Pengukuran tingkat kematangan termal material clay-organik dilakukan berdasarkan harga temperatur maksimum (T_{max}) dari analisis pirolisis. Tiga material serpilh dianalisis kematangan termalnya dan menunjukkan nilai 322°C, 323°C, dan 493°C, yang mencerminkan tingkat kematangan termal awal matang (early mature) untuk OD2 dan mature untuk OD7. Selain itu ditentukan juga tipe material serpilh menggunakan data pirolisis rock-eval. Kombinasi antara indeks hidrogen (HI) dan T_{max} pada diagram van Krevelen menunjukkan kerogen tipe II yang lebih cenderung berpotensi sebagai minyak dan gas.

Tabel 3. Potensi material serpilh berdasarkan HI dan OI

No	HI	OI	Produk Utama	Kuantitas Relatif
1	308	87	Oil	Sedang
2	227	57	Oil dan Gas	Kecil
3	251	410	Oil dan Gas	Kecil

Tabel 3, menunjukkan potensi material serpilh berdasarkan HI dan OI. HI merupakan hasil dari $(S_2 \times 100)/TOC$ dan OI adalah $(S_3 \times 100)/TOC$. Kedua parameter ini harganya akan berkurang dengan naiknya tingkat kematangan. Harga HI yang tinggi menunjukkan material serpilh didominasi oleh material organik yang bersifat oil prone, sedangkan nilai OI tinggi mengindikasikan dominasi material organik gas prone. Waples (1985) menyatakan nilai HI dapat digunakan untuk menentukan jenis material serpilh utama dan material organik yang dihasilkan.

Tabel 4. Potensi material serpilh berdasarkan HI dan OI (Waples, 1985)

HI	Produk Utama	Kuantitas Relatif
<150	Gas	Kecil
150 – 300	Oil & Gas	Kecil
300 – 450	Oil	Sedang
450 – 600	Oil	Banyak
> 600	Oil	Sangat banyak

Dasar penentuan potensi material serpilh berdasarkan beberapa hasil penelitian teori pendahuluan yang telah berhasil dilaksanakan. Misal teori dari Waples (1985) yang dijadikan dasar untuk mengetahui potensi dari material serpilh minyak (Tabel 4).

Perbandingan antara material organik dengan clay/karbonat akan mempengaruhi kandungan organik karbon dan kematangan termalnya. Dalam penelitian ini massa dari clay (kaolinite) atau karbonat divariasasi dan diuji sifat material

organiknya. Secara keseluruhan hasil pengujian pirolisis belum dapat dianalisis secara detail, karena masih memerlukan data-data tambahan dan pendukung, namun secara tidak langsung hasil penelitian ini sudah bisa menjawab hipotesis penelitian ini, meskipun belum dapat disampaikan secara detail. Material clay dengan volume yang lebih besar dari pada material organik ternyata sangat berperan besar dalam proses maturasi. Selain itu jenis material clay yang didominasi oleh material karbonat, hasilnya menunjukkan penurunan pada proses maturasi material serpih tersebut. Pembuatan diagram dari masing-masing data pirolisis sangat penting dilakukan, untuk analisis dan evaluasi, serta hasil karakterisasi material.

4. Kesimpulan

- Dua sampel material clay-organik masuk dalam kerogen tipe II (siklik) dengan nilai Tmax 323°C dan 322°C yang mencerminkan tingkat kematangan termal awal matang (early mature).
- Material OD2/Ast1 dan OD2/Ast2 menunjukkan potensi hidrokarbon baik (PY= 605,06-652,45 mg/g material clay-organik dan TOC= 19,94-34,38%).
- Meskipun jenis material clay nya berbeda, ternyata clay sangat mempengaruhi proses pemanasan dari material organik tersebut, dibanding material karbonat, sehingga hasil dari pirolisis menunjukkan nilai TOC yang bervariasi, namun jenis material clay illite dan karbonat kemungkinan pengaruhnya tidak begitu besar terhadap proses pemanasan material organik dalam serpih.

Daftar Pustaka

Al-Hamaiedh, H., Maaitah, O., and Mahadin, S. 2010. *Using Oil Shale Ash in Concrete Binder*. EJGE Vol. 15, Bund. F. P. 601-608

AL-Hasan, N. 2006. *Behavior of concrete made using oil shale ash and cement mixtures*. Oil Shale. Vol. 23, No. 2, ISSN: 0208-189X pp. 135-143.

Barkia, H., Belkbir, L. and Jayaweera, S.A.A. 2004. *Thermal analysis studies of oil shale residual carbon*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 76 (2), pp.615-622.

Berraja, T., Barkia, H., Belkbir, L., and Jayaweera, S.A.A. Sept. 1988. *Thermal analysis studies of the combustion of Tarfaya oil shale*. Proceeding of an International Conference on Carbon, Carbon'88, Eds. B. McEnaney and T.J. Mays, Univ. Newcastle Upon Tyne, UK, 18-23.

Dewanto, O. 17-18 November 2008. *Menentukan Kondisi Batuan Organik Di Daerah 'X' Sumatera Tengah, Berdasarkan Estimasi Kapasitas Termal Batuan Reservoir*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.

ISBN: 978-979-1165-74-7. V. 132-141.

Dewanto, O., Bahri, S. dan Atmojo, J.P. November 3-5, 2008. *Analisis Perubahan Sifat-Sifat Fisika Batuan Organik terhadap Aliran Panas Bumi di Daerah 'X' Sumatera, untuk Menentukan Kandungan dan Daerah Oil Shale sebagai Sumber Energi Baru*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan, HAGI 33rd Annual Convention & Exhibition, Hyatt Regency Bandung. ISBN: 978-979-8126-05-5.

Grim, R.E. 1962. *Applied Clay Mineralogy*. McGraw Hill Book Company. New York. p. 1 - 51.

Hermiyanto, M.H. and Ningrum, N.S. September 2009. *Organic petrology and Rock-Eval characteristics in selected surficial samples of the Tertiary Formation, South Sumatra Basin*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol.4 No.3, p: 215-227.

Heryanto, R. 2 Juni 2007. *Hubungan Antara Diagenesis, Reflektan Vitrit, dan Kematangan Batuan Pembawa Hidrokarbon Batuan Sedimen Miosen di Cekungan Bengkulu*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No.2. p: 99-111.

Heryanto, R. dan Hermiyanto, H. Maret 2006. *Potensi batuan sumber (source rock) hidrokarbon di Pegunungan Tigapuluh, Sumatera Tengah*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 1 No.1, p: 37-48.

Hidayat, R. dan Fatimah. 2007. *Inventarisasi Kandungan Minyak Dalam Batuan Daerah Kedungjati, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah*. Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan. Pusat Sumber Daya Geologi.

Illops, S. and Killops, V. 2005. *Introduction to Organic Geochemistry*. 2nd ed. Ix+393 pp. Oxford: Blackwell Publishing. ISBN: 0 632 06504 4.

Ismangil dan Hanudin, E. 2005. *Degradasi Mineral Batuan Oleh Asam-Asam Organik*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan. Vol 5 (1), p: 1-17.

Kamtono, Praptisih, dan Siregar, M.S. 2005. *Studi Potensi Batuan Induk Pada Sub Cekungan Banyumas dan Serayu Utara*. Riset. Geologi dan Pertambangan Jilid 16 No.1.

Katz, B.J., 1983. *Limitations of 'Rock-Eval' pyrolysis for typing organic matter*. Organic Geochemistry 4, p.195-199.

Peters, K.E., Walters, C.C., and Moldowan, J.M. 2006. *The biomarker guide: V.1 Biomarkers and isotopes in the environment and human history*. Cambridge University Press, 471 pp.

Praptisih, Kamtono, Putra, P.S. dan Hendrizan, M. September 2009. *Karakteristik Batuan Sumber (Source Rock) Hidrokarbon pada Formasi Batuasih di daerah Sukabumi, Jawa Barat*. Jurnal Geologi Indonesia. Vol. 4 No.3, p:167-175.

Tjahjono, J.A.E. 2004. *Survey Pendahuluan Endapan Bitumen Padat di Daerah Sendangharjo dan Sekitarnya, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah*. DIM, Bandung.

Tobing, S.M. 2003. *Inventarisasi Bitumen Padat dengan 'Outcrop Drilling' di Daerah Ayah, Kabupaten Kebumen, Propinsi Jawa Tengah*. DIM, Bandung.

Waples, D.W. 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Brown and Ruth Laboratories Inc, Denver Colorado, 33pp.

Waples, D.W. 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Developmen Co., Boston, 232 h.