

## Aspal Buton: Analisis dan kajian geokimia hidrokarbon

Oleh

**S. M. Tobing**

Kelompok Program Penelitian Energi Fosil  
Pusat Sumber Daya Geologi

### Sari

Dua (2) conto aspal dari Formasi Sampolakosa, satu (1) conto batu serpih dari Formasi Winto, dan satu (1) conto minyak rembesan (oil seeps) dari Formasi Tondo dianalisis untuk studi hidrokarbon. Semua conto berasal dari P. Buton, Sulawesi Tenggara.

Hasil kajian memberikan gambaran mengenai potensi hidrokarbon, kematangan termal, kualitas bahan organik dan karakter lingkungan pengendapan darimana hidrokarbon bersumber.

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa secara umum bahwa batu serpih Formasi Winto berpotensi sangat bagus sebagai batuan sumber hidrokarbon. Kandungan hidrogen di dalam bahan organik cukup tinggi yang mencerminkan kualitasnya sebagai kerogen Tipe II yang berasal dari organisme akuatik atau algal. Pada kondisi sekarang batu serpih lebih menunjukkan karakternya sebagai batu serpih minyak atau 'oil shale'. Diperlukan kematangan termal yang lebih tinggi dari kondisi sekarang untuk menguraikan kerogen Tipe II menjadi minyak dalam jumlah yang optimal.

Kajian data biomarker jelas menunjukkan tingkat kematangan termal relatif masih rendah pada batu serpih Fm. Winto. Minyak rembesan maupun aspal dihasilkan oleh batuan sumber dengan tingkat kematangan termal tinggi dan mengalami degradasi baik termal maupun biologis. Algal akuatik merupakan sumber bahan organik baik untuk rembesan minyak dan aspal maupun batu serpih Fm. Winto. Rembesan minyak diperkirakan berasal dari batuan sumber yang diendapkan dalam lingkungan danau, sedangkan aspal berasal dari lingkungan marin karbonat. Batu serpih Fm. Winto diperkirakan berasal dari lingkungan pengendapan laut dangkal.

Tidak dijumpai korelasi positif antara minyak rembesan, aspal dan batu serpih Fm. Winto. Aspal berasal dari batuan sumber dengan lingkungan pengendapan marin karbonat.

### Abstract

Two asphalt rock sample of Sampolakosa Formation, one oil shale sample of Winto Formation and one oil seeps sample of Tondo Formation are analysed to study the characteristics of the hydrocarbon. All samples were collected from Buton Island, Southwest Sulawesi Province.

The study result gives the hydrocarbon potential, the thermal maturity, the quality of the organic matter and the environmental characteristic of the source rock

The laboratory result show that the oil of the Winto Formation has a good potential as a source of hydrocarbon. The hydrogen content of the organic matter is very high as an indicator of Type II kerogen of which is the aquatic or algae source. In the recent condition, the rock sediment of the Winto Formation is called the oil shale. The higher thermal condition is needed to the Type II kerogen to produce oil in an optimal amount.

The biomarker study shows that the thermal maturity of the Winto Formation is relatively low. The oil seeps and the asphalt/bitumen is the result of the higher thermal maturity and degraded by both thermal and biologic condition. The aquatic algae seems to be the source of organic matter of both oil seeps and the asphalt/bitumen of the Winto Formation.

The oil seeps assumed to be expelled from the source of which is sedimented in the lake environment, and the asphalt/bitument from the carbonate environment. The oil shale of the Winto Formation is the shallow marine environment.

There is no positive relationship between the oil seeps, asphalt/bitument and the oil shale of the Winto Formation. Asphalt comes from the source of marine carbonate environment.

## Pendahuluan

Empat (4) conto terdiri atas dua (2) aspal (TLW-1 dan OBE-2) dari Fm. Sampolakosa, satu (1) batuan serpih dari Fm. Winto (TRW-1) daerah Sampolawa dan satu (1) minyak rembesan (KPR-1) pada batuan Fm. Tondo di daerah Kapontori, P. Buton, Sulawesi Tenggara diambil untuk analisis dan kajian geokimia hidrokarbon.

Untuk mengetahui potensi hidrokarbon, kualitas kerogen serta tingkat kematangan termal batuan serpih Fm. Winto, dilakukan analisis Total Organik Karbon (TOC), Rock-Eval dan Ekstraksi. Korelasi dilakukan berdasarkan data hasil analisis Kolom Kromatografi dan dilanjutkan dengan analisis kromatografi gas (GC) dan kromatografi gas spektroskopi masa (GCMS). Jenis dan jumlah percontonya untuk analisis geokimia dapat dilihat dalam Tabel 1. Data hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 2 s.d Tabel 6 serta bentuk diagramnya ditampilkan pada Gambar 1 s.d Gambar 9.

## Geologi Umum

Pulau Buton merupakan bagian dari Anjungan Tukangbesi - Buton, yang disusun oleh kelompok batuan sedimen pinggir benua serta batuan malihan berumur Permo - Karbon sebagai batuan alas, sedangkan Mandala Sulawesi Timur terdiri dari gabungan batuan ultramafik, mafik dan malihan.

Menurut Sikumbang, N., dkk., (1995), tektonik terjadi beberapa kali dimulai sejak pra-Eosen, dimana pola tektoniknya sukar ditentukan disebabkan oleh seluruh batuan telah mengalami beberapa kali perlipatan dan pensesaran. Gerak tektonik utama yang membentuk pola struktur hingga sekarang diperkirakan terjadi pada Eosen - Oligosen yang membentuk struktur imbrikasi berarah Timurlaut Baratdaya. Kegiatan tektonik berikutnya terjadi antara Pliosen - Plistosen mengakibatkan terlipatnya batuan Pra-Pliosen. Kegiatan tektonik terakhir terjadi sejak Plistosen dan masih

berlangsung hingga sekarang yang mengakibatkan terangkatnya P. Buton dan P. Muna secara perlahan, seirama dengan pembentukan batugamping terumbu Fm. Wapulaka yang menunjukkan undak-undak.

Daerah Pulau Buton disusun oleh satuan batuan yang dikelompokkan ke dalam batuan Mesozoikum berumur Trias hingga Kapur Atas bahkan hingga Paleosen yang terdiri atas Fm. Winto, Fm. Ogena, Fm. Rumu dan Fm. Tobelo. Kelompok kedua adalah batuan Kenozoikum berumur Miosen dan Plistosen menutupi sebagian besar P. Buton terdiri atas Fm. Tondo, Fm. Sampolakosa dan Fm. Wapulaka yang diendapkan pada Miosen Awal hingga Plistosen. Formasi Winto merupakan formasi tertua yang tersingkap di daerah Buton, berumur Trias Akhir. Litologinya terdiri atas perselingan batuan serpih, batupasir, konglomerat dan batugamping, mengandung sisa tumbuhan, kayu terarangkan dan sisipan tipis batubara dengan lingkungan pengendapan neritik tengah hingga neritik luar.

Peristiwa tektonik yang terjadi menyebabkan terjadinya struktur perlipatan berupa antiklin dan sinklin, serta struktur sesar yang terdiri atas sesar naik, sesar normal dan sesar geser mendatar. Umumnya struktur berarah Timurlaut Baratdaya di Buton Selatan, kemudian berarah Utara Selatan di Buton Tengah, dan Utara - Baratlaut hingga Selatan - Tenggara di Buton Utara. Sesar-sesar mendatar umumnya memotong struktur utama yang merupakan struktur antiklin - sinklin, dimana secara garis besar struktur antiklin - sinklin berarah relatif sejajar dengan arah memanjangnya tubuh batuan pra-Tersier.

Peristiwa tektonik yang terjadi berulang-ulang menyebabkan batuan-batuan yang berumur lebih tua mengalami beberapa kali aktivitas struktur, sehingga batuan tua umumnya dijumpai dengan kemiringan lapisan yang relatif tajam. Sedangkan pada batuan yang lebih muda kemiringan lapisan relatif lebih landai dibandingkan dengan batuan berumur tua.

## Hasil Analisis dan Diskusi Potensi Hidrokarbon

Evaluasi potensi hidrokarbon terhadap batuan serpih Fm. Winto dilakukan berdasarkan data hasil analisis karbon organik, pirolisis Rock Eval dan ekstraksi batuan seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Batuan serpih menunjukkan kandungan karbon organik dengan kategori 'sangat bagus' (TOC = 11,57%; Tabel 2). Kombinasi antara data TOC dan pirolisis Rock Eval menunjukkan batuan serpih Fm. Winto sebagai batuan sumber dengan kategori 'sangat bagus' (Potential Yield = 36,88 mg/gram). Plot antara karbon organik terhadap potensi kesuburan (S2) maupun indeks hidrogen (HI) memberikan gambaran sangat jelas mengenai potensi yang sangat tinggi dari batuan serpih TRW-1 sebagai batuan sumber hidrokarbon, Gambar 2 dan Gambar 3.

Kandungan hidrogen yang tinggi seperti ditunjukkan oleh indeks hidrogen dengan nilai >300 (HI = 312 mg/g) dan oksigen rendah (OI = 18 mg/g) mencerminkan kerogen Tipe II (mixed oil and gas prone kerogen). Kerogen tipe ini berpotensi sebagai penghasil minyak atau gas apabila berada pada tingkat kematangan termal yang cukup tinggi. Plot antara indeks hidrogen (HI) terhadap Tmax dan indeks oksigen (OI) memberikan gambaran mengenai kualitas batuan serpih Fm. Winto sebagai batuan sumber minyak dan gas, (lihat Gambar 3 dan Gambar 4).

Pada kondisi saat ini dimana batuan serpih Fm. Winto (TRW-1) ditemukan, tingkat kematangan yang masih rendah ditunjukkan oleh harga Tmax = 421°C. Sebagai tambahan, tingkat kematangan batuan pada Fm. Winto dapat dikategorikan sebagai belum matang (immature) yang direfleksikan oleh nilai vitrinit reflektan Rv mean 0,20% - 0,61% (Tobing, 2004). Indikator lain adalah rasio hidrokarbon bebas (S1) terhadap kandungan kerogennya (S2) yang diekspresikan sebagai indeks produksi (PI). Percontonya batuan serpih teranalisis menunjukkan nilai PI = 0,02 mg/g jauh di bawah nilai 0,2 yang merupakan ambang batas (threshold) suatu batuan sumber dikatakan sebagai matang secara termal dan telah terjadi pembentukan minyak bebas hasil degradasi termal dari kerogen (lihat Tabel 2). Kondisi ini lebih menunjukkan karakter percontonya batuan TRW-1 sebagai batuan serpih atau 'oil shale'. Seperti diketahui bahwa batuan

serpih selalu dicirikan oleh tingginya kandungan bahan organik/kerogen tetapi rendah kandungan hidrokarbon bebas (bitumen) dan tingkat kematangan termalnya.

## Ekstraksi, Fraksinasi dan Gas Kromatografi (GC)

Analisis ekstraksi dilakukan terhadap batuan serpih Fm. Winto (TRW-1). Sedangkan fraksinasi meliputi 5 conto yang terdiri dari bitumen (TRW-1) hasil ekstraksi, aspal (LWL-1) dan fraksi maltin hasil deasphaltene, aspal (OBE-2) dan minyak rembesan (KPR-1). Terhadap fraksi saturat hasil fraksinasi dilakukan analisis sidikjari n-alkana (GC) maupun kandungan biomarkernya (GCMS). Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui komposisi serta karakter hidrokarbon yang terkandung di dalam batuan serpih Fm. Winto, minyak rembesan, atau aspal yang dijumpai di lokasi kajian. Data sidikjari n-alkana maupun biomarker digunakan untuk mencari hubungan (korelasi) antara batuan serpih Fm. Winto dan minyak rembesan atau aspal, serta antara minyak rembesan dan aspal.

Hasil analisis ekstraksi dan fraksinasi batuan serpih (TRW-1) menunjukkan jumlah yang tinggi (EOM = 9,239 ppm; Tabel 3). Pada kondisi kematangan termal rendah, jumlah ekstrak tersebut mencerminkan potensi batuan serpih Fm. Winto sebagai batuan sumber hidrokarbon. Plot hasil ekstraksi batuan terhadap kandungan karbon organiknya memberikan gambaran tentang potensi batuan sumber dari batuan serpih Fm. Winto (Gambar 5).

Komposisi hasil ekstraksi dimana secara kuantitatif fraksi saturat jauh lebih tinggi terhadap aromatik menunjukkan karakter dari hidrokarbon asal algal sebagai unsur yang dominan. Sedangkan fraksi non-polar (NSO) yang dominan menunjukkan bahwa batuan serpih Fm. Winto masih tergolong rendah tingkat kematangan termalnya. Hal ini sekaligus memberikan indikasi bahwa batuan serpih TRW-1 mempunyai karakter 'serpih minyak' (oil shale).

Seluruh hasil fraksinasi dilakukan analisis kromatografi gas (GC) dan dilanjutkan dengan analisis kromatografi gas spektroskopi masa (GCMS). Hasil analisis GC ditampilkan pada Tabel 3, Gambar 6 dan Gambar 7. Kecuali batuan serpih (TRW-1) dan minyak rembesan (KPR-1), rembesan aspal (LWL-1) dan (OBE-2) telah mengalami degradasi lanjut baik oleh bakteri aerobik maupun termal.

Sidikjari n-alkana dari hasil proses deasphaltene (LWL-1 DA) juga memberikan indikasi biodegradasi sehingga diperkirakan rembesan aspal telah cukup lama berada di permukaan. Kondisi degradasi tersebut ditunjukkan oleh hilangnya seluruh n-alkana maupun isoprenoida-isoprenoida seperti pristana dan fitana, sehingga tidak diperoleh informasi mengenai karakter hidrokarbonnya (Gambar 6). Sedangkan minyak rembesan (KPR-1) dan batu serpih (TRW-1) masih menunjukkan konfigurasi sidikjari n-alkana yang jelas sehingga karakter hidrokarbonnya dapat diketahui dengan baik. Konfigurasi n-alkana minyak rembesan (KPR-1) dengan distribusi mulai dari n-C5 sampai dengan n-C36 dan dominasi senyawa-senyawa jumlah karbon rendah mencerminkan hidrokarbon dari batuan sumber yang telah matang secara termal. Batu serpih (TRW-1) dicirikan oleh distribusi n-alkana mulai dari n-C12 sampai n-C36 dengan karakter dominan pada n-C15 s/d n-C19 menunjukkan adanya kontribusi algal yang cukup dominan. Rasio CPI = 1,0 pada minyak rembesan (KPR-1) dibandingkan CPI = 1,61 pada batu serpih (TRW-1) menunjukkan kematangan termal yang jauh lebih tinggi.

Rasio pristana (pristane) terhadap fitana (phytane) dalam minyak rembesan (KPR-1) dan ekstrak batu serpih (TRW-1) menunjukkan nilai masing-masing 1,51 dan 1,21 mencerminkan kondisi lingkungan pengendapan bahan organik kurang oksigen (reduktif). Plot antara pristana/n-C17 terhadap fitana/n-C18 menunjukkan minyak rembesan KPR-1 dan batu serpih TRW-1 mengandung bahan organik tipe II sampai III (mixed kerogen) serta diendapkan pada lingkungan reduktif. Meskipun demikian, minyak rembesan (KPR-1) menunjukkan tingkat kematangan termal yang jauh lebih tinggi daripada batu serpih (TRW-1) (Gambar 7).

Analisis lanjutan dilakukan dengan metoda GCMS terhadap fraksi saturat dari minyak rembesan, ekstrak batuan serta aspal rembesan. Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, Gambar 8 dan Gambar 9.

#### Asal Bahan Organik dan Lingkungan Pengendapan

Analisis GCMS fraksi saturat dilakukan dengan fokus pada biomarker sterana (m/z 217) dan triterpana (m/z 191). Sidikjari biomarker sterana pada minyak rembesan (KPR-1), aspal rembesan (LWL-1) dan (OBE-

2) serta batu serpih (TRW-1) masing-masing menunjukkan karakter yang berbeda. Minyak rembesan (KPR-1) terlihat telah mengalami degradasi termal yang cukup tinggi sehingga konfigurasi ion kromatogram sterana menunjukkan dominasi senyawa-senyawa diasterana (Gambar 8). Senyawa-senyawa diasterana sangat resisten terhadap degradasi baik biologis maupun termal, sehingga keberadaannya dalam jumlah yang dominan mencerminkan proses geologi tertentu yang telah dialami oleh minyak rembesan sebelum mencapai kondisi sekarang. Diperkirakan minyak rembesan telah mengalami migrasi beberapa kali dari batuan sumbernya sehingga senyawa-senyawa yang tersisa adalah yang mempunyai resistensi tinggi dalam berbagai kondisi geologi. Komposisi sterana dari minyak rembesan (KPR-1) maupun aspal (LWL-1) menunjukkan bahwa bahan organik penghasil hidrokarbon bukan berasal dari tumbuhan darat melainkan algal akuatik asal lingkungan tertutup seperti danau, laguna atau marin (Gambar 9).

Pada conto aspal (OBE-2), senyawa-senyawa C27, C28 dan C29 tidak dapat terdeteksi dengan baik akibat degradasi biologis maupun termal yang telah berlangsung intensif sehingga komposisi sterana tidak dapat ditentukan. Senyawa-senyawa diasterana yang resisten terhadap degradasi termal tidak dijumpai pada aspal (OBE-2) menunjukkan batuan sumber asal miskin akan mineral lempung, kemungkinan berasosiasi dengan karbonat.

Meskipun perlu dikonfirmasi dengan analisis GCMS-MS, pada perconton aspal (LWL-1) maupun (OBE-2) dijumpai senyawa spesifik yaitu C30 sterana (pik no 17, C30ST) yang merupakan indikator bahan organik asal lingkungan marin dan kemungkinan besar adalah algal. Aspal (LWL-1) berbeda dengan aspal (OBE-2) karena kandungan senyawa-senyawa diasterana yang jauh lebih dominan. Senyawa-senyawa diasterana juga diketahui banyak dijumpai pada batuan sumber yang kaya akan mineral-mineral lempung. Sedangkan rendahnya senyawa-senyawa tersebut pada aspal (OBE-2) memungkinkan adanya perbedaan fasies lingkungan pengendapannya.

Batu serpih (TRW-1) menunjukkan konfigurasi sidikjari sterana dengan komposisi C29>C27>C28. Pada diagram komposisi sterana (Huang and Meinchein, 1979), dominasi dari senyawa-senyawa C27 dan C29

sterana menunjukkan adanya kontribusi dari unsur-unsur organisma akuatik dan juga tumbuhan darat (terrestrial higher plant) (lihat Gambar 9). Batuan sumber hidrokarbon (TRW-1) dari Fm. Winto yang kaya akan bahan organik tersebut kemungkinan berasal dari lingkungan pengendapan akuatik tertutup (close system). Meskipun demikian, rasio tingkat kematangan termal dari biomarker sterana memberikan indikasi bahwa bahan organik terkandung dalam batu serpih (TRW-1) masih belum cukup matang untuk dapat menghasilkan hidrokarbon secara komersial. Hal tersebut ditunjukkan oleh rendahnya rasio parameter kematangan termal ( $C29\ 20S/R = 0,10$  dan  $C29\ \alpha\beta\beta / \alpha\beta\beta + \alpha\alpha\alpha = 0,28$ ) yang mencerminkan proses isomerisasi yang belum intensif.

Senyawa-senyawa lain yang terdapat pada batu serpih (TRW-1) adalah metil sterana yang terdiri dari C28 metilkolestana (MC), C29 metilergostana (ME) dan C30 metil stigmastana (MS) (lihat Gambar 8). Keberadaan senyawa tersebut menunjukkan peran bakteri metilotropik yang intensif dalam proses degradasi bahan organik yang umumnya terjadi pada lingkungan danau berair tawar (Whiters, 1983).

Senyawa biomarker lain yang penting pada fraksi saturat terdiri dari trisiklo- dan tetrasiklo- terpana serta pentasiklo triterpana. Pada Gambar 10 terlihat sidikjari ion kromatogram terpana dan triterpana (m/z 191) menunjukkan karakter spesifik yang berbeda dari minyak rembesan (KPR-1), aspal (LWL-1) dan aspal (OBE-2) serta batu serpih (TRW-1). Kromatogram ion triterpana minyak rembesan (KPR-1) secara jelas memperlihatkan bahwa hanya biomarker dari senyawa-senyawa trisiklo terpana yang tertinggal di dalam minyak tersebut dengan distribusi mulai dari C19 sampai dengan C31. Senyawa-senyawa tetrasiklo terpana dan pentasiklo triterpana dijumpai dalam jumlah yang sangat sedikit dan hampir absen. Kondisi ini mencerminkan telah terjadi berbagai macam proses degradasi terutama secara termal terhadap minyak rembesan tersebut selama proses migrasi menuju tempat akumulasinya saat ini. Hanya senyawa-senyawa yang mempunyai resistensi tinggi seperti trisiklo terpana dapat tetap bertahan di dalam minyak rembesan tersebut. Kehadiran senyawa-senyawa C26 trisiklo terpana yang sangat jelas dengan gugus lebih dominan terhadap C24 tetrasiklo terpana (tanda lingkaran warna biru) merupakan ciri khusus suatu bahan organik asal lingkungan danau (ten Haven, 2002).

Unsur-unsur tanaman darat tidak dijumpai pada minyak rembesan dan menunjukkan bahwa sumber utama bahan organiknya adalah dari kehidupan akuatik algal atau bakteri.

Identifikasi senyawa-senyawa hopana tidak dapat dilakukan karena hampir seluruhnya telah mengalami degradasi termal. Keberadaan senyawa C29 norhopana yang masih terdeteksi dengan intensitas jauh lebih dominan daripada senyawa C30 hopana menunjukkan resistensi senyawa tersebut terhadap degradasi termal yang tinggi. Untuk minyak rembesan (KPR-1), intensitas keberadaan C29 norhopana yang jauh lebih besar dari C30 hopana tidak memberikan indikasi bahwa batuan sumber berasosiasi dengan karbonat. Senyawa-senyawa trisiklo terpana yang dominan diketahui tidak dijumpai pada batuan sumber yang berasosiasi dengan karbonat.

Perconton aspal (LWL-1) dan juga fraksi hasil deasphaltene menunjukkan konfigurasi kromatografi ion terpana dan triterpana (m/z 191) dari suatu hidrokarbon asal batuan sumber yang berasosiasi dengan lingkungan karbonat. Hal tersebut ditunjukkan oleh anomali senyawa-senyawa  $17\alpha(H)$  trisnorhopana(Tm)>>  $18\alpha(H)$  trisnorhopana(Ts) serta C29 norhopana>>>C30 hopana (lihat Gambar 10). Kondisi yang lebih ekstrim dalam kaitannya dengan batuan sumber dari lingkungan pengendapan karbonat dan salinitas tinggi (hypersaline) ditunjukkan oleh aspal (OBE-2). Hidrokarbon dari perconton ini dicirikan oleh anomali kehadiran senyawa-senyawa C24 tetrasiklo terpana, C29 norhopana>C30 hopana serta gamaserana (G) yang sangat tinggi (Gambar 10). Kondisi lingkungan pengendapan karbonat dengan salinitas tinggi seperti ini jelas menunjukkan asosiasi marin yang bersesuaian dengan data biomarker sterana dimana terindikasi bahwa batuan sumber miskin akan mineral-mineral lempung.

Batu serpih (TRW-1) dari Fm. Winto menunjukkan konfigurasi ion kromatogram terpana dan triterpana yang umum dijumpai pada hidrokarbon dari suatu bahan organik dengan kematangan termal rendah. Seperti ditunjukkan oleh biomarker sterana, tingkat kematangan termal rendah batu serpih (TRW-1) terlihat dari rendahnya rasio  $22S/R = 0,41$  dan juga kehadiran senyawa-senyawa moretana (NM dan M) yang masih cukup tinggi (rasio Mor/Hop = 0,17). Tidak dijumpai unsur-

unsur tanaman darat menunjukkan bahwa akuatik algal atau bakteri berperan besar di dalam pembentukan bahan organik dari sumber hidrokarbon batu serpih (TRW-1). Analisa petrografi organik dari batu serpih Fm. Winto menunjukkan maseral lamalginit tipe Rundel? mendominasi kandungan batuan serpih (Tobing, 2004). Sebagai tambahan, batu serpih dengan karakter biomarker hopana seperti ini, di Indonesia banyak dijumpai pada sedimen-sedimen danau. Meskipun demikian, keberadaan senyawa-senyawa C26 trisiklo trepana yang secara kuantitas lebih kecil dibandingkan dengan C24 tertrasiklo trepana mengabaikan asal lingkungan pengendapan danau. Diperkirakan bahwa batu serpih (TRW-1) merupakan bagian dari 'serpih minyak' Fm. Winto yang terbentuk pada lingkungan laut dangkal (marine shelf).

Secara umum dapat dilihat bahwa baik minyak rembesan, aspal dan batu serpih Fm. Winto tidak memperlihatkan adanya kontribusi dari tumbuhan darat seperti resin, oleanoida atau oleanana (yang umum dijumpai di cekungan-cekungan hidrokarbon Indonesia Barat). Kondisi seperti ini memperlihatkan bahwa hidrokarbon dari daerah kajian dihasilkan oleh suatu sistem yang berbeda dengan cekungan Indonesia Barat. Seperti diketahui bahwa sistem hidrokarbon di Indonesia Timur banyak di dominasi oleh karakter akuatik atau marin. Kondisi ini juga tercermin pada minyak rembesan, aspal maupun batu serpih dari daerah kajian sehingga hidrokarbon dari P. Buton banyak berasal dari petroleum system Indonesia bagian Timur. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah ketidak hadirannya senyawa-senyawa oleanana pada percontohan teranalisis kemungkinan menunjukkan bahwa batuan sumber asal hidrokarbon berasal dari sistem yang lebih tua dari zaman Kapur. Seperti diketahui bahwa sebelum zaman tersebut tidak pernah ditemukan senyawa-senyawa oleanana baik pada minyak maupun batuan sumbernya.

#### Korelasi Antara Batu Serpih (TRW-1), Minyak Rembesan (KPR-1), Aspal (LWL-1) dan Aspal (OBE-2).

Analisis biomarker terhadap fraksi saturat menunjukkan dengan jelas bahwa tidak ditemukan korelasi positif antara hidrokarbon dari batu serpih Fm. Winto (TRW-1) dan aspal (LWL-1 dan OBE-2) pada

batuan Fm. Sampolakosa di daerah Sampolawa, P. Buton. Minyak rembesan diperkirakan berasal dari batuan sumber yang diendapkan di lingkungan danau tertutup. Aspal (LWL-1) menunjukkan karakter bahan organik algal asal marin karbonat sedangkan bahan organik aspal (OBE-2) kemungkinan bersumber dari sisa-sisa kehidupan algal dengan lingkungan pengendapan marin karbonat dan salinitas tinggi (hypersaline). Batu serpih Fm. Winto (TRW-1) menunjukkan karakter hidrokarbon dari bahan organik dengan tingkat kematangan termal rendah. Hidrokarbon dari batu serpih tidak mengandung unsur-unsur spesifik seperti kelimpahan C26 trisiklo trepana, gamaserana atau C30 sterana, sehingga bukan merupakan batuan sumber dari minyak rembesan maupun aspal.

#### Kesimpulan

Evaluasi hasil kajian geokimia terhadap conto-conto permukaan yang terdiri dari 2 aspal (LWI-1 dan OBE-2) Fm. Sampolakosa, satu (1) batu serpih Fm. Winto (TRW-1) dan satu (1) minyak rembesan (KPR-1) pada batuan Fm. Tondo, P. Buton, Sulawesi Tenggara memberikan kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil analisis TOC dan Rock Eval menunjukkan bahwa batu serpih Fm. Winto berpotensi sangat bagus sebagai batuan sumber minyak. Pada tingkat kematangan termal yang tinggi batu serpih (TRW-1) diharapkan dapat menghasilkan minyak dengan jumlah yang ekonomis.
- Batu serpih Fm. Winto masih berada pada tingkat kematangan termal rendah dan pada kondisi saat ini berkarakter 'serpih minyak' (oil shale) dan tidak diharapkan akan dapat menghasilkan minyak secara optimal terkecuali dilakukan artifisial destilasi destruktif.
- Rembesan minyak dan aspal dihasilkan oleh batuan sumber yang telah mengalami kematangan termal tinggi.
- Algal akuatik merupakan sumber bahan organik baik untuk rembesan minyak dan aspal maupun batu serpih Fm. Winto.
- Rembesan minyak diperkirakan berasal dari batuan sumber yang diendapkan dalam lingkungan danau, sedangkan aspal berasal dari lingkungan marin karbonat. Batu serpih Fm. Winto diperkirakan berasal dari lingkungan

pengendapan laut dangkal.

- Hasil analisis biomarker menunjukkan tidak dijumpai korelasi positif antara minyak rembesan (KPR-1) dengan aspal (LWL-1) dan aspal (OBE-2). Tidak ada korelasi positif antara batu serpih Fm. Winto dan rembesan minyak maupun aspal.
- Aspal (LWL-1) dan aspal (OBE-2) berasal dari batuan sumber yang sama-sama diendapkan lingkungan pengendapan marin karbonat.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Herudiyanto yang telah memeriksa dan mengedit naskah. Kepada Fx. Widiyanto (Lemigas) yang menganalisis conto di lab disampaikan terimakasih. Terimakasih juga tidak lupa kepada Sukardjo dan Asep Suryana (KPP Energi Fosil) yang membantu sarana hingga tulisan ini selesai.

#### Acuan

- Blumer, M., and Snyder, W. D., (1965). Isoprenoids hydrocarbons in recent sediments: presence of pristine and probable absence of phytane. *Science* 150, p. 1588.
- Bordenave, M. L., (Ed.) (1993). *Applied Petroleum Geochemistry*, 524 pp, Editions Technip, Paris.
- Brassel, S. C., Eglinton, G. and Fu Jia Mo., (1986). Biological compound markers as indicators of depositional history of the Maoming oil shale. In: Leythausser, D. and Rullkötter, J., (Eds.) *Advances in Organic Geochemistry*, 1985. *Organic Geochem.* 10, pp. 927 - 941.
- Bray, E. E., and Evans, E. D., (1961). Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochim. Cosmochim. Acta* 22, pp. 2 - 15.
- Didyk, B. M., Simoneit, B. R. T., Brassell, S. C., and Eglinton, G., (1978). Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature* 272, pp. 216 - 221.
- Grantham, P. J., (1986). Sterane isomerisation and moretane/hopane ratio in crude oil derived from Tertiary source rocks. *Org. Geochem.* 9, 293 - 304.
- Gelpi, E., Schneider, H., Mann, J., And Oro, J., (1970). Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. *Phytochemistry*, Vol. 9, pp. 603 - 612.
- Gilbert, J. M., De-Andrade-Bruning, I. M. R., Noorer, D. W., and Oro, J., (1975). Predominance of isoprenoids among the alkanes in the Irati oil shale, Permian of Brasil. *Chemical Geology* 15, pp. 209 - 215.
- Goosen, H., de Leeuw J. W., Schrenck, P. A., and Brassell, S. C., (1984). Tochopterols as likely precursors of pristane in ancient sediments and crude oils. *Nature*, 312, pp. 440 - 442.
- Huang, W.-Y. and Meinschein, W. G., (1979). Sterols as ecological indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 739 - 745.
- Mackenzie A. S. (1984). Applications of biological markers in petroleum geochemistry. In: Brooks, J., and Welte, D., (Eds.). *Advances in Petroleum Geochemistry I*, pp. 115 - 214. Academic Press, London.
- Mackenzie, A. S., Hoffmann, C. F., and Maxwell, J. R., (1981). Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France - III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, pp. 1345 - 1355.
- Mackenzie, A. S., Lamb, N. A., and Maxwell, J. R., (1982b). Steroid hydrocarbons and the thermal history of sediments. *Nature*, 295, pp. 223 - 226.
- Mackenzie, A. S., Quirke, J. M. E., Maxwell, J. R., Vandenbroucke, M., and Durand, B., (1980). Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France - I. Changes in the configurations of acyclic isoprenoid alkanes, steranes and triterpanes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, pp. 1709 - 1721.
- Mackenzie, A. S., and Quigley, T. M., (1988). *Principles of Geochemistry Prospect Appraisal*. AAPG Bull., 72, pp. 399 - 415.
- Moldowan, J. M., Seifert, W. K., and Gallegos, E. J., (1985). Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *AAPG Bull.* 69, pp. 1255 - 1268.

Moldowan, J. M., Sundararaman P., and Schoell, M., (1986). Sensitivity of biomarker properties to depositional environment and/or source input in the Lower Toarcian of S. W. Germany. *Org. Geochem.* 10, pp. 915 - 926.

Ourisson, G., Albrecht, P., and Rohmer, M., (1979). The hopanoids. *Palaeochemistry and biochemistry of a group of natural products.* *Pure and Applied Chemistry*, 51, pp. 709 - 729.

Peters, K. E., and Moldowan, J. M., (1993). *The Biomarker Guide, Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments*, 363 pp, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J.

Philp, R. P., (1985). *Fossil Fuel Biomarkers*, 294 pp. Elsevier, N. Y.

Powell, T. G., and McKirdy, D. M., (1973). Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environment in Australia. *Nature*, 243, pp. 37 - 39.

Radke, M., Garrigues, P., and Willsch, H., (1990). Methylated dicyclic and tricyclic aromatic hydrocarbons in crude oils from the Handil field, Indonesia. *Organic Geochemistry*, 15, pp. 17 - 34.

Seifert, W. K., and Moldowan, J. M., (1978). Applications of steranes, terpanes and monoaromatic to the maturation, migration and source of crude oils. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42, pp. 77 - 95.

Seifert, W. K., and Moldowan, J. M., (1980). The effect of thermal stress on source rock quality as measured by hopane stereochemistry. In Douglas, A. G., and Maxwell, J. R. (Eds.). *Advances in Organic Geochemistry*, 1979. pp. 229 - 237. Pergamon Press, Oxford.

Seifert, W. K., and Moldowan, J. M., (1981). Paleoreconstruction by biological markers. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, pp. 783 - 794.

Seifert, W. K., and Moldowan, J. M., (1986). Use of biological markers in petroleum exploration. In Johns, R. B., (Ed.). *Biological Markers in the Sedimentary Record, Methods in Geochemistry and Geophysics*, 24, pp. 261 - 290. Elsevier, Amsterdam.

Sieskind, O., Joly, G., and Albrecht, P., (1979). Simulation of the geochemical transformation of sterols: superacid effects of clay minerals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, pp. 1675 - 1679.

Sikumbang, N., Sanyoto, P., Supandjono, R. J. B., and Gafoer, S., 1995. Peta Geologi Lembar Buton, Sulawesi Tenggara. Geological Map of the Buton Sheet, Southeast Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Simoneit, B. R. T., Grimalt, J. O., Wang, T. G., Cox, R. E., Hatcher, P. G., and Nissenbaum, A., (1986). Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and of fossil woods, ambers and coals. In Leythaeuser, D., and Rullkötter, J., (Eds.). *Advances in Organic Geochemistry*, 1985, *Org. Geochem.* 10, pp. 877 - 889. Pergamon Journals, Oxford.

Tissot, B. P., and Welte, D. H., (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*, 699 pp, Springer-Verlag, Berlin.

Tissot, B. P., Durand, B., Espitalié, J., and Combaz, A., (1974). Influence of the nature of diagenesis of organic matter in formation of petroleum. *AAPG Bull.* 58, pp. 499 - 506.

Tissot, B. P., Pelet, R., and Ungerer, P., (1987). Thermal history of sedimentary basins, maturation indices, and kinetics of oil and gas generation. *AAPG Bull.* 71, pp. 1445 - 1466.

Tobing, S. M. (2004). Laporan Inventarisasi Bitumen Padat Dengan 'Outcrop Drilling' Di Daerah Sampolawa, Kabupaten Buton, Prop. Sulawesi Tenggara. Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Bandung.

Volkman, J. K., (1986). A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org. Geochem.* 9, pp. 84 - 99.

Waples, D. W., and Machihara, T., (1990). Application of sterane and triterpane biomarkers in petroleum exploration. *Bull. Can. Pet. Geol.* 38, pp. 357 - 380.

Whitehead, E. V., (1974). The structure of petroleum pentacyclanes. In Tissot, B., and Bienner, F., (Eds.). *Advances in Organic Geochemistry*, 1973. pp. 225 - 243. Editions Technip, Paris.

Whiters, N., (1983). Dinoflagellate sterols. In Scheur, P. J., (Ed.). *Marine Natural Products*, pp. 87 - 130. Academic Press, New York.

Tabel 1  
Jumlah dan Jenis Analisis

Tipe percontonya : Singkapan Lokasi : P. Buton		
No.	Tipe Analisis	Jumlah Percontonya
1.	Total Karbon Organik	1
2.	Pirolisis Rock Eval	1
3.	Ekstraksi	1
4.	Fraksinasi	5
5.	Kromatografi Gas (GC)	5
6.	Kromatografi Gas Spektroskopi Masa (GCMS) fraksi saturat	5

Tabel 2

DATA KARBON ORGANIK TOTAL DAN PIROLISIS ROCK EVAL														
Tipe percontonya : batuan permukaan													Lokasi : P. Buton	
No.	Kode percontonya	Tipe percontonya	Diskripsi percontonya	TOC (%)	S1	S2	S3	PY	S2/S3	PI	PC	Tmax (°C)	HI	OI
					mg/g									
1	TRW-1	permukaan	serpilh minyak	11.57	0.74	36.14	2.11	36.88	17.13	0.02	3.06	421	312	18

Remarks :

TOC : Total Karbon Organik  
 S1 : Jumlah Hidrokarbon bebas  
 S2 : Jumlah hidokarbon dari kerogen  
 S3 : Karbon dioksida  
 PY : Jumlah Total Hidrokarbon = (S<sub>1</sub> + S<sub>2</sub>)  
 PI : Indeks Produksi = (S<sub>1</sub>/S<sub>2</sub>)  
 PC : Karbon terpirolisis  
 Tmax : Temperatur maksimum (°C) at the top of S<sub>2</sub> peak  
 HI : Indeks Hidrogen = (S<sub>2</sub>/TOC) x 100  
 OI : Indeks Oksigen = (S<sub>3</sub>/TOC) x 100

Tabel 3

DATA KOMPOSISI EKSTRAK BATUAN DAN KROMATOGRAFI GAS																	
Tipe percontonya : batuan permukaan													Lokasi : Pulau Buton, Sulawesi Tenggara				
No.	Kode Sampel	Tipe percontonya	Diskripsi percontonya	EOM (ppm)	TOC	Sat.	Aro.	NSO	Asp.	HC (ppm)	Ekstrak (mg/g TOC)	HC (mg/g TOC)	Pr/Ph	Pr/n-C <sub>17</sub>	Ph/n-C <sub>18</sub>	CPI	C <sub>29</sub> -C <sub>33</sub> / C <sub>15</sub> -C <sub>19</sub>
						(%berat)											
1	KPR-1	Permukaan	Minyak rembesan	-	-	62.57	34.50	2.93	-	-	-	-	1.51	0.67	0.52	1.00	0.13
2	LWL-1	Permukaan	Impregnasi aspal	-	-	23.42	10.36	21.41	44.81	-	-	-	BIODEGRADASI				
3	LWL-1(deasph)	Permukaan	Impregnasi aspal	-	-	68.56	29.42	2.02	-	-	-	-	BIODEGRADASI				
4	OBE-2	Permukaan	Lelahan aspal	-	-	31.53	19.17	35.67	13.63	-	-	-	BIODEGRADASI				
5	TRW-1	Permukaan	Serpilh	9,239	11.57	26.65	8.32	65.03	-	3,231	79.85	12.12	1.21	1.99	1.61	1.32	3.34

Catatan:

EOM : gram bitumen/gram sample x 10<sup>6</sup> (ppm)  
 TOC : Total Karbon Organik (%wt)  
 Sat. : Fraksi Saturat  
 Aro. : Fraksi Aromatik  
 NSO : Fraksi non-polar  
 Asp. : Fraksi Asfaltena  
 Pr : Pristana  
 Ph : Fliana  
 n-C<sub>17</sub> : Alkana normal  
 CPI : Carbon Preference Index  
 CPI = (C<sub>29</sub>+C<sub>30</sub>+C<sub>31</sub>)/(C<sub>27</sub>+C<sub>28</sub>+C<sub>29</sub>)/2\*(C<sub>29</sub>+C<sub>30</sub>+C<sub>31</sub>)  
 HC (ppm) : (%sat + %aro) x Ekstrak ppm  
 Ekstrak (mg/g TOC) : Ekstrak (ppm) / 10 x TOC  
 HC (mg/g TOC) : HC (ppm) / 10 x TOC

Tabel 4

DATA BIOMARKER FRAKSI SATURAT					
Tipe perconton: permukaan		Lokasi: Buton, Sulawesi Tenggara			
Depth (m)	KPR-1	LWL-1	LWL-1 (DA)	OBE-2	TRW-1
<b>Triterpanes</b>					
C <sub>19</sub> /C <sub>23</sub> Tricyclic	0.50	0.25	0.44	0.27	0.09
C <sub>24</sub> Te / C <sub>26</sub> Tricyclic	0.99	1.49	1.48	1.67	1.20
C <sub>26</sub> /C <sub>25</sub> Tricyclic	3.56	0.78	0.83	0.79	1.13
Tricyclic/Hopane	19.97	0.30	0.33	0.66	0.09
Ts/(Ts+Tm)	-	0.18	0.18	0.30	0.32
C <sub>29</sub> /C <sub>30</sub> Hopanes	3.22	8.55	8.72	1.07	0.57
Oleananes/C <sub>30</sub> Hopane	-	-	-	-	-
C <sub>30</sub> Moretane/ C <sub>30</sub> Hopane	-	-	-	-	0.17
22S/(22S+22R)	-	0.64	0.65	0.56	0.41
C <sub>35</sub> /Hopanes	-	-	-	-	-
Gamma cerane	-	+	+	+++	-
BML (T/T'+R)	-	-	-	-	-
<b>Steranes</b>					
Steranes/Hopanes	-	0.03	0.02	-	0.10
Diasteranes/Steranes	1.16	0.59	0.83	-	0.06
20S/(20S+20R) C <sub>29</sub>	0.57	0.50	0.56	-	0.10
C <sub>27</sub> C <sub>29</sub>	0.67	0.48	0.47	-	0.28
C <sub>27</sub> Steranes	34	37	40	-	23
C <sub>28</sub> Steranes	30	31	27	-	23
C <sub>29</sub> Steranes	36	31	33	-	55
C <sub>30</sub> Steranes (?)	-	+	+	+	-

Notes:  
 Mor. : Moretane 22 S/R; C<sub>31</sub> S/R homohopanes + : terdeteksi  
 Hop. : Hopane Ts : Trisnorhopane +++ : dominan  
 Tri : Tricyclic terpene Ts : Trisnorhopane ? : perl dilakukan analisis GCMSMS  
 Te : Tetracyclic terpene 20 S/R; C<sub>29</sub> S/R steranes

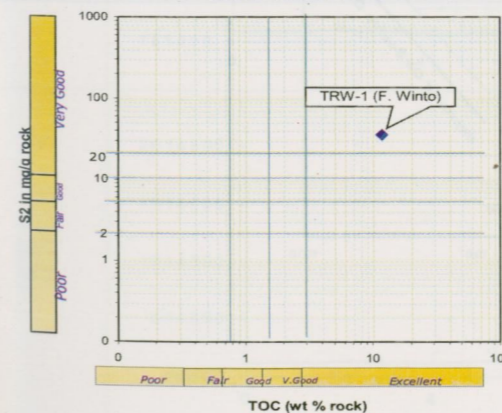
Tabel 5  
Identifikasi Pik Senyawa Sterana

Notasi Pik	Jumlah Karbon	Nama Senyawa
1	C <sub>27</sub>	13?, 17? -Diacholestane 20S
2	C <sub>27</sub>	13?, 17? -Diacholestane 20R
3	C <sub>27</sub>	13?, 17? -Diacholestane 20S
4	C <sub>27</sub>	13?, 17? -Diacholestane 20R
5	C <sub>27</sub>	5?, 14?, 17? -Cholestane 20S
6	C <sub>27</sub>	5?, 14?, 17? -Cholestane 20R
7	C <sub>27</sub>	5?, 14?, 17? -Cholestane 20S
8	C <sub>27</sub>	5?, 14?, 17? -Cholestane 20R
9	C <sub>28</sub>	5?, 14?, 17? -Ergostane 20S
10	C <sub>28</sub>	5?, 14?, 17? -Ergostane 20R
11	C <sub>28</sub>	5?, 14?, 17? -Ergostane 20S
12	C <sub>28</sub>	5?, 14?, 17? -Ergostane 20R
13	C <sub>29</sub>	5?, 14?, 17? -Stigmastane 20S
14	C <sub>29</sub>	5?, 14?, 17? -Stigmastane 20R
15	C <sub>29</sub>	5?, 14?, 17? -Stigmastane 20S
16	C <sub>29</sub>	5?, 14?, 17? -Stigmastane 20R
17	C <sub>30</sub> ?	4-desmethyl C <sub>30</sub> Steranes?
MC	C <sub>28</sub>	Methyl cholestane
ME	C <sub>29</sub>	Methyl ergostane
MS	C <sub>30</sub>	Methyl stigmastane 20R

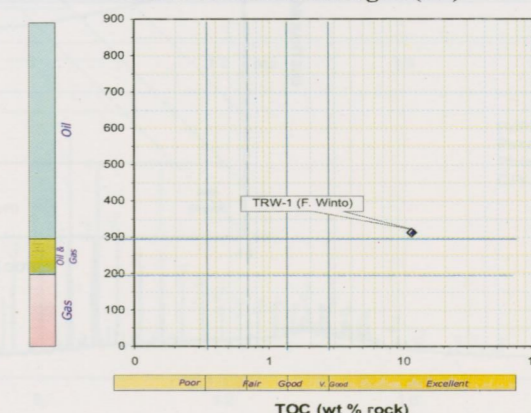
Tabel 6  
Identifikasi Pik Senyawa Terpana dan Triterpana

Notasi Pik	Jumlah Karbon	Nama Senyawa
19/3	C <sub>19</sub>	C <sub>19</sub> Tricyclic terpene
20/3	C <sub>20</sub>	C <sub>20</sub> Tricyclic terpene
21/3	C <sub>21</sub>	C <sub>21</sub> Tricyclic terpene
23/3	C <sub>23</sub>	C <sub>23</sub> Tricyclic terpene
24/3	C <sub>24</sub>	C <sub>24</sub> Tricyclic terpene
25/3	C <sub>25</sub>	C <sub>25</sub> Tricyclic terpene
24/4	C <sub>24</sub>	C <sub>24</sub> Tetracyclic terpene
26/3	C <sub>26</sub>	C <sub>26</sub> Tricyclic terpene (S+R)
28/3	C <sub>28</sub>	C <sub>28</sub> Tricyclic terpene (S+R)
29/3	C <sub>29</sub>	C <sub>29</sub> Tricyclic terpene (S+R)
30/3	C <sub>30</sub>	C <sub>30</sub> Tricyclic terpene (S+R)
31/3	C <sub>31</sub>	C <sub>31</sub> Tricyclic terpene (S+R)
27/5 Ts	C <sub>27</sub>	22,29,30- Trisnorhopane (Ts)
27/5 Tm	C <sub>27</sub>	22,29,30- Trisnorhopane (Tm)
29/5	C <sub>29</sub>	17a,21b-30-Norhopane
D	C <sub>30</sub>	Diahopane
NM	C <sub>29</sub>	17?, 21? 30-Normoretane
30/5	C <sub>30</sub>	17b,21a-Hopane
M	C <sub>30</sub>	17? 21? Moretane
31/5	C <sub>31</sub>	17? 21? Homohopane 22S
31/5	C <sub>31</sub>	17? 21? Homohopane 22R
32/5	C <sub>32</sub>	17? 21? Bishomohopane 22S
32/5	C <sub>32</sub>	17? 21? Bishomohopane 22R
G	C <sub>30</sub>	Gamacerane
33/5	C <sub>33</sub>	17? 21? Trishomohopane 22S
33/5	C <sub>33</sub>	17? 21? Trishomohopane 22R
34/5	C <sub>34</sub>	17? 21? Tetrakishomohopane 22S
34/5	C <sub>34</sub>	17? 21? Tetrakishomohopane 22R
35/5	C <sub>35</sub>	17? 21? Pentakishomohopane 22S
35/5	C <sub>35</sub>	17? 21? Pentakishomohopane 22R

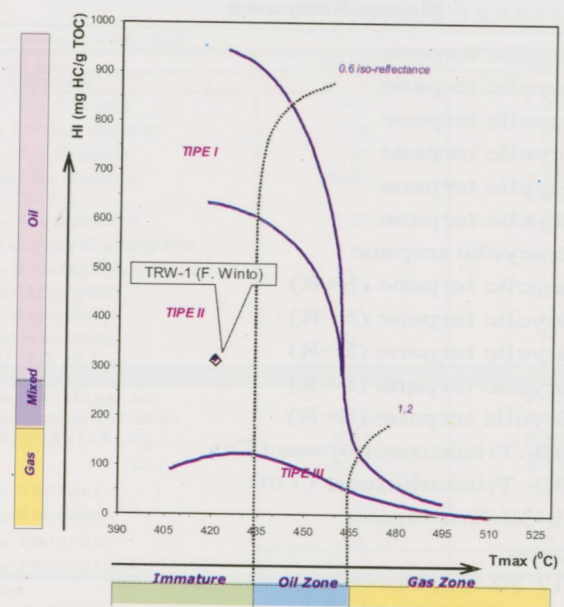
Gambar 1  
TOC vs S2



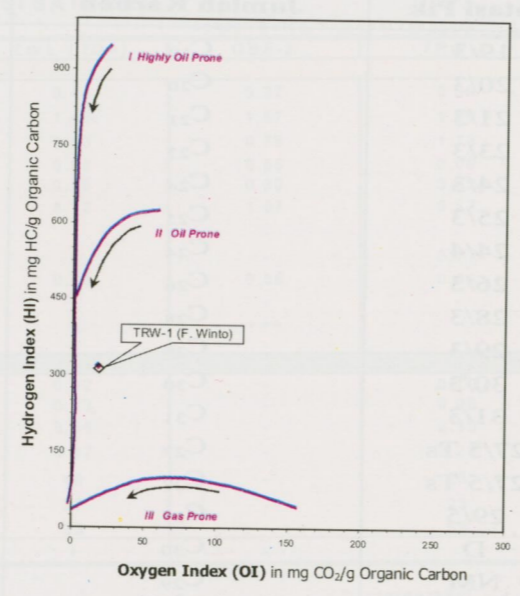
Gambar 2  
TOC vs Indeks Hidrogen (HI)



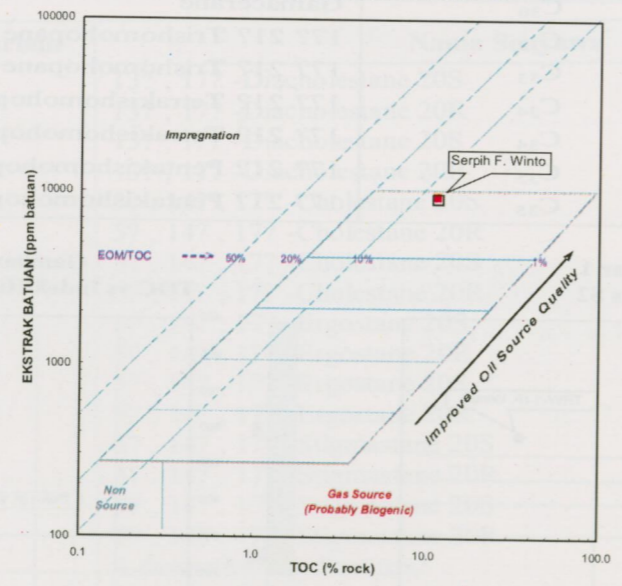
**Gambar 3**  
Tmax vs Indeks Hidrogen (HI)



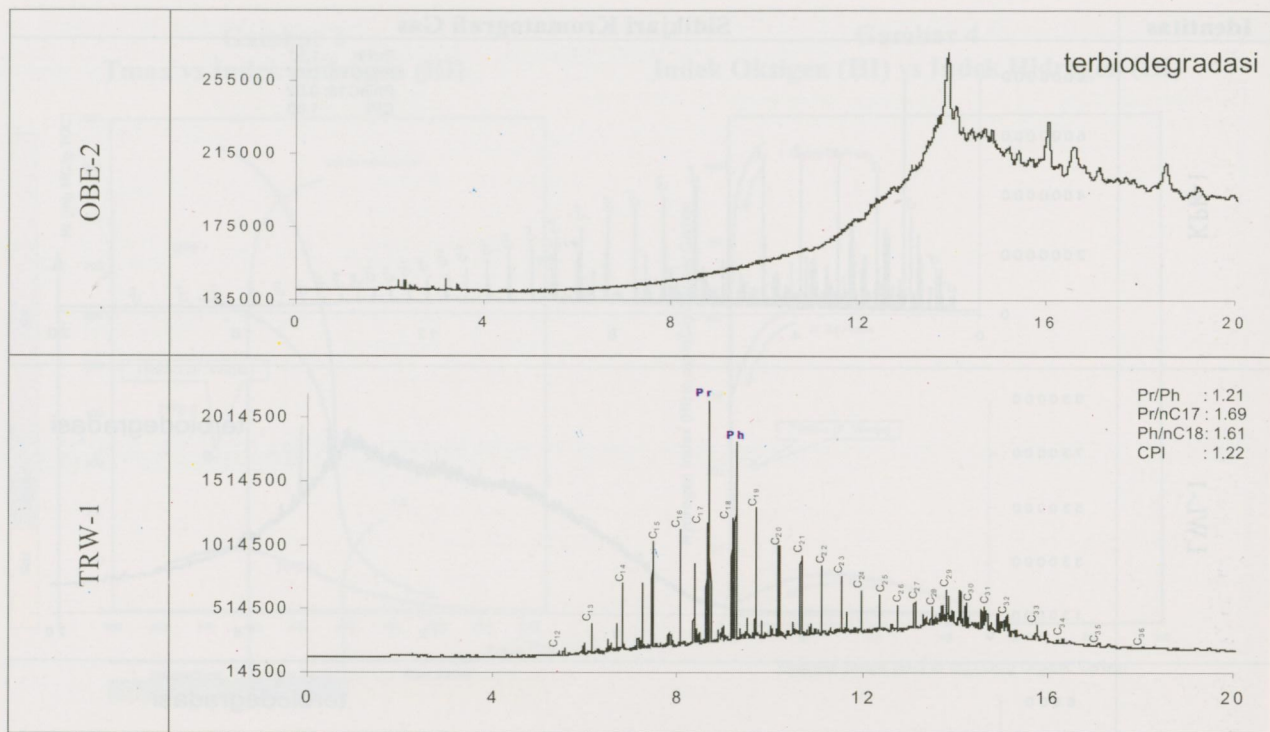
**Gambar 4**  
Indeks Oksigen (OI) vs Indeks Hidrogen (HI)



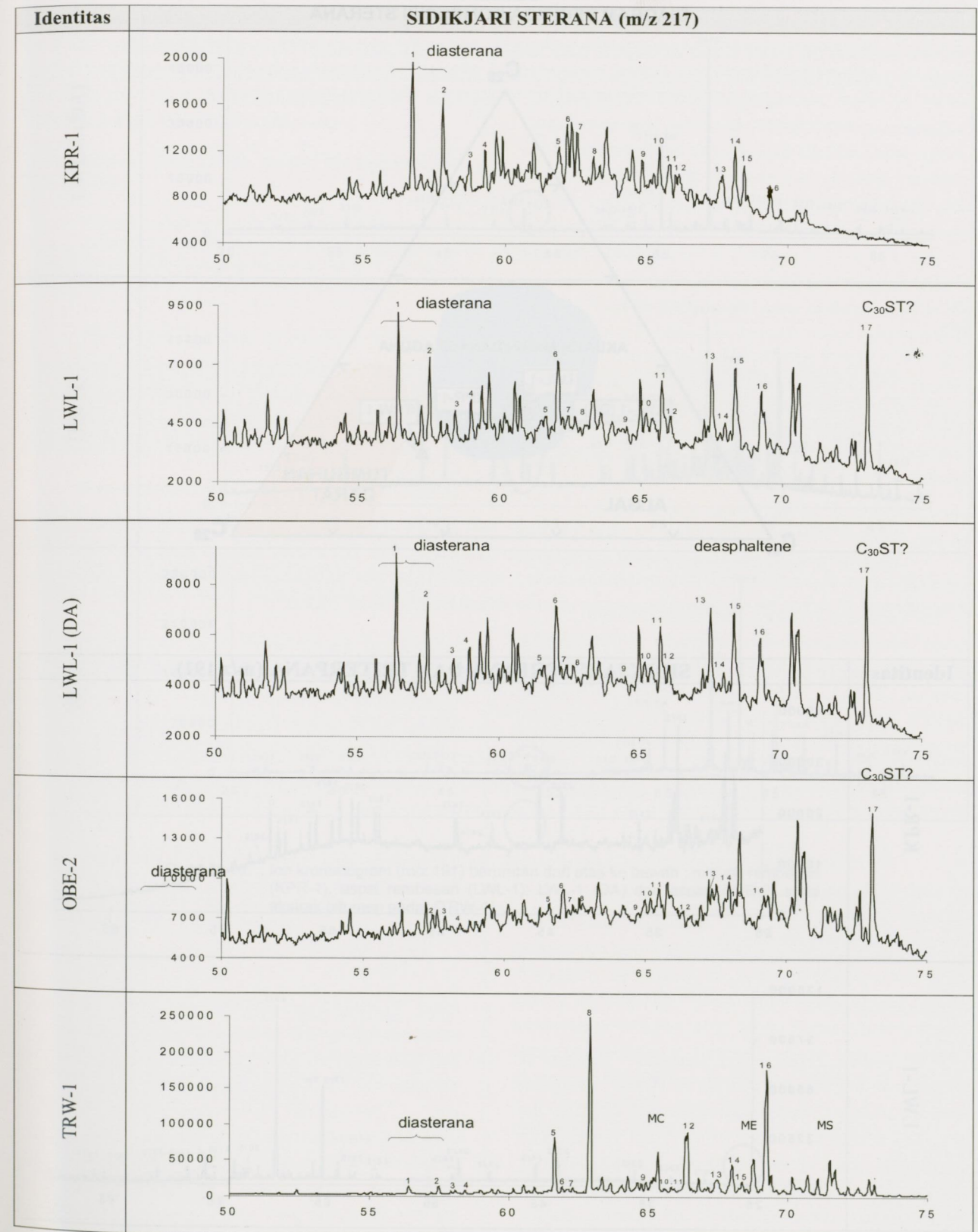
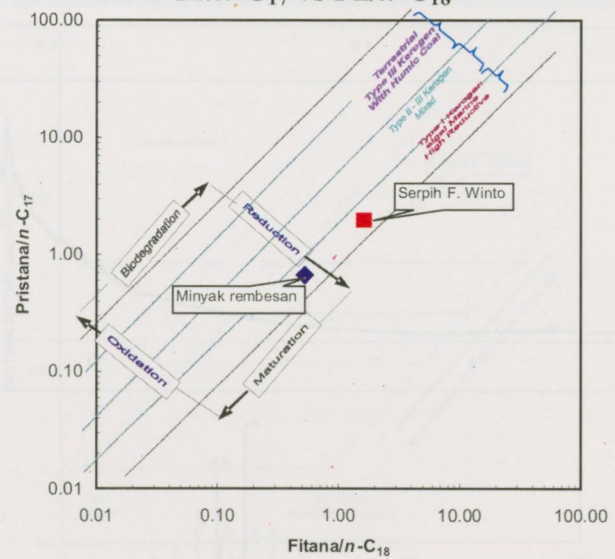
**Gambar 5**  
TOC vs TOTAL EKSTRAK



Identitas	Sidikjari Kromatografi Gas
KPR-1	<p>Pr/Ph : 1.51 Pr/nC17 : 0.67 Ph/nC18 : 0.52 CPI : 1.00</p>
LWL-1	<p>terbiodegradasi</p>
LWL-1 (DA)	<p>terbiodegradasi</p>
OBE-2	<p>terbiodegradasi</p>
TRW-1	<p>Pr/Ph : 1.21 Pr/nC17 : 1.69 Ph/nC18 : 1.61 CPI : 1.22</p>

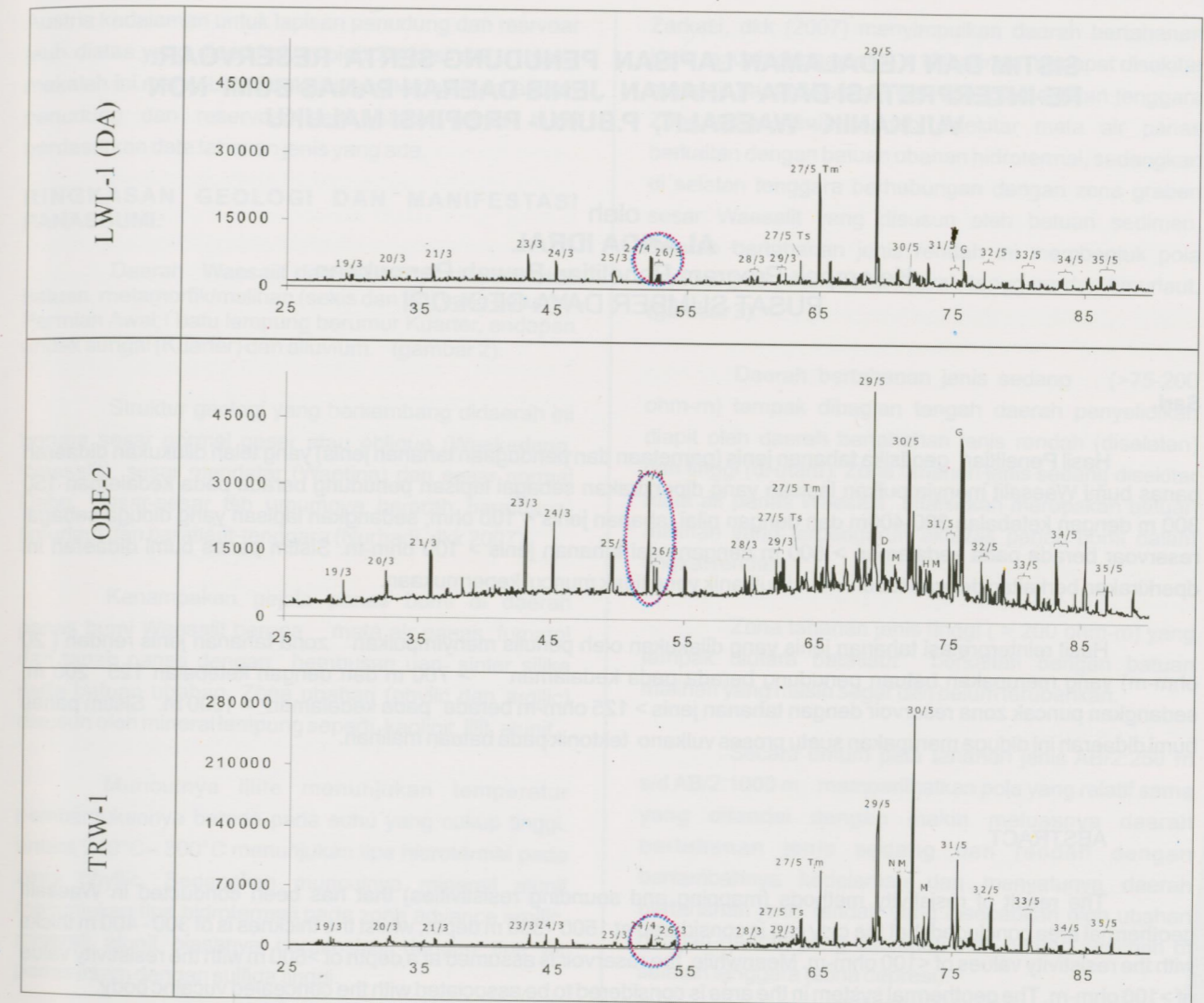
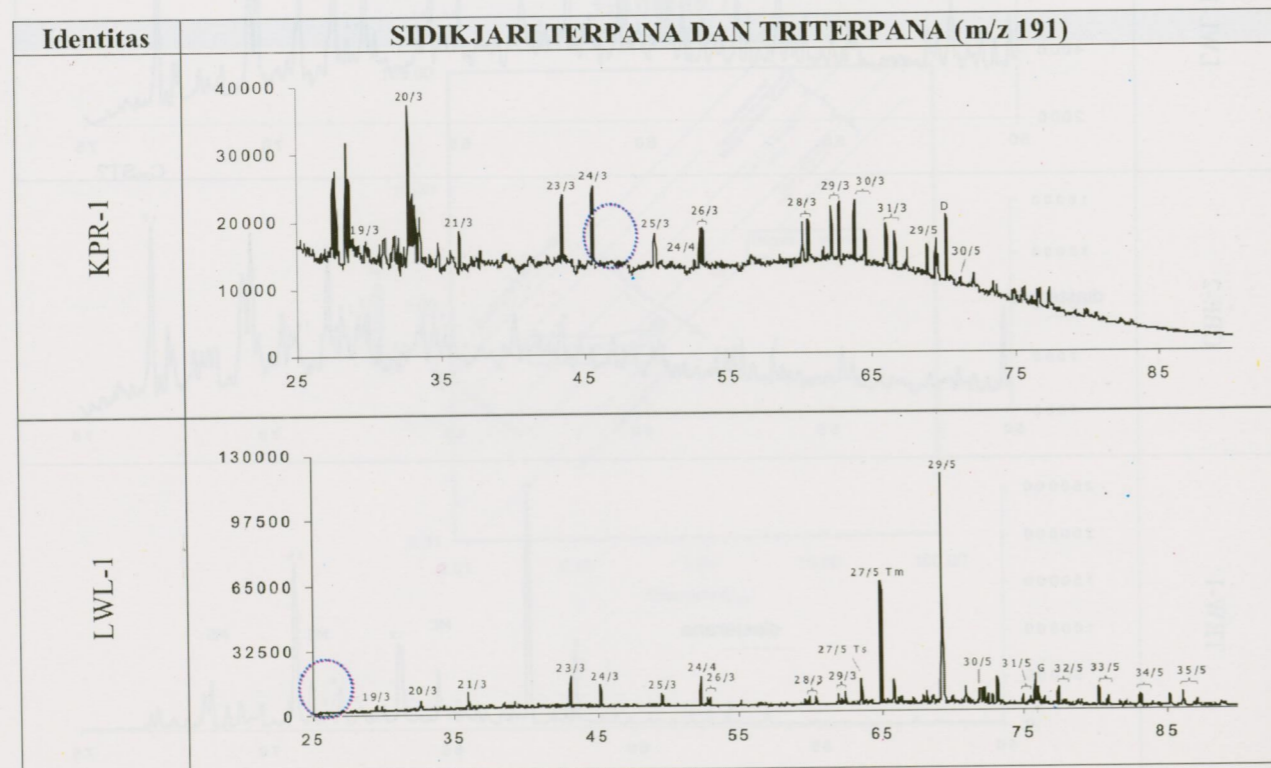
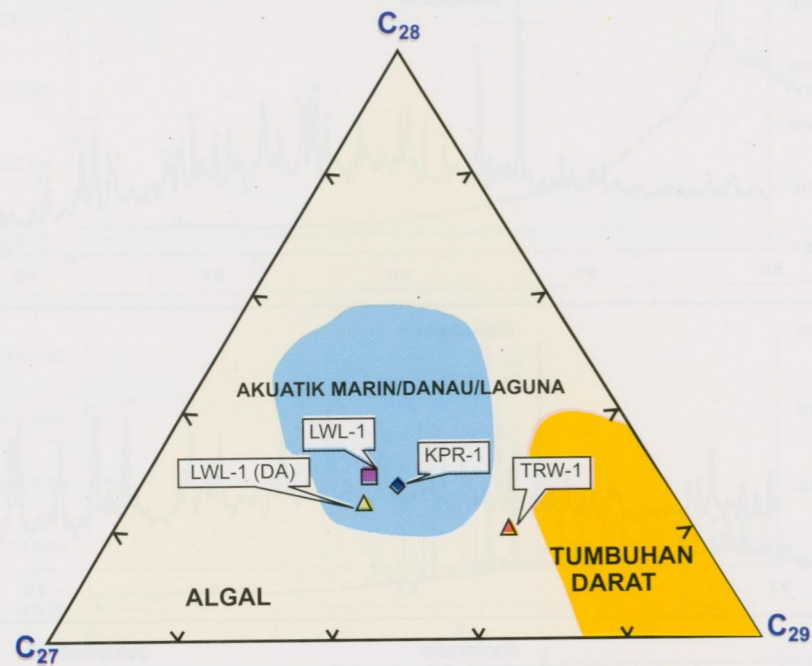


Gambar 7  
Pr/n-C<sub>17</sub> vs Ph/n-C<sub>18</sub>





Gambar 9  
DIAGRAM SEGITIGA KOMPOSISI STERANA



Gambar-10. Ion kromatogram (m/z 191) berurutan dari atas ke bawah : minyak rembesan (KPR-1), aspal rembesan (LWL-1); LWL-1 (DA) dan aspal (OBE-2) serta ekstrak bitumen padat (TRW-1)