



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Eddy Ariyono Subroto

**PERAN GEOKIMIA PETROLIUM
DALAM USAHA EKSPLORASI MIGAS
DI INDONESIA**

30 September 2011
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

Hak cipta ada pada penulis

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
30 September 2011

Profesor Eddy Ariyono Subroto

**PERAN GEOKIMIA PETROLEUM
DALAM USAHA EKSPLORASI MIGAS
DI INDONESIA**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: PERAN GEOKIMIA PETROLEUM DALAM USAHA
EKSPLORASI MIGAS DI INDONESIA
Disampaikan pada sidang terbuka Majelis Guru Besar ITB,
tanggal 30 September 2011.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Data katalog dalam terbitan

Eddy Ariyono Subroto

**PERAN GEOKIMIA PETROLEUM DALAM USAHA EKSPLORASI
MIGAS DI INDONESIA**

Disunting oleh Eddy Ariyono Subroto

Bandung: Majelis Guru Besar ITB, 2011

vi+42 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-40-4

1. **Rekayasa Struktur** 1. Eddy Ariyono Subroto

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh,

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan jalan dan kemudahan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan naskah pidato ilmiah ini yang dibacakan pada hari Jumat, 30 September 2011 di dalam Sidang Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung.

Pidato ilmiah ini berjudul "**Peran geokimia petroleum dalam usaha eksplorasi migas di Indonesia.**" Sengaja judul ini yang penulis pilih untuk menunjukkan arti penting ilmu geokimia, dalam hal ini geokimia petroleum, terhadap usaha pemenuhan salah satu kebutuhan negara, yaitu energi. Energi hidrokarbon yang umumnya dipergunakan pada saat ini adalah yang tergolong konvensional. Mengingat semakin terbatasnya energi hidrokarbon konvensional ini, maka di masa depan negara harus sudah mulai mengembangkan eksplorasi untuk energi hidrokarbon bukan konvensional. Ternyata, baik di dalam pengembangan energi hidrokarbon konvensional maupun yang bukan konvensional, peran geokimia petroleum ini sangat berarti. Dengan demikian, selain berperan sebagai ilmu, geokimia petroleum ini juga berperan pula sebagai alat penunjang eksplorasi energi.

Pidato ilmiah ini merupakan pertanggungjawaban akademik penulis sebagai guru besar di Institut Teknologi Bandung kepada masyarakat

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Sejarah Pencarian Minyak Bumi | 2 |
| 1.2. Sejarah Eksplorasi dan Penemuan Minyak Bumi di Indonesia | 5 |
| 2. LATAR BELAKANG | 7 |
| 3. KEROGEN | 8 |
| 3.1 Pembentukan Kerogen | 10 |
| 3.2 Komposisi (Tipe) Kerogen | 12 |
| 3.3 Kematangan Kerogen | 16 |
| 3.4 Pembentukan Hidrokarbon | 20 |
| 4. BIOMARKER | 21 |
| 5 PERAN GEOKIMIA PETROLEUM DALAM EKSPLORASI HIDROKARBON DI INDONESIA | 26 |
| 7 PENUTUP | 29 |
| 8. UCAPAN TERIMA KASIH | 30 |
| DAFTAR PUSTAKA | 32 |
| CURRICULUM VITAE | 35 |

ilmiah maupun masyarakat umum yang sebagian isinya berupa hasil penelitian dan pengembangan ilmu geokimia petroleum yang telah penulis lakukan. Semoga tulisan ini mempunyai arti bagi pembacanya dan juga merupakan sumbangan penulis terhadap kemajuan ilmu, khususnya ilmu geokimia petroleum, dan juga sebagai sumbangan amaliah penulis.

Bandung, 30 September 2011

Wasalam,

Eddy Ariyono Subroto

PERAN GEOKIMIA PETROLEUM DALAM USAHA EKSPLORASI MIGAS DI INDONESIA

1. PENDAHULUAN

Penelitian bersistem akumulasi petroleum dimulai pada akhir abad ke-19 dengan diterimanya 'teori antiklin'. Paham tentang pergerakan vertikal petroleum di dalam medium yang statis mulai dipakai. Studi sistem aliran multifasa terhadap gas, minyak, dan air menghasilkan teori hidrodinamik. Penelitian diarahkan pada pendeteksian struktur bawah tanah yang mungkin dapat menampung akumulasi petroleum. Metode geofisika telah dikembangkan dan sering berhasil menemukan struktur tersebut. Akan tetapi, waktu (kapan) dan jumlah minyak yang terbentuk jarang diperhatikan. Kemudian, terutama sekitar lima sampai enam dekade terakhir ini, studi geokimia organik menyajikan data kimia yang sangat diperlukan untuk mempelajari pembentukan, migrasi, dan akumulasi petroleum. Dari data tersebut, konsep baru kemudian dikembangkan, yaitu bahwa pembentukan petroleum tergantung atas temperatur dan waktu, juga proses rumit tentang migrasi dan akumulasi minyak bumi.

Ilmu geokimia petroleum adalah ilmu yang menerapkan prinsip kimia untuk mempelajari asal-mula, migrasi, akumulasi, dan alterasi petroleum yang dikaitkan dengan eksplorasi minyak dan gas bumi

(migas). Tidak ada data yang akurat tentang awal penggunaan prinsip geologi atau prinsip geokimia terhadap pencarian minyak bumi. Meskipun demikian, penggunaan ilmu geokimia secara signifikan di dalam pencarian migas dimulai ketika ditemukan alat analisis yang relatif semakin canggih, seperti kromatografi gas (GC) dan spektrometer massa (MS) sekitar tahun lima-puluhan. Sejak itu ilmu geokimia merupakan ilmu yang hampir selalu dipergunakan secara efektif dalam eksplorasi migas di berbagai belahan dunia.

1.1. Sejarah Pencarian Minyak Bumi

Rembesan minyak bumi alami telah diketahui sejak awal sejarah kehidupan manusia dan sering diikuti dengan penggalian sumur (dengan tangan) di sekitar lokasi rembesan. Pembahasan tentang sejarah pencarian migas ini umumnya didasarkan dari buku yang ditulis oleh Hunt (1979).

Di dunia sebenarnya terdapat dua teori pembentukan hidrokarbon, yaitu teori anorganik dan organik. Meskipun teori organik sebenarnya sudah sejak lama dikenal atas usulan Georgius Agricola (Gambar 1.1) pada abad ke 16, sedangkan beberapa teori yang menyatakan bahwa hidrokarbon berasal dari anorganik dikembangkan pada abad kesembilanbelas. Pelopornya antara lain adalah kimiawan Rusia, Dmitri Mendeleev. Teori anorganik tampaknya kurang populer karena kurang pengikut, bahkan tidak ada satu pun perusahaan minyak dari Barat yang menerapkan teori ini. Teori kedua adalah teori organik. Teori ini

berkembang pesat dan banyak diikuti oleh ahli dan juga perusahaan minyak bumi. Teori ini menyatakan bahwa hidrokarbon terbentuk dari organisme yang tertimbun di dalam sedimen.



Gambar 1.1: Georg Power (Georgius Agricola), orang pertama yang mengusulkan teori biogenik pada abad keenambelas (sumber: Wikipedia).

Pada awal sejarahnya, petroleum sering didapatkan sebagai hasil ikutan pengeboran air garam. Dahulu kala, orang mencari minyak bumi hanya dengan mengandalkan alat sederhana, misalnya ranting yang bercabang tiga (Gambar 1.2). Kemudian setelah alat canggih mulai diciptakan, maka berkembanglah metode geofisika. Metode ini cukup sukses pada awalnya. Setelah semakin sulit mendapatkan minyak bumi, maka lahirlah metode yang lebih baru, yaitu geokimia.



Gambar 1.2.: Pencarian minyak pada awal sejarah dengan menggunakan ranting cabang tiga (sumber: *Missouri Department of Natural Resources*).

Meskipun metode canggih belum ditemukan, dengan peralatan sederhana, minyak bumi telah menorehkan catatan sejarah yang cukup panjang, misalnya terdapat catatan bahwa Confucius menyebut adanya sumur dengan kedalaman beberapa ratus meter pada tahun 600 SM. Pengeboran di Cina telah mencapai kedalaman sekitar 1000 meter pada tahun 1132. Pada akhir abad ke-18, lapangan minyak Yenangyaung di Burma mempunyai lebih dari 500 sumur dengan produksi sekitar 40.000 ton per tahun. Industri migas di Rusia yang cukup terkenal adalah lapangan Baku. Pada awal perkembangannya pada tahun 1870, produksi tahunannya mencapai 28.000 ton. Perkembangan industri minyak di Amerika dipelopori oleh Kolonel Edwin L. Drake yang melakukan

pengeboran di dekat Titusville, Pennsylvania, pada tahun 1859. Pada tahun 1871, 700.000 ton minyak bumi yang merupakan 91 persen produksi dunia berasal dari Pennsylvania; dari sumur yang dikelola Drake.

1.2. Sejarah Eksplorasi dan Penemuan Minyak Bumi di Indonesia

Sejarah eksplorasi dan penemuan minyak bumi di Indonesia ini disadur dari buku "Limapuluh Tahun Pertambangan dan Energi dalam Pembangunan" terbitan Departemen Pertambangan dan Energi Republik Indonesia (1995) dan dari buku "Empatpuluh Tahun Peranan Pertambangan dan Energi Indonesia 1945-1985" terbitan Departemen Pertambangan dan Energi (1985). Pencarian minyak bumi di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1871, ketika Indonesia masih bernama Hindia Belanda pada saat itu. Pengeboran beberapa sumur minyak bumi telah dilakukan di Jawa Barat pada tahun itu, meskipun ternyata hasilnya nihil. Pada tahun 1883, A.J. Zijlker, seorang administratur perkebunan di daerah Langkat, Sumatra Utara, secara kebetulan menemukan rembesan minyak bumi yang menandakan terdapatnya minyak bumi. Zijlker kemudian memulai usaha eksplorasinya setelah mendapatkan izin (konsesi) dari Sultan Langkat (Tanjung Pura). Setelah berusaha selama dua tahun, maka pada tanggal 15 Juni 1885 Zijlker akhirnya berhasil menemukan minyak bumi dari sumur Telaga Tunggal yang ternyata cukup ekonomis untuk dieksploitasi. Lapangan minyak tempat pengeboran Telaga Tunggal berada kemudian dikenal dengan nama lapangan Telaga Said yang

merupakan titik awal produksi minyak bumi di Indonesia. Pada tahun 1890 konsesi A.J. Zijlker dialihkan kepada perusahaan minyak *De Koninklijke Nederlandsche Matschappij tot Ezploitatie van Petroleumbronnen in Nederlandsche Indie* (De Koninklijke).

Penemuan minyak ini ternyata memacu eksplorasi di daerah lain di Hindia Belanda, seperti di Surabaya, Cepu, Jambi, Aceh Timur, Palembang, dan Kalimantan Timur. Keadaan ini menyebabkan munculnya beberapa perusahaan minyak besar dan kecil di Hindia Belanda pada akhir abad ke-19. Akan tetapi beberapa perusahaan itu akhirnya bergabung, sehingga di awal abad ke-20 terdapat dua perusahaan minyak besar saja, yaitu De Koninklijke milik Pemerintah Belanda dan *Shell Transport and Trading Company* (Shell) yang merupakan perusahaan modal Inggris. Shell mempunyai daerah konsesi di Kalimantan Timur yang sejak tahun 1897 telah menghasilkan minyak di lapangan Sanga-Sanga. Untuk mengelola minyak di daerah itu, Shell telah membangun kilang minyak di Balikpapan. De Koninklijke juga mempunyai daerah konsesi, yaitu di lapangan minyak Telaga Said dan Perlak (Sumatra Utara). Sama dengan Shell, perusahaan ini juga membangun kilang minyak di Pangkalan Brandan untuk mengelola minyak bumi yang dihasilkan di Sumatra Utara. Kilang ini beroperasi sejak tahun 1891. Selain itu, De Koninklijke juga membangun kilang minyak di Plaju yang beroperasi sejak tahun 1904. De Koninklijke juga mencatat sejarah pemasangan pipa yang relatif panjang (sekitar 130 km)

yang menghubungkan lapangan minyak Perlak dan kilang di Pangkalan Brandan pada tahun 1901.

2. LATAR BELAKANG

Kenaikan permintaan minyak dan gas bumi dan penurunan pasokannya memacu peningkatan aktivitas eksplorasi petroleum. Ladang migas baru harus ditemukan dan daerah yang sudah dieksplorasi harus diperhitungkan kembali untuk cadangan migas yang baru. Karena ternyata semakin lama pencarian migas semakin sulit, maka geologiwan merasa perlu mengerti geokimia petroleum. Beberapa pertanyaan seperti: apakah komposisi petroleum? Bagaimana terjadinya petroleum dan bagaimana mekanisme migrasinya dari batuan induk ke tempat terperangkapnya di bawah permukaan? Bagaimana perubahan fasanya jika dikaitkan dengan kedalaman, temperatur, dan tekanan? Yang paling penting adalah bagaimana geologiwan dapat mempergunakan ilmu geokimia agar dapat menolong menemukan akumulasi migas yang komersial?

Karena permintaan yang semakin meningkat tersebut, maka pasokan migas konvensional juga semakin menipis. Maka mulailah dilakukan usaha untuk mendapatkan hidrokarbon yang bersifat alternatif. Yang termasuk di dalam kelompok hidrokarbon (umumnya gas) alternatif ini antara lain: gas biogenik, gas metana batubara (CBM: *coal bed methane*), gas

serpilh (*shale gas*), dan gas hidrat. Di kancah penghasil gas, Indonesia termasuk dalam sepuluh besar dengan hasil lebih dari 85.7000.000.000 meter kubik per tahun. Hasil tersebut masih diperoleh sebagian besar dari gas alam tradisional dan gas biogenik. Di dalam tulisan ini dibahas asal-muasal pembentukan hidrokarbon dan beberapa teknik eksplorasinya terutama yang berhubungan dengan peran ilmu geokimia petroleum.

3. KEROGEN

Dalam mempelajari asal-usul migas, kerogen selalu merupakan material yang sering disebut, karena kerogen dianggap sebagai cikal-bakal migas. Pembahasan kerogen ini terutama didasarkan pada tulisan Waples (1985). Kerogen umumnya didefinisikan sebagai bagian material organik yang terdapat di dalam batuan sedimen yang tidak larut dalam pelarut organik sederhana. Tidak larutnya kerogen karena molekulnya berukuran besar. Karakteristik kimia dan fisika kerogen sangat dipengaruhi oleh macam molekul biogenik material asal dan oleh transformasi akibat diagenesis molekul organik tersebut. Komposisi kerogen juga dipengaruhi oleh proses pematangan termal (katagenesis dan metagenesis) yang mengubah kerogen tersebut. Pemanasan di bawah permukaan menyebabkan reaksi kimia yang memecah fragmen kecil kerogen menjadi minyak bumi.

Di dalam geokimia petroleum, kerogen merupakan sesuatu yang

penting, karena kerogen merupakan sumber dari sebagian besar migas. Sejarah diagenesis dan katagenesis kerogen, juga kondisi alami material organik penyusunnya, sangat mempengaruhi kemampuan kerogen memproduksi migas. Karena itu pengetahuan dasar bagaimana kerogen terbentuk dan berubah (tertransformasi) di dalam lapisan bawah permukaan merupakan hal penting untuk mempelajari bagaimana dan dimana hidrokarbon terbentuk, apakah hidrokarbon tersebut terdiri dari minyak bumi atau gas, dan berapa banyak migas yang mungkin terbentuk.

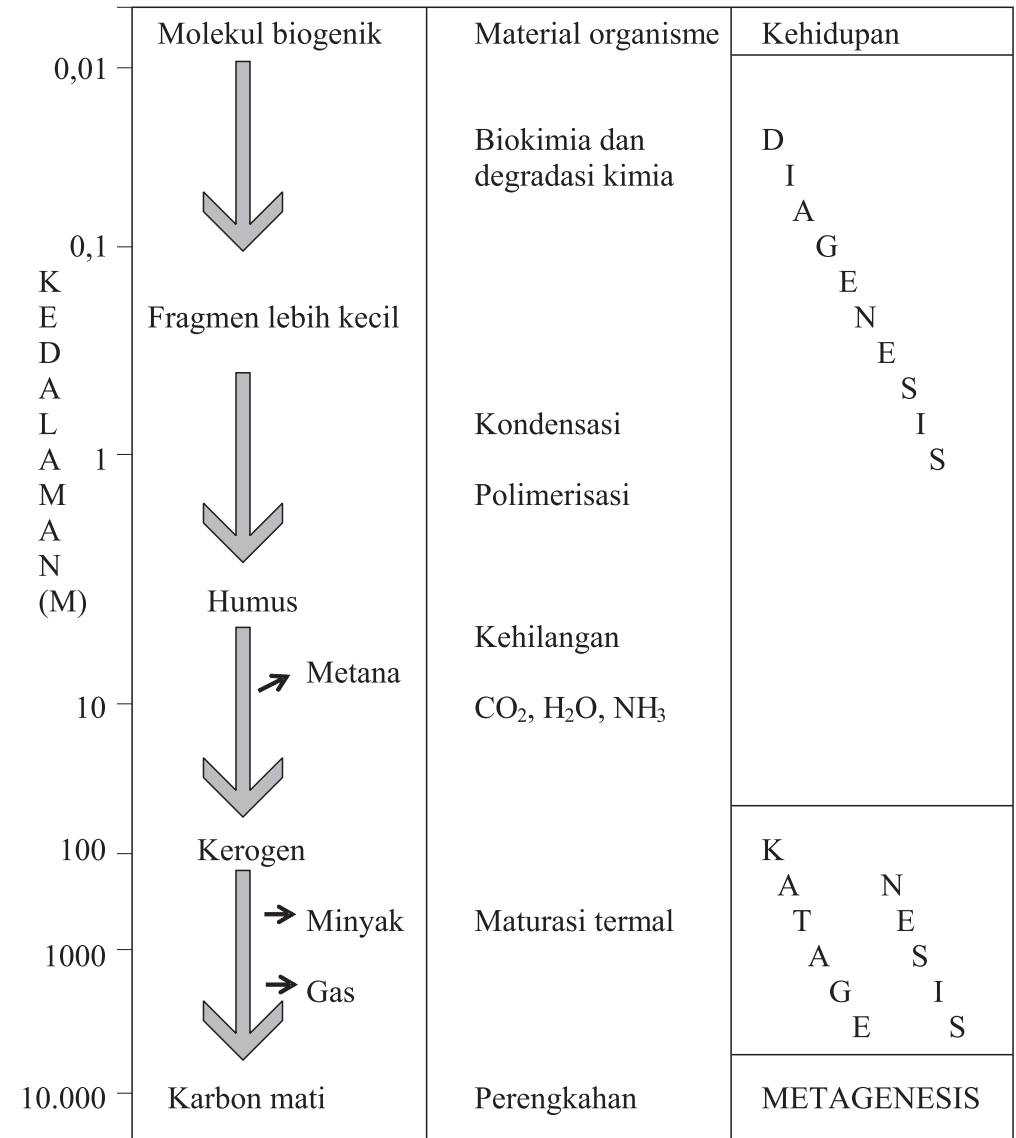
Istilah kerogen mulanya dipergunakan untuk mendeskripsi material organik di dalam serpilh minyak (*oil shale*) yang terbentuk akibat pemanasan. Saat ini, istilah itu dipergunakan untuk mendeskripsi material organik baik di dalam batubara maupun serpilh minyak, dan juga material organik yang tersebar di dalam batuan sedimen. Batubara merupakan contoh kerogen. Batubara humus (*humic coal*) merupakan kerogen yang terbentuk terutama dari material tanaman darat (tumbuhan tinggi, *higher plants*) tanpa dicampuri oleh mineral. Batubara alga (*algal coal*) terbentuk dalam suatu lingkungan yang mampu membuat kerangka fitoplankton kekurangan komponen gampingan dan silikaan. Secara kontras, serpilh minyak mempunyai material mineral yang lebih banyak dibandingkan batubara alga, dengan catatan bahwa beberapa material anorganik tersebut sering merupakan bagian yang berasal dari kontribusi alga. Batubara dan serpilh minyak -karena itu- dapat dianggap sebagai

batuan sedimen yang mengandung kerogen tipe tertentu dalam konsentrasi tinggi.

3.1. Pembentukan Kerogen

Proses pembentukan kerogen mulai ketika destruksi (perusakan) dan transformasi di tubuh organisme terjadi (Gambar 3.1). Biopolimer organik berukuran besar (misalnya protein dan karbohidrat) sebagian atau seluruhnya terurai dengan beberapa komponennya terusak atau terpakai untuk membentuk geopolimer baru, yaitu molekul besar yang tidak memiliki struktur biologi teratur. Geopolimer ini merupakan prazat (*precursor*) kerogen tetapi bukan kerogen sebenarnya. Geopolimer ini yang paling kecil biasanya disebut asam fulvik (*fulvic acid*); yang sedikit lebih besar disebut asam humus (*humic acid*), dan yang lebih besar lagi disebut humin. Sewaktu terjadi diagenesis di dalam kolom air, tanah dan sedimen, geopolimer menjadi lebih besar, lebih kompleks dan lebih tidak teratur strukturnya. Kerogen sebenarnya, yang memiliki berat molekul sangat tinggi, berkembang setelah tertimbun puluhan atau ratusan meter.

Kondisi kimia terinci pembentukan kerogen tidak dibahas di sini. Diagenesis menyebabkan hilangnya air, karbon dioksida, dan amonia dari geopolimer asalnya (Gambar 3.1). Jika proses reduksi sulfat anaerobik terjadi dalam sedimen, sejumlah besar sulfur akan tergabung ke dalam struktur kerogen. Jumlah sulfur yang dihasilkan dari material organik asal relatif sangat kecil. Karbon-karbon yang berikatan ganda -yang sangat



Gambar 3.1.: Transformasi material organik dalam sedimen dan batuan sedimen (diadaptasi dari Waples, 1985).

reaktif- terubah menjadi senyawa jenuh atau senyawa berstruktur siklik.

Pembentukan kerogen bersaing dengan perusakan material organik

akibat proses oksidasi. Kebanyakan oksida material organik di dalam sedimen melibatkan mikroba. Mikroorganisme cenderung merusak molekul kecil yang biogenik atau sejenisnya. Geopolimer cukup tahan terhadap degradasi bakteri karena sistem enzim bakteri tidak dapat merusaknya. Dalam suatu lingkungan oksidasi, molekul biogenik kecil akan dirusak oleh bakteri sebelum molekul tersebut membentuk geopolimer. Dalam lingkungan reduksi (oksigen rendah) kebalikan hal di atas terjadi; lambatnya aktivitas bakteri memberikan kesempatan molekul biogenik membentuk geopolimer dan karena itu terjadilah pengawetan material organik. Kerogen yang terbentuk dalam kondisi reduksi akan terdiri atas fragmen berupa molekul biogenik. Kerogen yang terbentuk dalam kondisi oksidasi terutama terdiri atas molekul biogenik yang tahan degradasi.

3.2. Komposisi (Tipe) Kerogen

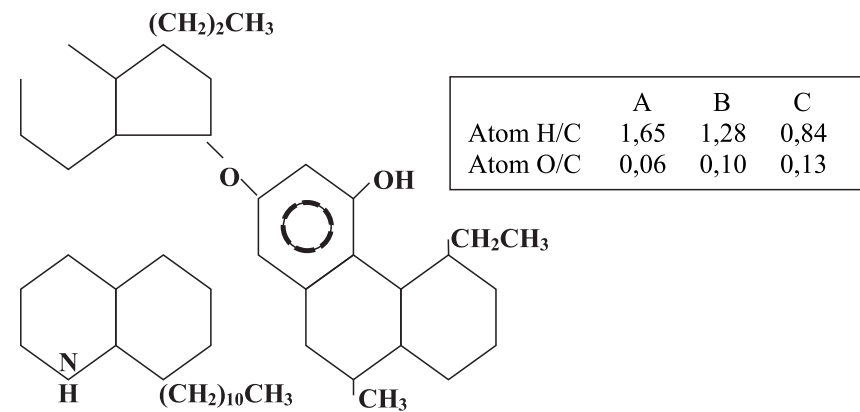
Karena setiap molekul kerogen unik, maka tidaklah terlalu berguna membahas komposisi kimianya secara terinci. Barangkali akan lebih berguna jika pembahasan justru diarahkan kepada pengetahuan komposisi umum kerogen dan menghubungkan dengan kapasitasnya memproduksi migas. Salah satu cara adalah dengan mengelompokkan kerogen menjadi beberapa tipe. Kerogen tipe I sangat jarang, karena kerogen itu berasal dari alga danau. Contoh yang terkenal di dunia adalah serpih *Green River*, berumur Eosen, dari Wyoming, Utah, dan Colorado.

Untuk di Indonesia, contoh utama yang sering dirujuk dalam literatur adalah kerogen dari Cekungan Sumatra Tengah. Terdapatnya kerogen tipe I ini terbatas pada danau yang anoksik dan jarang didapatkan di lingkungan laut. Kerogen tipe I ini memiliki kapasitas tinggi menghasilkan hidrokarbon cair.

Kerogen tipe II berasal dari beberapa sumber yang sangat berbeda, yaitu alga laut, polen dan spora, lapisan lilin tanaman, dan fosil resin. Lemak tanaman juga menghasilkan kerogen tipe II. Kebanyakan kerogen tipe II ditemukan dalam sedimen laut dengan kondisi reduksi. Kerogen tipe III terdiri atas material organik darat yang hanya sedikit mengandung lemak atau zat lilin. Selulosa dan lignin adalah penyumbang terbesar kerogen tipe III. Kerogen tipe III mempunyai kapasitas produksi hidrokarbon cair lebih rendah daripada kerogen tipe II, dan jika tanpa campuran kerogen tipe II biasanya kerogen tipe III ini menghasilkan (terutama) gas alam. Kerogen tipe IV terdiri atas pengerjaan-ulang (*reworked*) kepingan organik dan material yang teroksidasi yang berasal dari berbagai sumber. Kerogen ini biasanya tidak memiliki potensia menghasilkan hidrokarbon.

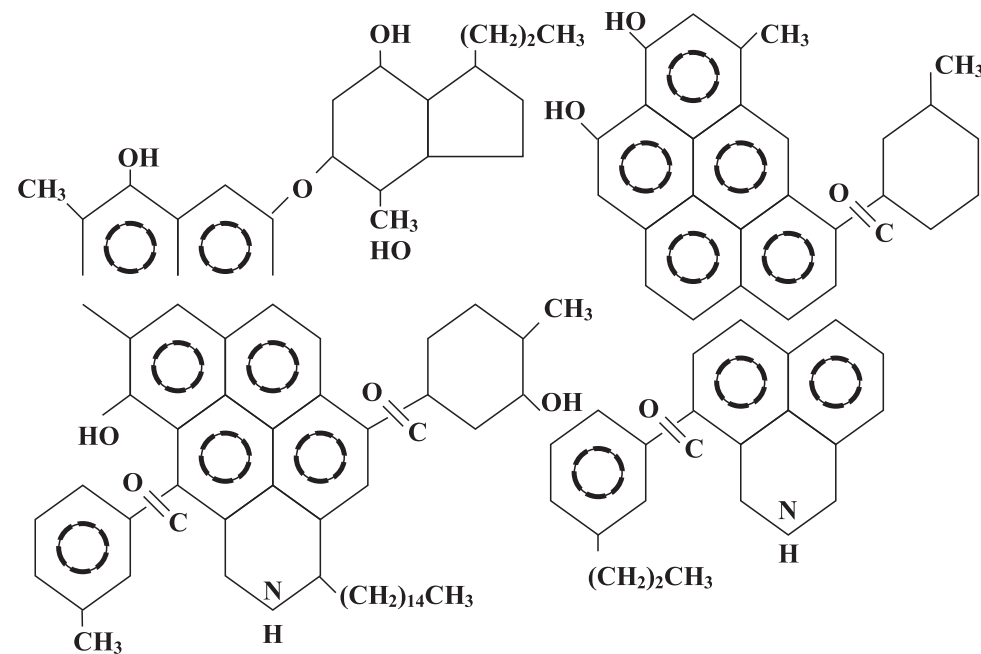
Kandungan hidrogen di dalam kerogen yang belum matang (ditulis sebagai rasio H/C) dapat dikorelasikan dengan tipe kerogen (Gambar 3.2). Dalam jenjang belum-matang, kerogen tipe I (alga) memiliki kandungan hidrogen tertinggi karena kerogen ini memiliki sedikit gugus lingkaran atau struktur aromatik. Kerogen tipe II juga mempunyai kandungan hidrogen

(A) KEROGEN ALGA



(B) KEROGEN LIPTINIK HUMIK

(C) KEROGEN



Gambar 3.2.: Model skematik kerogen tipe I, II, dan III (A,B, dan C, berurutan) pada jenjang kurang-matang (diagenesis) (Dow, 1977; diambil dari Waples, 1985).

relatif tinggi. Kerogen tipe III, kebalikannya, memiliki kandungan hidrogen rendah karena kerogen ini terdiri atas sistem aromatik yang intensif. Kerogen tipe IV terutama terdiri atas sistem aromatik dan mempunyai kandungan hidrogen rendah.

Kandungan atom lain pada kerogen juga bervariasi menurut tipenya. Kerogen tipe IV merupakan kerogen yang teroksidasi tinggi, karena itu mengandung sejumlah besar oksigen. Kerogen tipe III memiliki kandungan oksigen tinggi karena kerogen ini terbentuk dari lignin, selulosa, fenol, dan karbohidrat. Kerogen tipe I dan II, sebagai kebalikannya, mengandung oksigen yang jauh lebih rendah dibandingkan kerogen tipe III dan IV karena kerogen tersebut terbentuk dari material lemak yang miskin oksigen.

Kandungan sulfur dan nitrogen juga bervariasi dalam kerogen. Nitrogen berasal dari material berprotein yang cepat rusak pada saat diagenesis. Kebanyakan kerogen yang berkadar nitrogen tinggi diendapkan dalam kondisi anoksik dengan diagenesis yang terbatas. Karena lignin dan karbohidrat hanya mengandung sedikit nitrogen, maka kebanyakan kerogen yang berasal dari tanaman darat mengandung nitrogen dalam jumlah kecil.

Sulfur terbentuk terutama dari sulfat yang direduksi oleh bakteri anaerobik. Kerogen dengan kandungan sulfur tinggi (dan batubara) biasanya selalu berasosiasi dengan endapan laut, karena air tawar biasanya berkadar sulfat rendah. Sulfur terkandung dalam kerogen

dengan jumlah besar hanya jika reduksi sulfat sangat intensif dan tanpa adanya ion Fe^{+2} (kaya organik, anoksik, marin, sedimen nonklastik). Banyak kerogen yang mempunyai kadar sulfur tinggi juga mempunyai kadar nitrogen tinggi (contohnya Formasi Monterey yang berumur Miosen) (Waples, 1985).

Kerogen terdiri atas partikel yang berbeda-beda yang disebut maseral, suatu terminologi yang diambil dari petrologi batubara. Maseral adalah 'mineral organik,' hubungannya terhadap kerogen sama dengan hubungan mineral terhadap batuan. Kerogen di dalam batuan sedimen tertentu terdiri atas banyak partikel yang seringkali berasal dari berbagai sumber. Jadi, hanya sedikit sekali kerogen yang terdiri atas satu macam maseral saja.

3.3. Kematangan Kerogen

Perubahan yang sangat penting -disebut maturasi- terjadi ketika suatu kerogen mengalami temperatur tinggi untuk jangka waktu yang cukup lama. Reaksi penguraian termal, yang disebut katagenesis dan metagenesis, memecahkan molekul kecil dan meninggalkan sisa kerogen yang lebih resistan (Gambar 3.1). Molekul kecil tersebut lama-kelamaan menjadi migas. Secara konvensional istilah katagenesis umumnya dipakai untuk menyatakan keadaan perubahan kerogen sehingga terbentuk minyak bumi dan gas basah. Metagenesis, yang terjadi setelah katagenesis, membentuk gas kering. Selain namanya, metagenesis tidak

sama dengan 'metamorfisme.' Metagenesis dimulai jauh sebelum metamorfisme terjadi pada batuan, tetapi metagenesis terus berlangsung sampai jenjang metamorfisme.

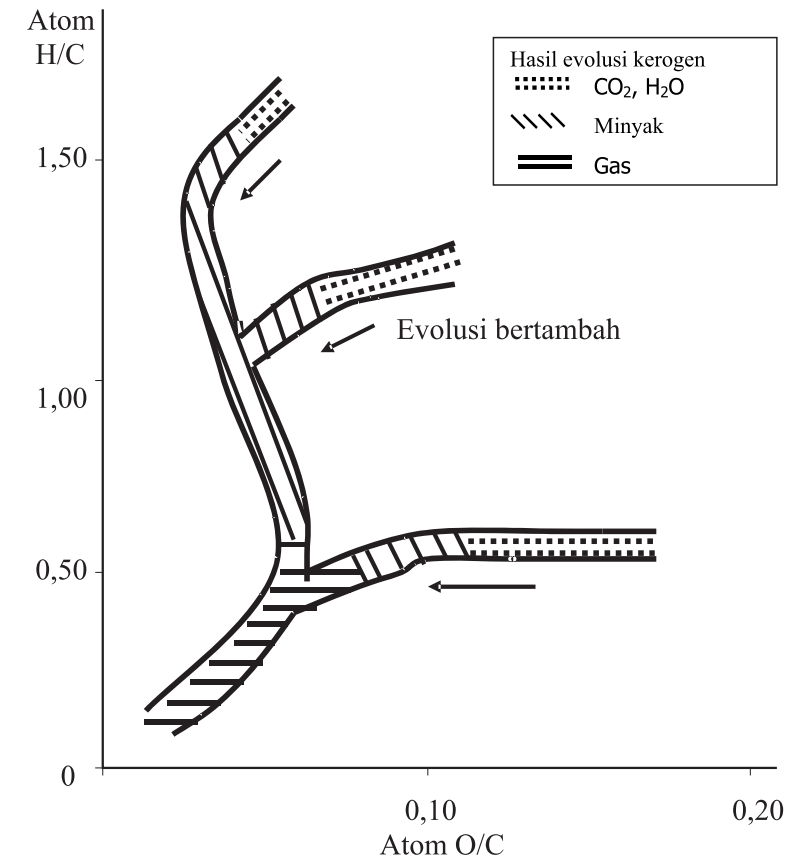
Kerogen mengalami perubahan yang penting dan dapat diamati sewaktu mengalami katagenesis dan metagenesis. Beberapa perubahan tersebut dapat diukur secara kuantitatif sehingga orang dapat mengetahui jenjang kematangan suatu kerogen. Kegunaan mengetahui kematangan kerogen ialah untuk mengamati pembentukan hidrokarbon. Meskipun sudah jelas bahwa banyak perubahan pada kerogen yang dapat diukur berkaitan dengan pembentukan hidrokarbon, tetapi tidak selalu bahwa setiap perubahan pada kerogen berkaitan dengan pembentukan hidrokarbon.

Perengkahan setiap molekul organik memerlukan hidrogen. Semakin banyak hidrogen yang dikandung oleh suatu kerogen, semakin banyak hidrokarbon yang dapat dihasilkan selama perengkahan. Karena banyak molekul ringan yang kaya hidrogen, kerogen sisanya sedikit demi sedikit menjadi lebih bersifat aromatik dan miskin hidrogen selama katagenesis berlangsung. Jadi penurunan kadar hidrogen pada kerogen yang menerus biasanya dinyatakan sebagai rasio atom hidrogen dan karbon (H/C), dapat dipergunakan sebagai indikator baik untuk katagenesis kerogen maupun pembentukan hidrokarbon asalkan hidrogen dalam kerogen diketahui sebelum masuk ke jenjang katagenesis.

Gambar 3.2 menunjukkan bahwa berbagai maseral kerogen

mempunyai kandungan hidrogen yang berbeda ketika maseral itu belum matang dan kandungan hidrogen tersebut menurun dengan bertambahnya kematangan. Gambar 3.3 yang dikenal dengan nama diagram van Krevelen, merupakan plot rasio atom H/C dari tiga tipe umum kerogen versus rasio atom O/C. Hidrogen dan oksigen, keduanya menghilang lebih cepat dibandingkan karbon selama katagenesis untuk ketiga tipe kerogen tersebut. Nitrogen dan sulfur juga menghilang dari kerogen sewaktu katagenesis. Hilangnya nitrogen terutama terjadi pada jenjang akhir katagenesis dan metagenesis, yaitu setelah hilangnya hidrogen mencapai jenjang lanjut. Kebalikannya, banyak sulfur yang hilang pada fasa awal katagenesis, seperti yang ditunjukkan oleh minyak dengan maturitas rendah dan dengan sulfur tinggi.

Partikel kerogen menjadi lebih gelap sewaktu katagenesis, seperti kue yang menjadi berwarna kecoklatan selama pengovenan. Urutan perubahan warna biasanya sebagai berikut: kuning-keemasan-jingga-coklat muda-coklat gelap-hitam, sebagai akibat proses polimerisasi dan aromatisasi. Ketika kerogen menjadi matang dan menjadi lebih aromatik, strukturnya menjadi lebih teratur karena lembaran aromatik dapat tersusun rapi, seperti yang terjadi pada molekul aspaltena. Penyusunan kembali struktur tersebut membawa perubahan fisik kerogen. Suatu hal yang terpengaruh oleh perubahan itu dan yang dapat dipergunakan untuk mengetahui tingkat kematangan ialah kemampuan partikel kerogen memantulkan cahaya. Semakin acak struktur kerogen, semakin



Gambar 3.3.: Diagram van Krevelen menunjukkan jalur maturasi untuk kerogen tipe I, II, dan III yang digambarkan dengan perubahan rasio atom H/C dan O/C. Tanda panah menunjukkan pertambahan kematangan. (Diambil dari Tissot *et al.*, 1974 dalam Waples 1985).

tersebar reflektansi cahaya yang jatuh pada kerogen itu dan semakin berkurang cahaya yang dipantulkannya. Setengah abad lalu, ahli petrologi batubara menemukan bahwa persentase sinar yang dipantulkan oleh partikel vitrinit dapat dikorelasikan dengan peringkat (*rank*) batubara yang diukur dengan metode lain. Karena peringkat batubara

sebenarnya adalah pengukuran kematangan batubara dan karena partikel vitrinit juga terdapat dalam kerogen, maka teknik ini -yang dikenal dengan reflektansi vitrinit (*vitrinite reflectance*)- telah diterapkan secara luas dan berhasil untuk menentukan kematangan kerogen.

Kematangan kerogen dapat diamati dengan beberapa teknik, misalnya pirolisis Tmax, reflektansi vitirinit, dan lainnya. Pengamatan dengan teknik reflektansi vitrinit pernah mengalami kejayaannya sekitar tahun 1960-1980. Akan tetapi, kemudian diketahui bahwa teknik atau metode ini mempunyai kekurangan, terutama jika dipergunakan dalam suatu sampel yang bukan batubara, misalnya untuk sampel batuan yang banyak mengandung kerogen tipe I dan/atau II yang sedikit sekali mengandung maseral vitrinit. Kekurangakuratan yang terjadi adalah biasanya berupa hasil atau nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil yang seharusnya. Hal ini dikenal dengan supresi. Beberapa koreksi terhadap supresi telah diusulkan oleh beberapa peneliti (misalnya Wilkins dkk.,1992, Lo, 1993, Subroto dkk., 2000).

3.4. Pembentukan Hidrokarbon

Ketika katagenesis pada kerogen terjadi, molekul kecil terpecah dari matriks kerogen. Sebagian molekul kecil tersebut adalah hidrokarbon, sedangkan sebagian lainnya adalah senyawa yang heterogen. Senyawa kecil tersebut lebih mobil daripada molekul kerogen dan merupakan prazat langsung pembentuk migas. Nama umum molekul semacam ini

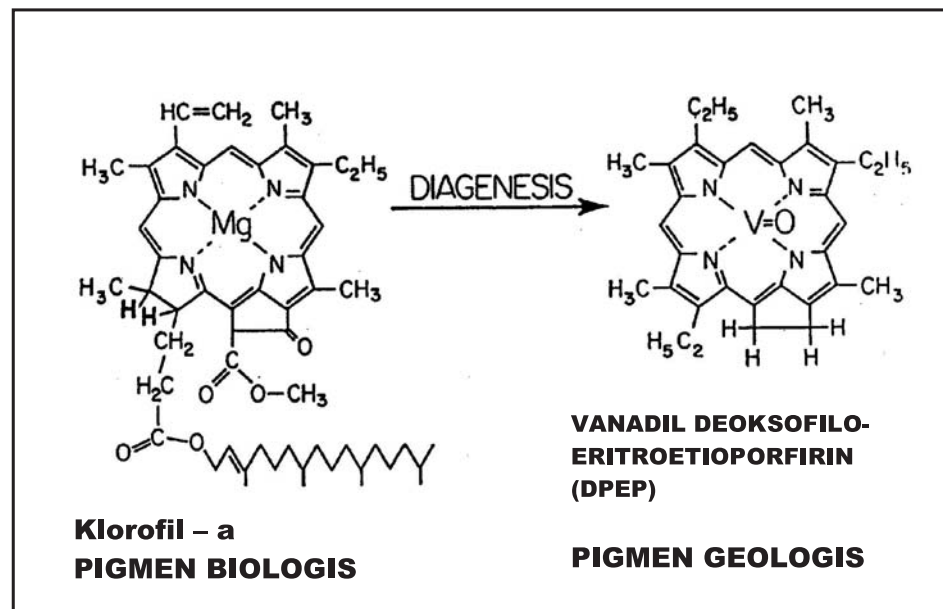
adalah bitumen. Pembentukan bitumen umumnya terjadi sewaktu katagenesis, sedangkan sewaktu metagenesis hasil utamanya adalah gas metana. Jika seandainya tidak terjadi ekspulsi pada batuan induk atau tidak terjadi perengkahan pada bitumen, maka akan terjadi pembentukan bitumen dalam jumlah besar dan menerus di dalam batuan sebagai hasil pengawakomposisian (dekomposisi) kerogen secara katagenetik. Akan tetapi apa yang sebenarnya terjadi ialah sebagian bitumen tersebut terdorong keluar dari batuan induk atau berubah menjadi gas yang menyebabkan kandungan bitumen di dalam batuan induk menjadi rendah.

Setelah hidrokarbon terekspulsi dari batuan induk, yang dikenal dengan istilah migrasi primer (Tissot dan Welte, 1984), maka hidrokarbon tersebut akan bermigrasi sampai akhirnya terperangkap di suatu reservoir. Perjalanan migrasi ini bukanlah suatu perjalanan sederhana, akan tetapi merupakan perjalanan yang cukup rumit di dalam suatu sistem petroleum (Magoon dan Dow, 1994). Perangkap atau reservoir yang berisi hidrokarbon inilah yang dikejar oleh para eksplorasionis.

4. BIOMARKER

Peters dan Moldowan (1993) memberikan definisi tentang biomarker, yang mereka nyatakan sebagai fosil molekuler, yang berarti bahwa senyawa ini berasal dari suatu organisme yang sebelumnya pernah hidup,

berupa senyawa organik kompleks yang berkomposisi karbon, hidrogen, dan unsur lainnya. Biomarker ini ditemukan dalam batuan atau sedimen dan menunjukkan sedikit perubahan atau sama sekali tidak berubah dari molekul organik induknya ketika masih hidup. Sebagai contoh, beberapa waktu lalu, peneliti mengatakan bahwa porfirin mempunyai hubungan dengan molekul klorofil (Gambar 4.1). Klorofil adalah material umum yang terdapat di dalam tumbuhan tinggi dan klorofil dengan struktur serupa juga ditemukan dalam bakteri dan organisme lain. Terdapatnya porfirin di dalam ekstrak batuan atau di dalam sampel minyak bumi dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang adanya pasokan tumbuhan tinggi atau bakteri ke dalam batuan induk yang menghasilkan minyak tersebut.

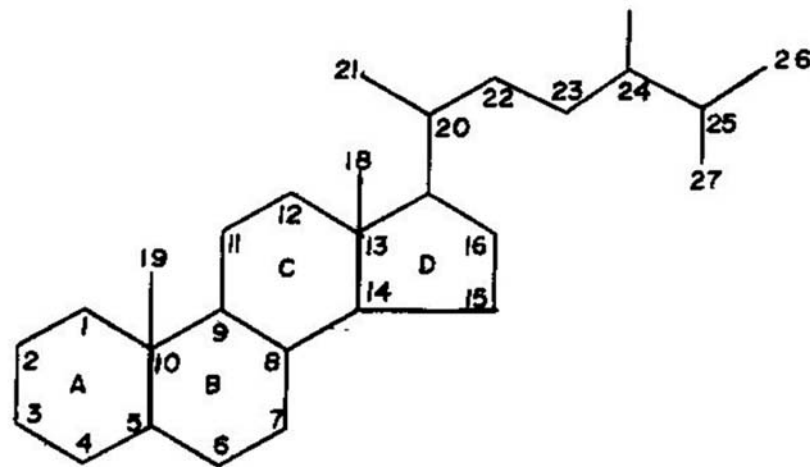


Gambar 4.1.: Skema perubahan klorofil ke porfirin

Di dalam geokimia petroleum, biomarker banyak digunakan terutama untuk menentukan asal material organik pembentuk migas, lingkungan pengendapan, kematangan, dan korelasi baik antara batuan induk dan minyak atau antara minyak dan minyak. Sama dengan perkembangan ilmu geokimia, ilmu tentang biomarker ini berkembang pesat sejak ditemukannya peralatan baru untuk menganalisis, seperti GC, GC-MS, GC-IR-MS, GC-MS-MS, NMR, dan lainnya.

Sangat banyak biomarker yang dipergunakan di dalam ilmu geokimia petroleum, akan tetapi dalam tulisan ini, hanya dua biomarker yang banyak digunakan dalam kajian eksplorasi minyak bumi yaitu sterana dan hopana yang dibahas. Sterana berasal dari sterol yang didapat dalam organisme eukaryotik (Peters dkk., 2005 dan referensi di dalamnya). Di dalam perjalanan sejarahnya, salah satu peran penting dari biomarker sterana ini adalah untuk menentukan kematangan material organik. Perannya akan lebih terasa jika sampel yang dianalisis adalah sampel minyak bumi. Untuk sampel batuan, analisis kematangan kerogen masih dapat dilakukan dengan metode lain, misalnya dengan menggunakan parameter pirolisis Tmax, reflektansi vitrinit, dan lainnya. Akan tetapi, jika sampelnya adalah minyak bumi, maka parameter penentuan kematangannya terbatas. Salah satu yang terbaik, sekali-lagi, adalah dengan metode sterana ini. Penentuan kematangan dengan metode ini mempergunakan dua epimer yang ada di dalam sterana, yaitu 20R dan 20S. Epimer 20R juga disebut konfigurasi produk biologis, sedangkan

epimer 20S disebut konfigurasi produk geologis. Logikanya, jika suatu sampel (batuan atau minyak bumi) banyak mengandung sterana berkonfigurasi geologis dibandingkan dengan yang berkonfigurasi biologis, maka sampel tersebut (semakin) matang. Untuk dicatat, bahwa sterana yang dimaksud di dalam penjelasan di atas adalah sterana $14\alpha(H),17\alpha(H)$ (Gambar 4.2).

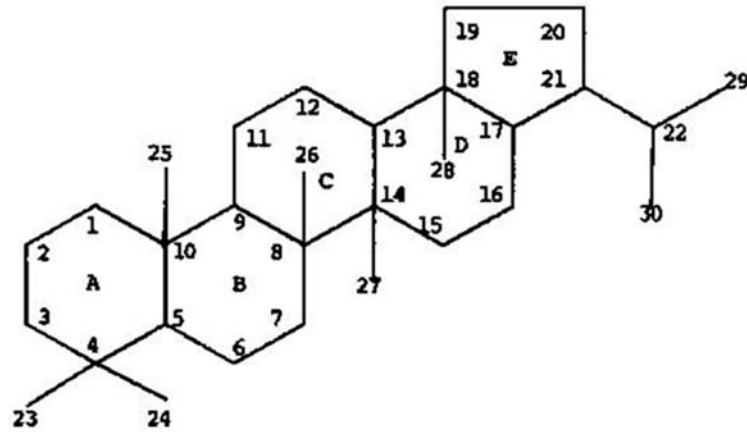


Gambar 4.2.: Struktur kimia sterana dan penomorannya.

Parameter kematangan berdasarkan proporsi epimer 20S dan 20 R ini di dalam pemakaiannya terdapat beberapa modifikasi. Ada yang senang mempergunakan langsung rasio 20S terhadap 20R atau $20S/20R$, sebagian menggunakan %20S, dan terdapat pula $20S(20R+20S)$. Formula yang terakhir tampaknya yang paling banyak dipergunakan (Waples dan Machihara, 1991). Pada awal pemakaiannya, rasio kematangan sterana ini

dianggap cukup akurat, akan tetapi ternyata kemudian diketahui bahwa pemakaiannya tidak berlaku umum untuk semua jenis litologi. Hal yang perlu diperhatikan dan juga perlu dikoreksi adalah bahwa rasio awal $20S/(20R+20S)$, yang oleh beberapa peneliti dianggap bernilai 0,0, ternyata bervariasi, karena adanya diagenesis awal batuan (Moldowan dkk., 1986, Peakman dan Maxwell, 1988) dan juga adanya variasi nilai rasio karena perbedaan litologi, misalnya antara serpih dan batubara (Strachan dkk., 1989). Rupanya jalur kurva kinetik proses pematangan yang dialami oleh serpih dan batubara sangat signifikan berbeda.

Kegunaan lain dari biomarker, antara lain, adalah untuk menentukan asal material organik dan lingkungan pengendapan purba. Salah satu contohnya adalah penggunaan biomarker triterpana, yang salah satunya adalah seri hopana (Gambar 4.3). Seri hopana ini banyak digunakan dalam penentuan asal material organik, misalnya untuk menentukan suatu lingkungan karbonat marin (laut). Rupanya sedimen yang diendapkan di lingkungan karbonat marin ini berpotensi mengandung suatu seri hopana yang tidak umum, yaitu seri hopana tanpa adanya atom karbon pada nomor 30 (Subroto dkk., 1991, 1992). Seri ini disebut dengan seri 30-norhopana.

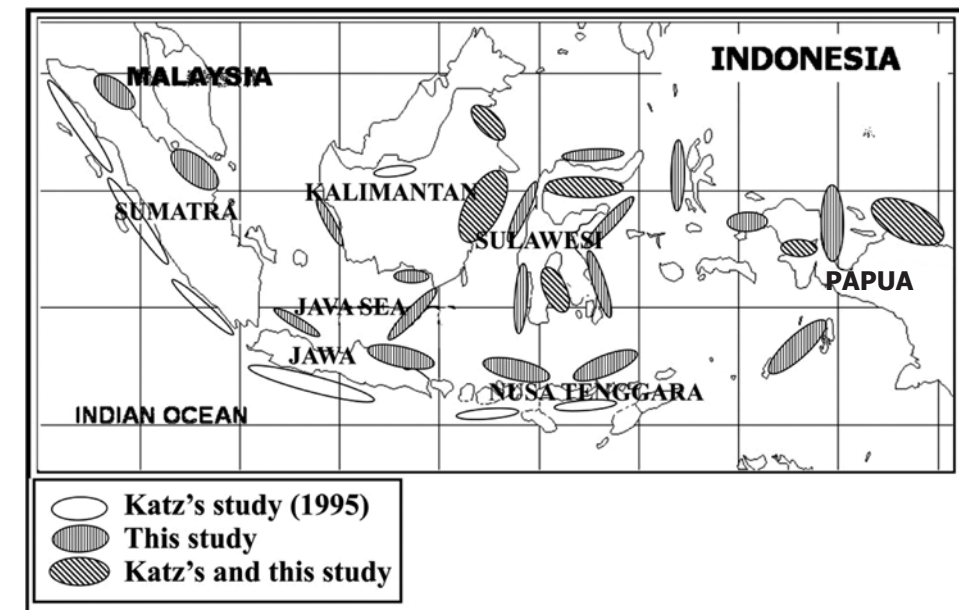


Gambar 4.3.: Struktur kimia hopana dan penomorannya.

5. PERAN GEOKIMIA PETROLEUM DALAM EKSPLORASI HIDROKARBON DI INDONESIA

Mengingat bahwa kebutuhan energi semakin meningkat dengan tajam, maka selain masih mengusahakan energi fosil konvensional, pemerintah Republik Indonesia juga mencoba menggali potensi energi dari yang tidak konvensional. Baik untuk mengeksplorasi energi fosil konvensional maupun yang bukan konvensional, ilmu geokimia ternyata sangat diperlukan. Kegiatan eksplorasi yang termasuk dalam hal ini mencakup tentang migas konvensional dan gas tidak konvensional seperti gas biogenik, gas serpih, dan gas hidrat. Eksplorasi di bidang migas konvensional sudah jelas diketahui melibatkan keilmuan geokimia petroleum. Untuk eksplorasi gas biogenik di Indonesia, peran geokimia petroleum juga cukup penting (misalnya Subroto dkk., 2007). Di dalam kegiatan eksplorasi gas biogenik ini, Subroto dkk. (2007) membuat model

eksplorasi umum di Indonesia berdasarkan studi kasus di dua daerah, yaitu Jawa Timur dan Sulawesi Tengah. Dari dua studi kasus tersebut, mereka membuat model yang akan dapat digunakan jika ada yang berkeinginan untuk mengeksplorasi gas biogenik di Indonesia, maka tempatnya adalah seperti yang digambarkan dalam Gambar 5.1.



Gambar 5.1.: Cekungan sedimen di Indonesia yang diperkirakan merupakan tempat yang berpotensi menghasilkan gas biogenik.

Potensi sumberdaya dan jumlah hidrokarbon yang mungkin dihasilkan di daerah penelitian mereka dihitung berdasarkan suatu model geokimia. Hasilnya menunjukkan bahwa sedimen yang sangat mungkin menghasilkan gas biogenik di daerah studi adalah lapisan Plio-Pleistosen. Selain itu, studi yang dilakukan di daerah Sulawesi memperkuat hasil

yang diperoleh dari studi di Jawa Timur. Sedimen Plio-Pleistosen di Indonesia umumnya dicirikan oleh relatif tingginya laju sedimentasi, rendahnya gradien geotermal, dan relatif tingginya kandungan material organiknya. Dengan demikian, maka sedimen Plio-Pleistosen dianggap berpotensi sebagai batuan induk penghasil gas biogenik di Indonesia.

Meskipun demikian, karena batuan Plio-Pleistosen di Indonesia beragam, maka harus diberikan kriteria tambahan, batuan mana yang dapat dianggap sebagai yang berpotensi menghasilkan gas biogenik di Indonesia. Kriteria tambahan yang untuk menentukan batuan Plio-Pleistosen yang berpotensi adalah tektonik, vulkanik, dan sistem delta. Berdasarkan kriteria tektonik, suatu cekungan sedimen berpotensi menjadi sumber gas biogenik jika posisinya di “depan” jalur tektonik aktif, misalnya cekungan di sebelah timur dan barat sesar Lengguru, Papua, Cekungan Salawati (berhubungan dengan sesar Sorong), Memberamo (sesar naik Papua), dan Tomori (sesar Banggai-Sula). Cekungan lainnya adalah yang berkaitan dengan posisinya di busur depan dan belakang di rangkaian Pulau Sumatra, Pulau Jawa, Kepulauan Nusa Tenggara, dan lengan utara Sulawesi. Yang terakhir adalah sedimen tebal yang terbentuk di muara sungai besar di daerah sistem delta, misalnya di muara Sungai Indragiri (Sumatra Utara), Batanghari (Jambi dan Sumatra Tengah), Musi (Sumatra Selatan), Kapuas (Kalimantan Barat), Barito (Kalimantan Selatan), dan Sesayap (Tarakan).

Untuk gas serpih, kegiatan eksplorasinya baru akan dimulai di

Indonesia. Jika dilihat dari spesifikasi eksplorasi serpih gas yang memerlukan data geokimia, seperti kekayaan batuan (serpih), kematangannya dan lainnya, maka ilmu ini sudah pasti akan diperlukan. Untuk eksplorasi gas hidrat, Indonesia baru berencana dan belum memulainya. Lagi-lagi, keterlibatan ilmu geokimia petroleum di dalam eksplorasi hidrokarbon bukan konvensional juga diperlukan. Jadi peran ilmu geokimia petroleum untuk menunjang pasokan migas di Indonesia masih akan signifikan di masa depan.

6 PENUTUP

Seperti telah dinyatakan di atas, ilmu geokimia petroleum masih merupakan ilmu yang sangat diperlukan dalam eksplorasi migas di Indonesia ini, baik migas yang konvensional maupun yang bukan konvensional. Ilmu geokimia sendiri kemudian berkembang, sehingga tidak saja berupa ilmu yang tradisional atau ilmu yang mendasarkan analisisnya dari data kualitatif, akan tetapi perkembangannya sudah menjadi ke arah kuantitatif. Kemudian muncullah pemodelan cekungan (*basin modelling*) berbasis geokimia. Dengan adanya pemodelan geokimia ini, maka peran ilmu geokimia menjadi lebih signifikan. Jika di masa lampau suatu pemboran boleh dilakukan hanya dengan justifikasi ilmu geofisika, maka sekarang keikutsertaan ilmu geokimia sudah menjadi keharusan.

7 UCAPAN TERIMA KASIH

Di dalam dunia modern seperti sekarang ini, rasanya tidak mungkin suatu karya dibuat hanya oleh seseorang saja. Apalagi kalau hal itu diterjemahkan di dalam suatu dimensi karir. Keterlibatan pihak atau orang lain pasti akan selalu ada. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, pertama saya ingin mengucapkan *alhamdulillah rabbil alamin*, segala puji hanyalah untuk Allah penguasa alam semesta ini yang telah menggariskan karier saya sebagai pengajar di institut ini.

Yang kedua, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada kedua orang tua saya, Bapak Achadoen (alm) dan Ibu Ariyani Perwata (alm) atas didikan yang telah ditanamkan dan ditumbuhkan semenjak saya kecil sampai saya lulus sarjana, ketika beliau berdua wafat. Semoga Allah SWT memberikan maaf atas semua kesalahan beliau berdua dan semoga Allah SWT menyayangi mereka sebagaimana mereka telah menyayangi saya semenjak saya masih kecil.

Ketiga, saya ingin mengucapkan terima kasih khusus kepada keluarga saya: istri tercinta Emmy Susanny Subroto dan kedua buah hati saya: Remy Hamza Subroto dan Cynthia Ghaida Subroto, yang telah mencurahkan kasih sayang mereka dan mendampingi saya dalam suka dan duka.

Keempat, perkenankanlah saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Pimpinan dan anggota Majelis Guru Besar ITB yang telah memberikan kehormatan dan kesempatan

kepada saya untuk menyampaikan pidato ilmiah ini di depan sidang majelis yang terhormat.

Kelima, ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Rektor ITB dan segenap wakilnya, Ketua Senat Akademik dan anggotanya, Ketua Senat FITB dan anggotanya, Dekan FITB (periode 2007-2010) dan kedua wakilnya, Ketua KK Geologi dan anggotanya yang telah meloloskan usulan kenaikan jabatan saya dengan komentar yang konstruktif.

Keenam, terima kasih dan saya sangat menghormati Anda, orang-orang yang pertama kali berani menyatakan saya sebagai guru besar dan kemudian merekomendasikannya. Mereka adalah Prof.Dr. Emmy Suparka, Prof.Dr. Yahdi Zaim, dan Prof. Sri Widiyantoro, Ph.D. Semoga kebaikan hati Anda akan mendapat balasan yang berlipat dari Tuhan Yang Maha Esa.

Yang ketujuh, terima kasih pula saya berikan kepada mereka, pahlawan tanpa tanda jasa, guru-guru saya yang memberikan ilmu sehingga saya dapat menjadi seperti sekarang ini; mulai dari para guru di TK Tunas Harapan Pasuruan, SD Negeri Semeru Pasuruan, SMP Negeri I Pasuruan, SMA Negeri I Pasuruan; para dosen di Jurusan/Departemen Teknik Geologi ITB tempat saya menuntut ilmu di program sarjana, terutama kepada Prof.Dr. Rubini Soeria-Atmadja (alm) yang menjadi pembimbing skripsi, juga Prof. Dr. R.P. Koesoemadinata, Prof. Dr. Sukendar Asikin, dan Prof. Lambok Hutasoit, Ph.D. yang telah menjadi

pembimbing lapangan skripsi saya; Dr. Ong Han Ling yang telah membimbing dan menjadikan saya seorang geokimiawan, dan para dosen di *School of Applied Chemistry, Western Australian Institute of Technology (WAIT)*, yang kemudian namanya berganti menjadi *Curtin University of Technology*, tempat saya menuntut ilmu di program doktor, terutama kepada promotor saya, Prof.Dr. Robert Alexander, dan kopromotor Prof.Dr. Robert Kagi dan Dr. John Scott.

Yang terakhir, terima kasih kepada semua pihak, yang dalam hal ini tidak dapat saya sebut nama atau jabatannya satu per satu, yang telah berperan dalam kehidupan saya, sehingga saya dapat melakukan pidato ilmiah saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pertambangan dan Energi Republik Indonesia (1985) 40
Tahun Peranan Pertambangan dan Energi Indonesia. Deptamben R.I.
- Departemen Pertambangan dan Energi Republik Indonesia (1995) 50
Tahun Pertambangan dan Energi dalam Pembangunan. Deptamben R.I.
- Hunt, J.M. (1979) *Petroleum Geochemistry and Geology*. First edition. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Katz, B. (1995) Biogenic gas-its formation and economic significance. *Proceedings Indonesian Petroleum Association 24th Annual Convention* Vol. 1, 461-474
- Lo, H.B. (1993) Correction criteria for the suppression of vitrinite

reflectance in hydrogen-rich kerogens: preliminary guidelines. *Org. Geochem.* 20, 653-657.

- Magoon, L.B. dan Dow, W.G. (1994) *The Petroleum System-From Source to Trap*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.
- Moldowan, J.M., Sundararaman, P., dan Schoell, M. (1986) Sensitivity of biomarker properties to depositional environment and/or source input in the Lower Toarcian of SW-Germany, *Organic Geochemistry* 10, 915-926.
- Peakman, T.M. dan Maxwell, J.R. (1988) Early diagenetic pathways of steroid alkenes, dalam L. Mattavelli dan L. Novelli (editor), *Advances in Organic Geochemistry 1987*, Oxford, Pergamon Press, 583-592.
- Peters K.E. dan Moldowan J.M. (1993) *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*. Prentice Hall, New Jersey.
- Peters, K.E., Walters, C.C. dan Moldowan, J.M. (2005) *The Biomarker Guide. I. Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History*. Second edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Strachan, M.G., Alexander, R., Subroto, E.A., dan Kagi, R.I. (1989) Constraints upon the use of 24-ethylcholestane diastereomer ratios as indicators of the maturity of petroleum. *Organic Geochemistry* 14, 423-432.
- Subroto, E.A., Alexander, R. dan Kagi, R.I. (1991) 30-Norhopanes: Their occurrence in sediments and crude oils. *Chemical Geology* 93, 179-192.
- Subroto E.A., Alexander R., Pranyoto U. dan Kagi R.I. (1992) The use of 30-norhopane series, a novel carbonate biomarker, in source rock to crude oil correlation in the North Sumatra Basin, Indonesia. *Proceedings*

Indonesian Petroleum Association 21st Annual Convention, 145-163.

Subroto, E.A., Syaifudin, M., Koesoemadinata, R.P. dan Noeradi, D. (2000) Concern about the use of vitrinite reflectance as maturity parameter in some Indonesian sediments. *Proceedings Southeast Asian Coal Geology Conference, Bandung 19-20 June 2000*, 93-100.

Subroto, E.A., Afriatno, B.Y., Noeradi, D., dan Sumintadireja, P. (2007) Prediction of the biogenic gas occurrences in Indonesia based on studies in East Java and Tomori (Central Sulawesi). *JTM (Jurnal Teknologi Mineral)* XIV No. 3, 115-124.

Tissot, B.P. dan Welte, D.H. (1984) *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, Berlin.

Waples, D.W. (1985) *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Geological Sciences Series. International Human Resources Development Corporation, Boston.

Waples, D.W. dan Machihara, T. (1991) *Biomarkers for Geologists: A Practical Guide to the Application of Steranes and Triterpanes in Petroleum Geology*. AAPG Methods in Exploration Series No. 9. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa.

Wilkins R.W.T., Wilmhurst J.R., Russell N.J., Hladky G., Ellacott M.V. dan Buckingham C. (1992) Fluorescence alteration and the suppression of vitrinite reflectance. *Org. Geochem.* 18, 629-640.

CURRICULUM VITAE



Nama : **Prof.Dr.Ir. EDDY ARIYONO SUBROTO**

Tempat, tgl lahir : Malang, 16 Juni 1954

Alamat Kantor : Jln. Ganesa 10, Bandung 40132

Telepon/Faks. : (022) 250 9217

Alamat surel : subroto@gc.itb.ac.id

subrotoeddy@yahoo.com

Nama istri : Emmy Susanny Subroto

Nama anak : 1. Remy Hamza Subroto
2. Cynthia Ghaida Subroto

RIWAYAT PENDIDIKAN:

- 1990 : Doktor di bidang geokimia petroleum, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- 1979 : Sarjana Geologi, Institut Teknologi Bandung (ITB)

RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- 2011 – skrg. : Guru Besar
- 2001 – 2010 : Lektor Kepala
- 1998 – 2001 : Lektor
- 1992 – 1995 : Lektor Madya
- 1986 – 1992 : Lektor Muda
- 1983 – 1986 : Asisten Ahli
- 1981 – 1983 : Asisten Ahli Madya

RIWAYAT PENUGASAN DI ITB

- 2011–skrg. : Dekan Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB) ITB
- 2007–2010 : Kepala Kantor Manajemen Hak atas Kekayaan Intelektual (KMHaKI) ITB
- 2004–2010 : Direktur Keuangan PT Gada Energi (sebuah perusahaan yang berafiliasi dengan LAPI-ITB), Bandung
- 2006–2007 : Ketua Kelompok Keilmuan Geologi dan Paleontologi di Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian (FITB)-ITB
- 2002–2004 : Wakil Dekan II, Fakultas Ilmu Kebumian dan Teknologi Mineral (FIKTM)-ITB
- 1999–2002 : Kepala Divisi Pengembangan Inovasi dan Kebijakan, Kantor Manajemen Hak Kekayaan Intelektual (KMHaKI) ITB
- 1990–1993 : Sekretaris Jurusan Teknik Geologi ITB

PENGHARGAAN

1. Satyalancana Karya Satya X Tahun dari Pemerintah R.I. (1996)
2. Piagam Penghargaan dan Lencana Pengabdian 25 Tahun dari ITB (2006)
3. Satyalancana Karya Satya XX Tahun dari Pemerintah R.I. (2008).

PUBLIKASI ILMIAH JURNAL NASIONAL DAN INTERNASIONAL

1. **Subroto, E.A.** dan Noeradi, D. (2009) Geochemical view of petroleum system in Seram Island, eastern Indonesia, an area in the northern part of the Australian continental margin. *Bulletin of the Tethys Geological Society, Cairo*, Vol. 4 (March 2009), 29-36.
2. **Subroto, E.A.**, Afriatno, B.Y., Noeradi, D., dan Sumintadireja, P. (2007) Prediction of the biogenic gas occurrences in Indonesia based on studies in East Java and Tomori (Central Sulawesi). *JTM (Jurnal Teknologi Mineral)* XIV No. 3. 115-124.
3. **Subroto, E.A.**, Priadi, B., dan Yulian, B. (2004) Study on gas samples collected from Tanjung Api and Tomori area, Sulawesi: abiogenic, biogenic, or thermogenic? *Buletin Geologi* Vol. 36, No. 3, 90-103.
4. Herdianita, N.R., Ong, H.L., **Subroto, E.A.**, dan Priadi, B. (1999) Pengukuran kristalinitas silika berdasarkan pola difraktometer sinar-X, *Proceedings ITB* 31, 41-47.
5. **Subroto, E.A.**, BachtiarA. dan PriadiB. (1998) Oleanoids, common substances in coaly sediments and crude oils: Their use as maturity indicator in oil exploration. *Proceedings ITB* 30, 5-10.
6. **Subroto, E.A.**, Ong, H.L. dan Bagiyo, H. (1996) Retardasi pengamatan kematangan batuan induk berdasarkan pengukuran reflektansi vitrinit: Suatu contoh kasus di Indonesia, *Buletin Geologi* 26, 89-96.
7. **Subroto, E.A.**, Ong, H.L., Bagiyo, H. dan Priadi, B. (1996) Korelasi antara batuan induk dan minyak bumi di Cekungan Salawati, Irian Jaya. *Buletin Geologi* 26, 65-71.
8. **Subroto, E.A.** (1994) Identifikasi 25,30-norhopana di dalam minyak

bumi dan kegunaan senyawa tersebut di dalam eksplorasi. *Buletin Geologi* 24, 1-7.

9. **Subroto, E.A.**, Alexander, R. dan Kagi, R.I. (1991) 30-Norhopanes: Their occurrence in sediments and crude oils. *Chemical Geology* 93, 179-192.
10. Strachan, M.G., Alexander, R., **Subroto, E.A.** dan Kagi, R.I. (1989) Constraints upon the use of 24-ethylcholestane diastereomer ratios as indicators of the maturity of petroleum. *Organic Geochemistry* 14, 423-432.

PUBLIKASI ILMIAH PROSIDING NASIONAL DAN INTERNASIONAL

1. Praja, I.T.A, **Subroto, E.A.**, Hehakaya, D.E., Amanda, R. dan Noeradi, D. (2010) Studi geokimia batuan induk dan korelasinya dengan sampel minyak bumi di Cekungan Ombilin. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Ahli Geologi Indonesia (PIT-IAGI) Lombok 2010*. Berkas digital.
2. **Subroto, E.A.**, Hermanto, E., Kamtono, P. dan Kamtono, K. (2009) Source Rock Geochemical Study in the Southwestern Java, A Potential Hydrocarbon Basin in Indonesia. *Proceedings 2009 AAPG International Conference and Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil. Extended abstract* dalam CD.
3. Pireno, G.E., **Subroto, E.A.**, Noeradi, D. dan Djumhana, N. (2009) Potential of Pre-Kais Formation as a source rock in the Salawati Basin, Bird Head West papua, Indonesia. *Proceedings 2009 AAPG International Conference and Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil*. Abstrak dalam CD.

4. **Subroto, E.A.**, Noeradi, D. dan Afriatno, B.Y. (2009) Geochemical identification of favorable basins for biogenic gas exploration in Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Assoc. 31st Annual Convention and Exhibition*. Berkas digital.
5. Noeradi, D. dan **Subroto, E.A.** (2009) Petroleum system model related to Tethys evolution in the eastern Indonesia region. *Proceedings of the First International Symposium on the Petroleum and Geological Resources in the Tethys Realm* di Kairo (Mesir), 17-20 Maret 2009.
6. **Subroto, E.A.**, Ibrahim, A., Hermanto, E. dan Noeradi, D. (2008) Contribution of Paleogene and Neogene sediments to the petroleum system in the Banyumas Sub-basin, southern Central Java, Indonesia. *Proceedings AAPG (American Association of Petroleum Geologists) International Conference* di Cape Town (Afrika Selatan), 27-29 November 2008.
7. Wiloso, D. dan **Subroto, E.A.** (2008) Confirmation of the Paleogene source rocks in the Northeast Java Basin, Indonesia, based on petroleum geochemistry. *Proceedings AAPG (American Association of Petroleum Geologists) International Conference* di Cape Town (Afrika Selatan), 27-29 November 2008.
8. Noeradi, D., **Subroto, E.A.**, Priyono, A., Wahono, H.E. dan Hermanto, E. (2007) Evolution of carbonate reservoir in South Makassar Basin, Indonesia, and hydrocarbon prospectivity assessment within the area. *Proceedings AAPG International Conference and Exhibition, Athens, Greece, November 2007*. Berkas digital.
9. **Subroto, E.A.**, Noeradi, D., Priyono, A., Wahono, H.E., Hermanto, E.

- dan Syaifuddin, M. (2007) Preliminary study on Paleogene and Neogene source rocks in the frontier offshore South Makassar Basin, Indonesia. Dalam: *Water-Rock Interaction* (editor: Bullen dan Wang), *Proceedings 12th International Symposium on Water-Rock Interaction Kunming, China*. hh. 905-908.
10. **Subroto, E.A.**, Noeradi, D., Priyono, A., Wahono, H.E., Hermanto, E., Praptisih dan Santoso, K. (2007) The Paleogene Basin within the Kendeng Zone, Central Java Basin, and implications to hydrocarbon prospectivity. *Proceedings Indonesian Petroleum Assoc. 31st Annual Convention and Exhibition*, 289-302.
 11. Santosa, K. dan **Subroto, E.A.** (2006) Revealing undetected geological structure within Ngimbang Formation in the Ngimbang-1 well, Northeast Java Basin, Indonesia, based on vitrinite reflectance data. *Prosiding PIT IAGI, Pekanbaru, November 2006*. Berkas digital.
 12. **Subroto, E.A.**, Wahono, H.E., Hermanto, E., Noeradi, D. dan Zaim, Y. (2006) Reevaluation of the petroleum potential in Central Java Province, Indonesia: innovative approach using geochemical inversion and modelling. *Proceedings AAPG International Conference and Exhibition, Perth, November 2006*. Berkas digital.
 13. Noeradi, D., **Subroto, E.A.**, Wahono, H.E., Hermanto, E. dan Zaim, Y. (2006) Basin evolution and hydrocarbon potential of Majalengka-Bumiayu Transpression Basin, Java Island, Indonesia. *Proceedings AAPG International Conference, Perth, November 2006*. Berkas digital.
 14. **Subroto, E.A.**, Bachtiar, A. dan Istadi, B. (2006) Source rock characterisation in the Kutai Basin, East Kalimantan, Indonesia, based on biomarkers. *Proceedings Jakarta 2006 International Geosciences Conference and Exhibition, Agustus 2006*. Berkas digital.
 15. **Subroto, E.A.**, Muritno, B.P., Sukowitono, Noeradi, D. dan Djuhaeni (2005) Petroleum geochemistry study in a sequence stratigraphic framework in the Simenggaris Block, Tarakan Basin, East Kalimantan, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Assoc. 30th Annual Convention & Exhibition*. 422-432.
 16. Noeradi, D., Muritno, B.P., Sukowitono, **Subroto, E.A.** dan Djuhaeni (2005) Petroleum system and hydrocarbon prospectivity of the Simenggaris Block and its surrounding areas, Tarakan Basin, East Kalimantan, Indonesia: a new approach by using sequence stratigraphy (Extended abstract) *Proceedings AAPG International Conference, Paris*. Berkas digital.
 17. **Subroto, E.A.**, Syaifudin, M., Koesoemadinata, R.P. dan Noeradi, D. (2000) Concern about the use of vitrinite reflectance as maturity parameter in some Indonesian sediments. *Proceedings Southeast Asian Coal Geology Conference, Bandung 19-20 June 2000*, 93-100.
 18. **Subroto, E.A.**, Bachtiar, A., Priadi, B., Koesoemadinata, R.P. dan Noeradi, D. (1998) Could oleanoids, substances found abundantly in coaly sediments, be used as geochemical maturity indicator?: A case study in the Kutai Basin. *Proc. PIT-XXVII IAGI*, h. (1-129)-(1-139).
 19. **Subroto, E.A.**, Bachtiar, A. dan Bagiyo, H. (1997) Calcareous sediments as petroleum source rocks in the Kutai Basin, East Kalimantan: a preliminary study (Abstrak). *Abstracts of the Conference on Tectonics, Stratigraphy & Petroleum Systems of Borneo in Brunei Darussalam*, 38.
 20. **Subroto, E.A.**, Bachtiar, A. dan Istadi, B. (1996) Type of source rocks in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia: An identification using terpane biomarkers (Abstract). *Abstracts the 30th International*

Geological Congress, Beijing, China. Vol. 2, 887.

21. **Subroto, E.A.,** Alexander, R., Pranyoto, U. dan Kagi, R.I. (1992) The use of 30-norhopane series, a novel carbonate biomarker, in source rock to crude oil correlation in the North Sumatra Basin, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Association 21st Annual Convention*, 145-163.