



KARAKTERISTIK GEOKIMIA ORGANIK FORMASI TALANG AKAR PADA GRABEN BANDAR AGUNG DAN TANJUNG MIRING, SUB-CEKUNGAN PALEMBANG SELATAN: IMPLIKASINYA PADA PALEODEPOSITIONAL SETTING DAN POTENSI GENERASI HIDROKARBON

Yara Regina¹, Prof. Ir. Ildrem Syafri., DEA¹, Dr.Sc. Yoga Andriana Sendjaja, S.T., M.Sc¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran

*Korespondensi: yararegina96@gmail.com

ABSTRAK

Formasi Talang Akar Pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring, Sub-Cekungan Palembang Selatan dievaluasi menggunakan data geokimia dari dua puluh sampel sedimen (*cuttings*) dari empat sumur eksplorasi untuk analisis batuan induk meliputi kuantitas, kualitas, dan kematangan. Penelitian lebih lanjut menggunakan tiga ekstrak batuan yang dianalisis menggunakan metode geokimia molekular terdiri atas n-alkana, isoprenoids, terpana, dan sterana untuk mengetahui karakteristik geokimia organik, asal material organik, *paleodepositinal setting*, dan potensinya untuk menggenerasikan hidrokarbon. Berdasarkan hasil analisis geokimia organik, Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung miring memiliki kekayaan material organik *good* sampai *excellent* dengan tingkat kematangan *early mature* sampai *peak mature*. Sampel batubara pada Graben Tanjung Miring dan sampel batulempung pada Graben Bandar Agung merupakan bagian dari Formasi Talang Akar Bawah yang diendapkan pada lingkungan *fluvio-deltaic* dibawah kondisi suboksik sampai oksik dan kontribusi dominan dari tumbuhan tingkat tinggi. Sedangkan, sampel batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring diinterpretasikan merupakan bagian dari Formasi Talang Akar Atas yang diendapkan pada lingkungan delta/laut dangkal dibawah kondisi suboksik sampai oksik dengan kontribusi dominan dari alga laut. Jenis material organik pada batuan induk berasosiasi dengan tipe kerogen dan jenis hidrokarbon tertentu yang digenerasikan dari suatu batuan induk, menunjukkan sampel Formasi Talang Akar yang memiliki nilai Indeks Hidrogen (HI) dibawah 200 mg HC/g TOC (kerogen tipe III) berpotensi tinggi untuk menggenerasikan hidrokarbon jenis gas, sedangkan sampel yang memiliki nilai HI lebih tinggi dari 200 mg HC/g TOC hanya dapat meggenerasikan minyak bumi dalam jumlah yang terbatas.

Kata kunci: Geokimia organik, *Paleodepositional setting*, Formasi Talang Akar, Generasi Hidrokarbon

ABSTRACT

Talang Akar Formation from Bandar Agung and Tanjung Miring Graben in South Palembang Sub-Basin were evaluated using geochemical data consists of twenty samples of sediment (cuttings) from four exploration wells in the study area for basic source rock evaluation comprised of quantity, quality, and maturity. Further analysis, three rock extracts samples were analyzed using molecular geochemistry methods (e.g., n-alkanes, isoprenoids, terpanes, steranes) to determined the organic geochemical characteristic, the origin of organic matter, paleodepositional setting, and the potential of hydrocarbon generation. The results of organic geochemistry analysis indicate that Talang Akar Formation in Bandar Agung and Tanjung Miring Graben possessed good to excellent source generative potential within early to peak mature stages. Talang Akar coals in Tanjung Miring and Talang Akar claystone samples in Bandar Agung are the part of Lower Talang Akar Formation which were likely to have been deposited in fluvio-deltaic environment under suboxic to oxic condition with dominant contribution of higher plants, whereas Talang Akar shale sample in Tanjung Miring Graben is interpreted to be the part of Upper Talang Akar Formation which was likely to have been deposited in delta plain/marine environment under suboxic to oxic condition with dominant contribution of marine algal. Source of organic matter input are associated with the kerogen type and the hydrocarbon that might be generated from the source rock. High-gas generation potential is anticipated from Talang Akar Formation with HI values generally below 200 mg HC/g TOC (type III kerogen), while some of the samples have HI values higher than 200 mg HC/g TOC can only generate limited liquid hydrocarbon.

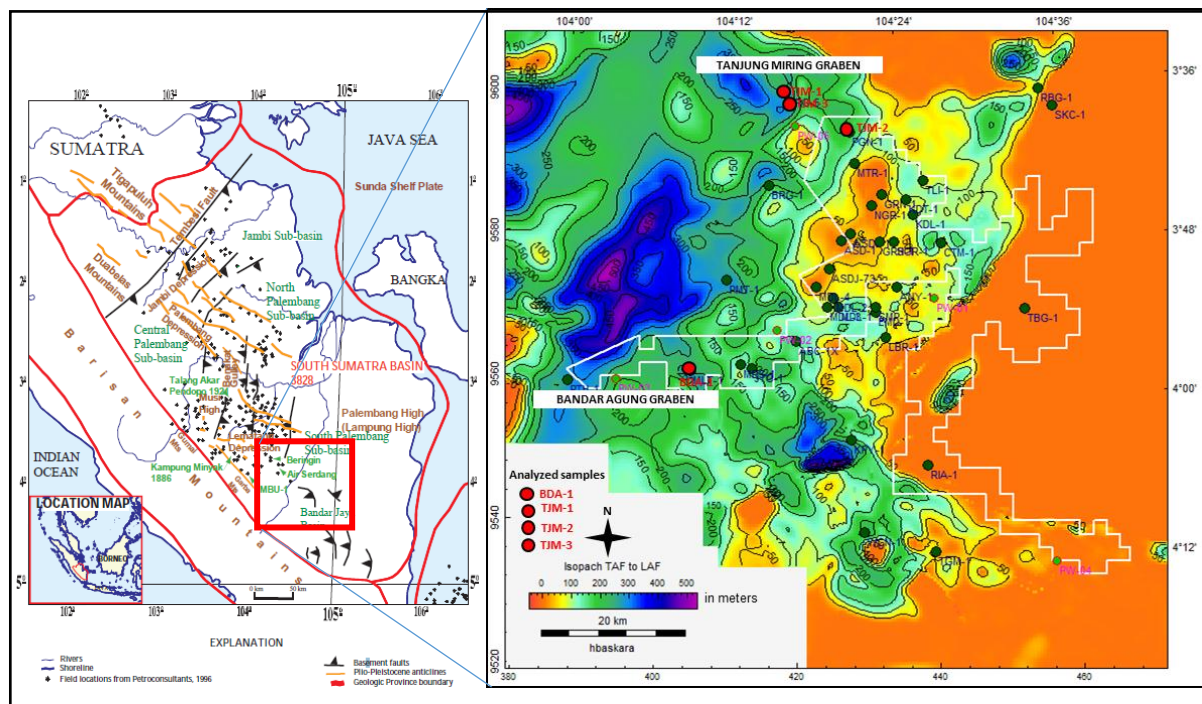
Keywords: Organic geochemistry, *Paleodepositional setting*, Talang Akar Formation, Hydrocarbon generation

1. PENDAHULUAN

Sub-Cekungan Palembang Selatan adalah salah satu cekungan belakang busur magmatik yang merupakan bagian dari Cekungan Sumatra Selatan. Formasi Lemat dan Talang Akar diidentifikasi sebagai batuan induk efektif yang aktif memproduksi hidrokarbon pada Sub-Cekungan Palembang Selatan (Syaifudin et al., 2015, Suseno et al., 1992). Akan tetapi, studi batuan induk yang meliputi karakteristik geokimia organik,

paleodepositional setting dan potensi generasi hidrokarbon pada daerah penelitian masih terbatas.

Penelitian ini fokus pada karakteristik geokimia organik dan implikasinya terhadap *paleodepositional setting* dan potensi generasi hidrokarbon dari Formasi Talang Akar pada bagian barat dan utara dari Sub-Cekungan Palembang Selatan, yaitu pada Graben Bandar Agung dan Graben Tanjung Miring (Gambar.1)



Gambar.1 Peta Lokasi Penelitian

2. TINJAUAN PUSTAKA

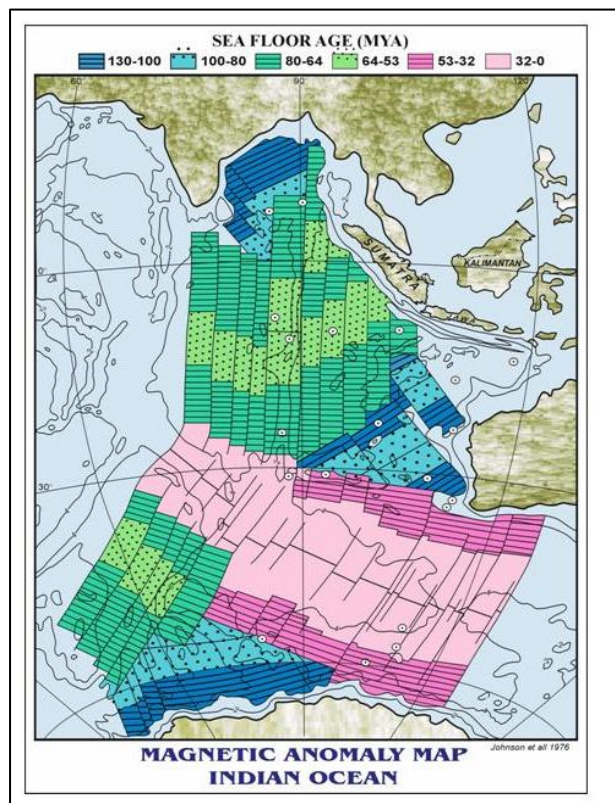
Sub-Cekungan Palembang Selatan merupakan suatu cekungan belakang busur magmatik dalam kerangka tektonik Tersier (Gambar.1). Sub-Cekungan ini memiliki tiga pola lineament struktur utama yaitu Barat-Timur, Utara-Selatan, dan Barat-laut-Tenggara. Ketiga pola lineament tersebut mirip dengan pola lineament Lantai Samudera Hindia dari bagian barat Sumatra sampai selatan Jawa (Johnson et al., 1976, dalam Soedjono Martodjodjo, 2002) (Gambar. 2)

Perbedaan arah tegangan pada kala Tersier, mengakibatkan reaktivasi tektonik dari tren struktur Paleozoic dan Mesozoic. Pada Tersier Awal sampai Miosen Tengah, tektonik menyebabkan terbentuknya beberapa *extensional graben* yang sebagian besar graben tersebut merupakan *half graben*.

Struktur graben dan *half graben* tersebut kemudian diisi oleh endapan sedimen *syn-rift* berupa material vulkanik dari Formasi Lahat terakumulasi sebagai *wedge-shaped graben* dan Formasi Talang Akar

diendapkan sebagai endapan *channel* dan endapan danau yang kaya akan *sand intercalation*. Setelah pembentukan cekungan, dilanjutkan dengan endapan laut dangkal Formasi Talang Akar sebagai endapan *post-rift*. Awal mula fase transgresi ditandai dengan perkembangan

dari batuan karbonat Baturaja dan transgresi maksimum ditandai dengan pengendapan sedimen laut dalam Formasi Gumai. Kemudian, diendapkan Formasi Air Benakat (Miosen Tengah), Formasi Muara Enim (Miosen Atas) dan Formasi Kasai (Pliosen) (De Coster, 1967) (Gambar. 3).

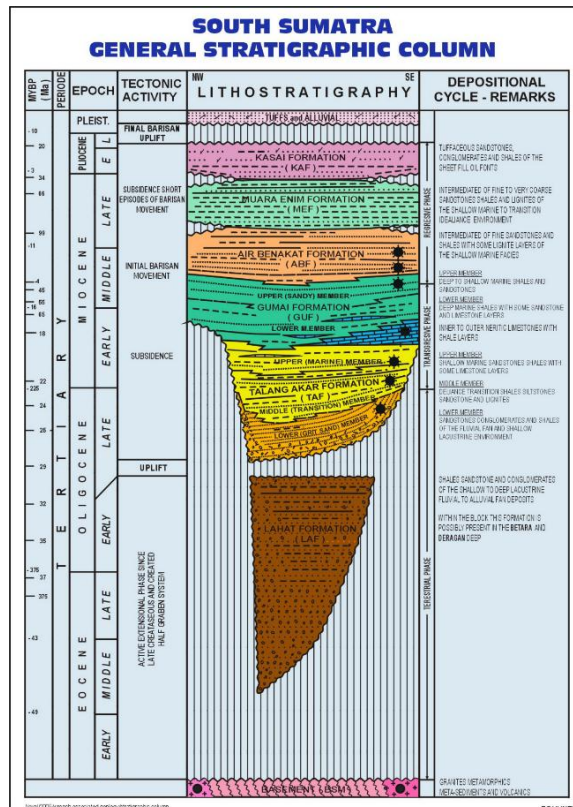


Gambar. 2 Lineament Lantai Samudra Hidia dari Barat Sumatra sampai Selatan Jawa (Johnson et al., 1976, dalam Soedjono Martodjodjo, 2002)

3. METODE

Data *rock eval pyrolysis* dua puluh sample sedimen dari empat sumur eksplorasi pada daerah penelitian dievaluasi untuk mengetahui kekayaan material organik, tipe kerogen, kematangan dan potensi batuan induk tersebut untuk menggenerasikan hidrokarbon. Penelitian lebih lanjut, analisis molekular untuk menentukan karakteristik geokimia organik menggunakan tiga conto ekstrak batuan memiliki data bulk dan molekular (n-alkana, isoprenoid, triterpana, dan sterana).

Karakterisasi geokimia organik pada penelitian ini menggunakan metode geokimia molekular yaitu biomarker.



Gambar. 3 Kolom Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan (JOB Pertamina-Talisman OK Ltd, 2001 Modifikasi dari De Coster, 1987)

Analisis bimoarker mencakup data Gas Kromatografi (GC) yang terdiri atas distribusi n-alkana dan plot silang parameter isoprenoid ($Pr/n-C_{17}$, $Ph/n-C_{18}$, $Pr/Ph-Pr/nC_{17}$, $Pr/Ph-total$ hopane/total sterane) yang menunjukkan kontribusi dari tipe material organik tertentu. Selain itu, data Gas Kromatografi-Spektrometri Massa (GC-MS) yang terdiri atas diagram distribusi dari sterana $C_{27}-C_{28}-C_{29}$, distrubusi *mass-fragmentograms* m/z 191 dn distrubusi triterpana *mass fragmentograms* m/z 217 yang menunjukkan tipe material organik, *paleodepositional setting* dan kematangan untuk menentukan fasies organik dari batuan induk

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kekayaan Material Organik

Kekayaan material organik dan potensi generasi hidrokarbon dari conto ekstrak batuan Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring dievaluasi menggunakan data Total Organic Content (TOC), Pyrolysis *yield* (S_2), dan data ekstrak batuan (Tabel 1). Ekstrak batulempung dari Graben Bandar Agung memiliki kadar TOC *excellent* (4.58 wt%) dan EOM *yield* 9211 ppm. Batulempung serpih dari Graben Tanjung miring memiliki kadar TOC

very good (3.22 wt%) dan EOM *yield* 8113 ppm, sedangkan ekstrak batubara memiliki kadar TOC yang lebih tinggi (62.10-69.45 wt%) dan EOM *yield* 18525-19725 ppm. Ditinjau dari kekayaan material organik yang cukup tinggi dari semua conto ekstrak batuan baik pada Graben Bandar Agung maupun Tanjung miring, dapat diklasifikasikan bahwa conto Formasi Talang Akar memiliki potensi yang sangat baik sebagai batuan induk penghasil hidrokarbon (Tissot dan Welte, 1984; Peters dan Cassa, 1994).

Tabel 1. Data geokimia bulk dan rasio berdasarkan distribusi n-alkana dan isoprenoid dari conto sedimen Formasi Talang Akar

Sample ID	Sample depth (m)	Lithology	Quantity				Quality		Maturity		Bitumen extraction and chromatographic fractions (ppm)				n-alkanes and isoprenoids		
			TOC (wt%)	S_1 (mg/g)	S_2 (mg/g)	PI	HI	Tmax (°C)	%Ro	EOM (ppm)	Sat (ppm)	Aro (ppm)	NSO +asp (ppm)	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Pr/n-C ₁₈	CPI
BDA-1	1434	Black coal	46.67	7.35	98.75	0.07	212	432	0.57								
	1440	Brownish grey claystone	4.58	0.87	10.67	0.08	233	433	0.54	9211	35.2	9.4	55.4	9.8	9.9	0.4	1.1
	1443	Brownish grey claystone	2.48	0.41	5.23	0.07	233	433	0.54								
	1452	Brownish grey claystone	2.13	0.38	5.11	0.07	240	434	0.57								
TJM-1	2200-2202	Brownish grey shale	1.18	0.12	1.61	0.07	137	436	0.61								
	2202-2204	Brownish grey shale	1.17	0.16	1.72	0.09	147	437	0.64								
	2206-2208	Medium dark grey shale	1.16	0.09	1.70	0.05	147	437	0.63								
	2208-2210	Medium dark grey shale	1.23	0.16	1.82	0.08	148	438	0.64								
	2332-2334	Black coal	62.10	11.35	123.11	0.08	198	437	0.69								
	2336-2338	Brownish grey shale	1.15	0.21	2.43	0.08	211	442	0.66								
TJM-2	1942	Brownish grey shale	1.26	0.18	3.67	0.05	292	431	0.51								
	1966	Brownish grey shale	1.06	0.21	2.97	0.07	261	435	0.52								
	1984	Brownish grey shale	1.73	0.26	3.03	0.06	175	433	0.54								
	2020	Brownish grey shale	1.19	0.19	2.87	0.06	241	434	0.56								
	2038	Brownish grey shale	2.50	0.46	6.17	0.07	247	434	0.63								
	2050	Black coal	69.45	8.86	145.87	0.06	210	436	0.66	19725	37.8	7.1	55.1	5.2	2.2	0.42	1.12
TJM-3	2238-2240	Brownish grey shale	2.96	0.35	5.94	0.06	201	448	0.59								
	2274-2276	Brownish grey shale	2.23	0.46	5.83	0.07	262	451	0.61								
	2276-2278	Olive grey shale	3.11	0.41	5.71	0.07	184	452	0.63	8113	31.96	26.8	41.24	4.95	2.4	0.5	1.11
	2398-2400	Brownish grey shale	1.47	0.21	3.62	0.05	246	452	0.68								

S_1 volatile hydrocarbon (HC) content (mg HC/g rock), S_2 remaining HC generative *potential* (mg HC/g rock), HI hydrogen index= $S_2 \times 100 / \text{TOC}$ (mgHC/g TOC), TOC total organic carbon (wt%), Tmax temperature at maximum, Pr pristane, Ph phytane, EOM bitumen extraction (ppm), Sat saturation fractions, Arom aromatic fractions, HC hydrocarbon fractions = (saturation + aromatic), CPI carbon preference index

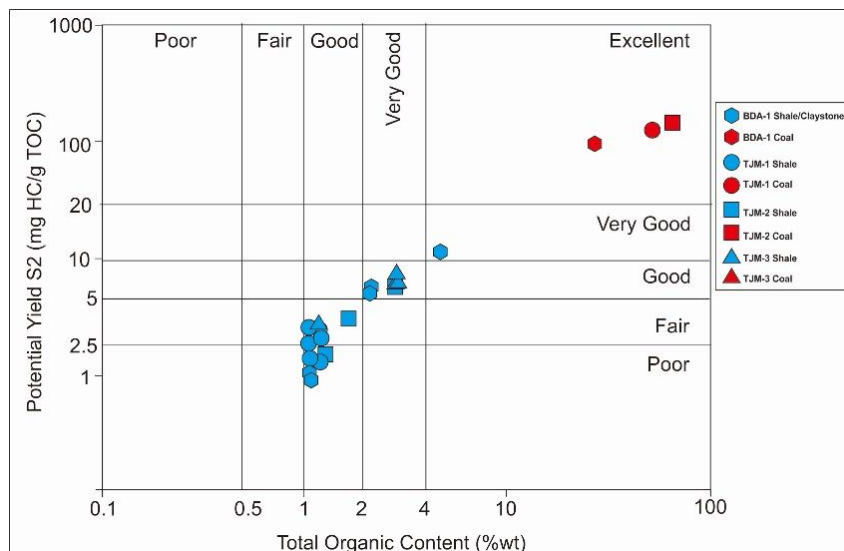
Jumlah dari *potential yield* (S_2) yang digenerasikan saat pyrolysis juga digunakan sebagai parameter kekayaan material organik pada suatu batuan. Batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar agung

memiliki nilai S_2 *very good* (10.67 mg /g rock). Batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring memiliki nilai S_2 5.71 mg /g rock, sedangkan ekstrak batubara memiliki rentang nilai S_2 123.11 sampai 145.87

mg/g rock (Tabel 1). Berdasarkan parameter-parameter tersebut, Formasi Talang Akar di kedua graben memiliki potensi generasi

hidrokarbon *good to excellent* (Peters dan Cassa, 1994) (Gambar 4).

Gambar. 4 Hubungan antara *potential yield* (S_2) dan total organic carbon (TOC, wt%) dari conto sedimen Formasi Talang Akar

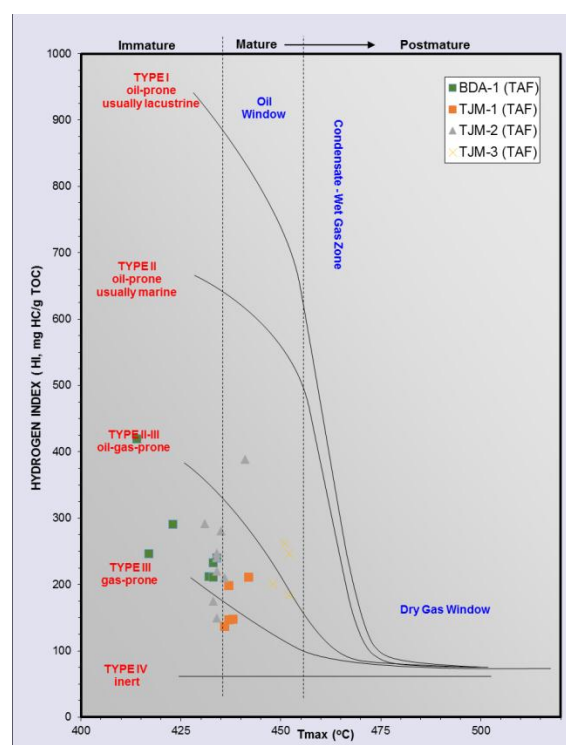


4.2 Tipe Material Organik

Kerogen merupakan fraksi material organik dalam batuan yang tidak dapat larut dalam pelarut organik karena molekulnya berukuran besar. Kerogen tersusun atas berbagai macam material organik termasuk alga, polen, kayu, vitrinit, dan material yang tidak berstruktur. Setiap tipe kerogen yang memiliki jumlah hidrogen relatif terhadap karbon dan oksigen yang berbeda. Kandungan hidrogen dalam jumlah tertentu pada suatu tipe kerogen mengontrol faktor reaksi utama dari generasi hidrokarbon minyak dan gas (Tissot dan Welte, 1984).

Berdasarkan data pyrolisis, diagram klasifikasi kerogen menggunakan data Indeks Hidrogen (HI) versus T_{max} (Modifikasi dari Bordenave, 1993) (Gambar 5) menunjukkan bahwa conto ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung belum matang dan merupakan kerogen tipe III, sedangkan conto ekstrak batuan pada Graben Tanjung Miring telah matang dan kerogen tipe III dan tipe II/III (Gambar 5) dengan nilai HI 184 sampai 233 mg HC/g TOC (Tabel 1).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sedimen Formasi Talang Akar pada kedua graben didominasi oleh material organik *terrestrial* dan memiliki potensi untuk menggenerasikan gas dan sedikit minyak.



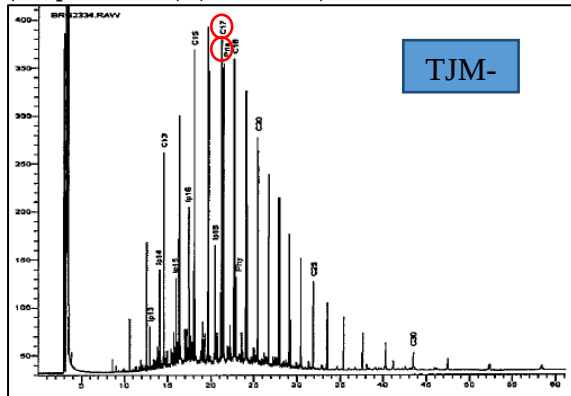
Gambar 5. Plot Index Hidrogen (HI) versus pyrolysis T_{max} conto sedimen Formasi Talang Akar, menunjukkan tipe kerogen dan tingkat kematangan termal

4.3 Geokimia Molekular

4.3.1 N-Alkana dan Isoprenoid

Analisis Gas kromatografi (GC) dilakukan pada fraksi saturasi hidrokarbon dari conto ekstrak

batuan Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring. Data distribusi n-alkana dapat menjelaskan tipe material organik (*higher plant* atau alga lipid), ditinjau dari formasi katagenesis dan komposisi rantai karbon (Waples, 1985). Hasil analisis pada conto ekstrak batulempung serpih pada Graben Tanjung miring menunjukkan disitribusi maksimum dari C_{17} mengindikasikan kontribusi dominan material organik alga laut (Waples, 1985) (Gambar 6).

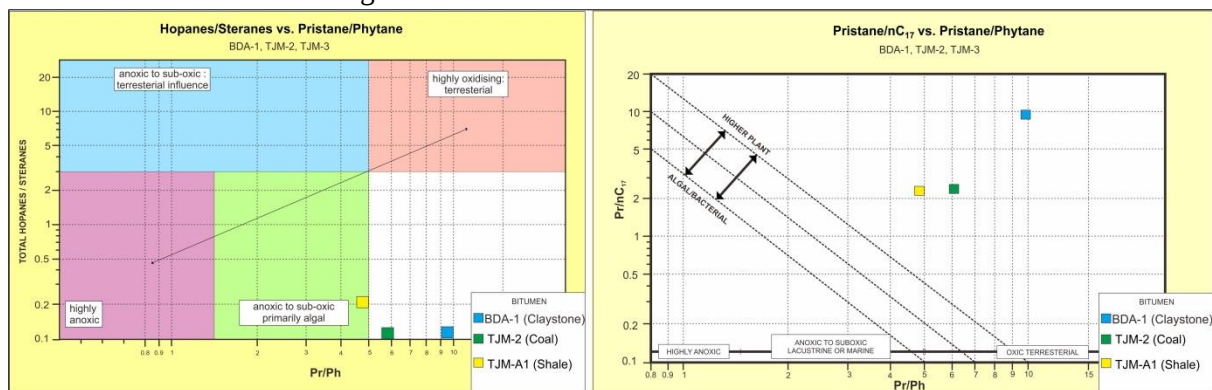


Gambar. 6 Distribusi n-alkana pada conto ekstrak batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring

Parameter Isoprenoid pada dasarnya digunakan sebagai indikator dari tingkat kehadiran oksigen selama diagenesis (Waples, 1985). Pada conto ekstrak batuan Formasi Talang Akar di Graben

Tanjung Miring, konsentrasi pristana relatif tinggi jika dibandingkan fitana dengan rasio Pr/Ph 3.69 – 5.3 (Tabel 1), menunjukkan bahwa conto batubara dan batulempung serpih Formasi Talang Akar diendapkan pada kondisi suboksik sampai oksik (Peters dan Moldowan, 1993). Selanjutnya, nilai isoprenoid pristana lebih tinggi dibandingkan dengan n-alkana pada sampel batubara sementara pada batulempung nilai n-alkana lebih tinggi dibandingkan dengan isoprenid pristane (Gambar 6), hal tersebut menyebabkan a rasio yang tinggi dari pristana/ $n-C_{17}$ (0.88-2.44) dan rasio fitana/ $n-C_{18}$ (0.25-0.5) rendah (Tabel 1).

Berdasarkan analisis distribusi n-alkana dan isoprenoid, batulempung serpih Formasi Akar Talang pada Graben Tanjung Miring didominasi oleh material organik *aquatic* asal laut, sedangkan batubara Formasi Talang Akar memiliki kontribusi dari material organik asal *terrestrial* yang tinggi dengan sedikit kontribusi dari material organik *aquatic*. Pada Graben Bandar Agung, conto ekstrak batulempung menunjukkan nilai rasio Pr/Ph yang tinggi (9.9) dan rasio pristana/ $n-C_{17}$ yang tinggi (9.8) yang menunjukkan kontribusi dominan dari material organik asal *terrestrial* dan diendapkan pada kondisi oksik (Gambar. 7) (Peters dan Moldowan, 1993).



Gambar. 7 (a) Plot silang Pr/Ph versus Total Hopane/steranes (b) Plot silang Pr/Ph versus Pr-nC17 showing menunjukkan asal material organik dan kehadiran oksigen saat diagenesis

4.3.2 Biomarker Sterana dan Triterpana

Data Gas Kromatografi-Spektrometri Massa (GC-MS) digunakan untuk analisis biomarker sterana dan triterpana pada ekstrak batuan Formasi Talang Akar Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring. Sterana secara umum merupakan indikator untuk photosynthetic biota

baik di *terrestrial* maupun *aquatic* (Waples dan Machihara, 1991). Distribusi sterana m/z 217 *mass fragmentograms* conto ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung Graben didominasi oleh sterana C_{29} (Gambar. 9b). Proporsi relatif dari regular sterana (C_{27} , C_{28} dan C_{29}) juga didominasi oleh sterana C_{29} (62.14%)

dibandingkan dengan C_{27} (16.43%) dan C_{28} (21.43%) seperti pada Tabel 2, proporsi tersebut menunjukkan kontribusi yang tinggi dari material organik asal *terrestrial* (Gambar 8)

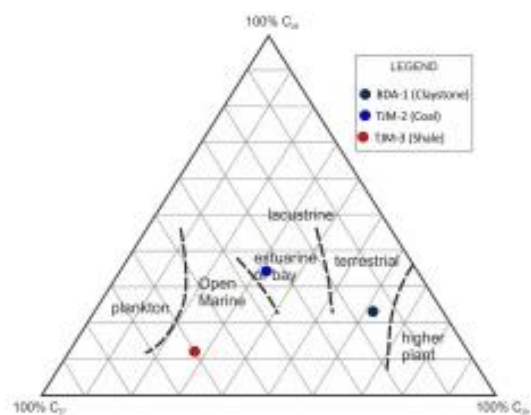


Fig. 8 Diagram segitiga dari regular sterana (C_{27} – C_{29}) mengindikasikan hubungan komposisi sterana dengan tipe material organik (Modifikasi dari Huang and Meinschein, 1979)

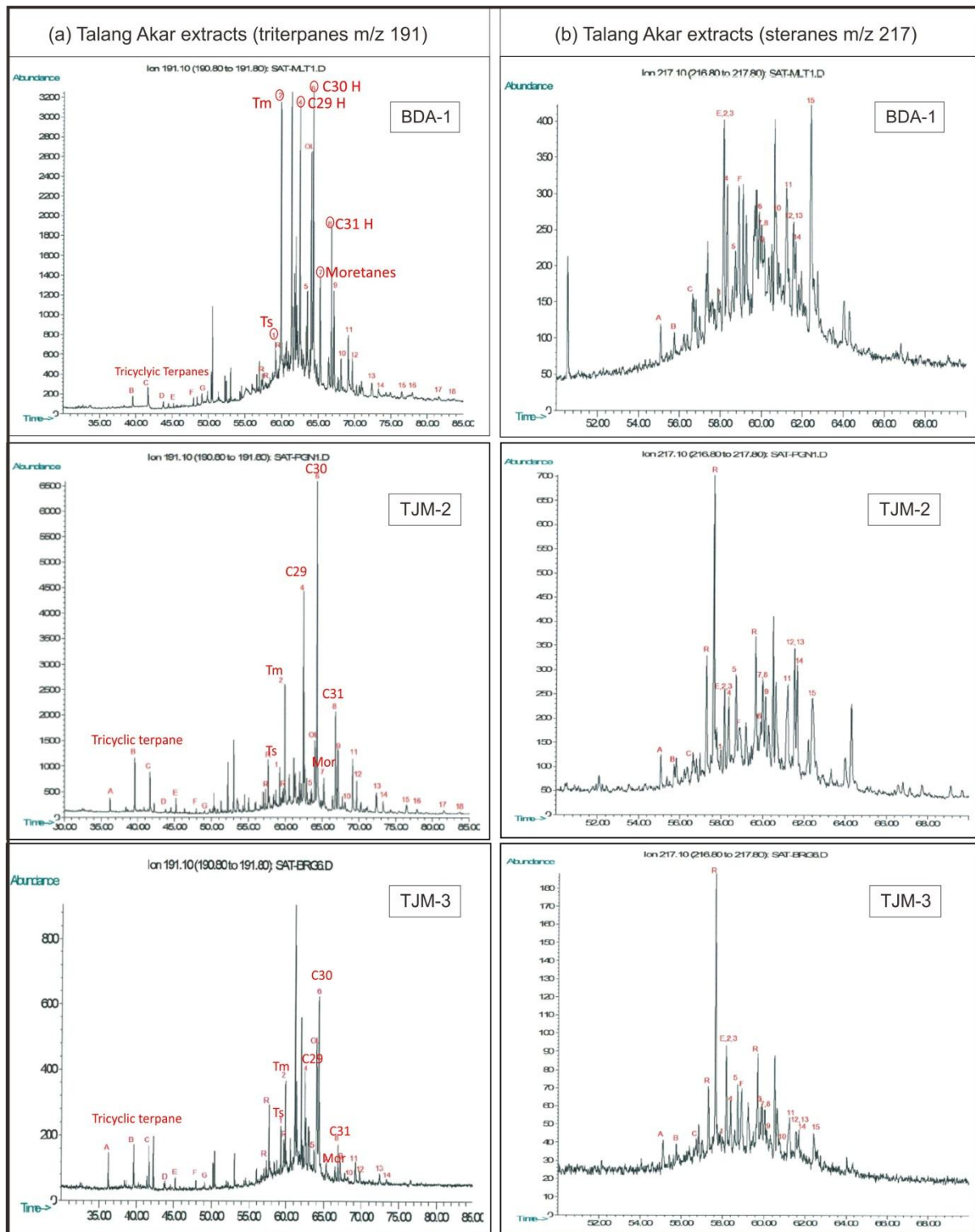
Pada Graben Tanjung Miring, distribusi sterane m/z 217 dari semua conto ekstrak batuan didominasi oleh sterane C_{29} (Gambar 9b), akan tetapi proporsi relatif dari setiap regular sterananya menunjukkan variasi pada batubara dan batulempung serpih (Gambar 8). Ekstrak batubara menunjukkan proporsi yang relatif sama antara C_{27} (36.14%), C_{28} (32.53%), dan C_{29} (31.33%) yang menunjukkan kontribusi yang seimbang antara material organik asal *terrestrial* dan laut. Di sisi lain, pada ekstrak batulempung serpih menunjukkan kontribusi dominan dari material organik asal laut dengan proporsi yang tinggi dari C_{27} (60%) dibandingkan dengan C_{29} (28.57%) and C_{28} (11.43%).

Triterpana, yang secara umum berasal dari bakteri, lebih digunakan sebagai indikator dari kondisi pengendapan dan diagenetiknya (Waples and Machihara, 1991).

Distribusi triterpana m/z 191 dari batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan batubara Formasi Talang Akar pada

Graben Tanjung Miring secara umum memiliki karakteristik lingkungan *fluvio-deltaic* (Gambar 9a). Konsentrasi dari C_{30} *higher plant resin derived cyclic alkanes* dan C_{30} 18 α Oleanane pada ekstrak batubara sedikit lebih tinggi daripada ekstrak batulempung. Ekstrak batulempung menunjukkan konsentrasi yang tinggi dari C_{29} yang berasosiasi dengan Oleanane dan bisnorlupana yang meruakan indikator dari material organik asal (Brooks, 1996 dalam Waples dan Machihara, 1991). Konsentrasi 17 β ,21 α (H)-moretane sedang sampai tinggi dan C_{28} 17 α (H)-3 8,30 – bisnorhopane rendah menunjukkan kondisi lingkungan pengendapan oksik (Katz dan Elrad, 1983). *Extended hopane* didominasi oleh C_{31} homohopane dan terus menurun sampai C_{34} homohopane (Gambar. 9a). Konsentrasi yang rendah dari *tricyclic* terpana merupakan salah satu indikator lingkungan *fluvio-deltaic* (Robinson, 1987). Nilai Tm (C_{27} 17 α (H)-22,29,30 trisnorhopane) jauh lebih tinggi daripada nilai Ts (C_{27} 18 α (H)-22,29,30-trisnorhopane) dengan rasio Tm/Ts dari ekstrak batulempung 4.16 dan ekstrak batubara 2.04 (Tabel 2).

Ekstrak batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring diinterpretasikan diendapkan pada lingkungan delta sampai laut dangkal. Berdasarkan rendahnya konsentrasi dari C_{30} *resin derived cyclic alkanes* (bicadinanes) (Waples dan Machihara, 1991), dan juga rendahnya konsentrasi dari moretana yang mengindikasikan asosiasi dengan fasies karbonat dan material asal laut (Rullkotter et al., 1986; Connan et al., 1986 dalam Waples and Machihara, 1991). Konsentrasi yang tinggi dari *tricyclic* terpana menunjukkan kondisi pengendapan oksik sampai suboksik pada lingkungan laut (Robinson, 1987). Rasio Tm/Ts dari ekstrak batulempung serpih adalah 2.8 (Tabel 2).



Gambar 9. Triterpana m/z 191 mass fragmentograms (a) dan sterana m/z 217 mass fragmentograms (b) dari fraksi saturasi hidrokarbon dari contoh ekstrak batuan Formasi Talang akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring

Table 2. Parameter biomarker dari conto ekstrak batuan Formasi Talang Akar sebagai indikator sumber meaterial organik, lingkungan pengendapatan dan kematangan termal

SAM PLE ID Dept h (m)	Litholo gy	Triterpane Data (m/z 191)								Sterane Data (m/z 217)						
		Tm	Total	Tota	%C	C29	C ₃₀	C31	C32	Total	C29	%αα 20R			%	%T
		/	% C ₂₈	l %	₃₀	/C3	More	22R	22S/	Hopa	ββ/(	Steranes			Total	otal
		Ts	– C ₃₁	Hop	Res	0H	tane/	/C3	22S+	ne/ste	ββ+αα)				Stera	Di
			Tricy	anes	ins		C ₃₀	0H	22R	ane		C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	nes	ster
			clic		+O		Hopa									ane
			Terpa		L		ne									s
			nes													
BDA -1 1440	Brown ish grey claysto ne	0.1 1	3.22	81.9 3	14. 85	0.9 3	0.38	1.5 1	0.63	0.15	0.3 1	16. 43	21. 43	62. 14	6.66	2.4 6
TJM- 2 2050	Black coal	0.2 4	10.03	79.0 6	10. 91	0.6 5	0.09	8.1 4	0.63	0.11	0.5 8	36. 14	32. 53	31. 33	3.74	0.8 1
TJM- 3 2276 - 2278	Olive grey shale	0.3 5	15.76	60.1	24. 14	0.5 3	0.07	5.3 8	0.62	0.2	0.4 3	60	11. 43	28. 57	3.14	1.9

Tm (C27 17a(H)-22,29,30-trisnorhopane), Ts (C27 18a(H)-22,29,30-trisnorhopane), C29/C30 C29 norhopane/C30 hopane

4.4 Kematangan Termal

Kematangan termal dari material organik dari ekstrak batubara dan batulempung pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring diinterpretasi menggunakan nilai reflektansi vitrinite (%Ro), pyrolysis Tmax dan parameter kematangan biomarker (Tabel 1 dan 2). Berdasarkan parameter-parameter tersebut, conto ekstrak batubara dan batulempung serpih pada Graben Tanjung Miring telah matang dengan nilai %Ro 0.63-0.66% dan nilai Tmax 436-452°C (Tabel 1) (Peters dan Cassa, 1994). Di sisi lain, conto ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung belum matang dengan nilai %Ro 0.54% dan nilai Tmax 433°C, yang artinya conto ekstrak batuan ini belum mencapai *oil window* (%Ro=0.6, Tmax=435°C) (Peters and Cassa, 1994). Parameter kematangan biomarker dari ekstrak batuan (Tabel 2) seperti C₃₂ hopane 22S/(22S+22R), moretana/hopane, dan rasio ββ/(ββ+αα) juga digunakan sebagai parameter kematangan termal (Mackenzie et al. 1980; Waples and Machihara 1991). Semua conto ekstrak batuan Formasi Talang akar memiliki rasio 22S/(22S+22R) untuk C₃₂ hopane adalah antara 0.62 dan 0.63 (Tabel 2), menunjukkan

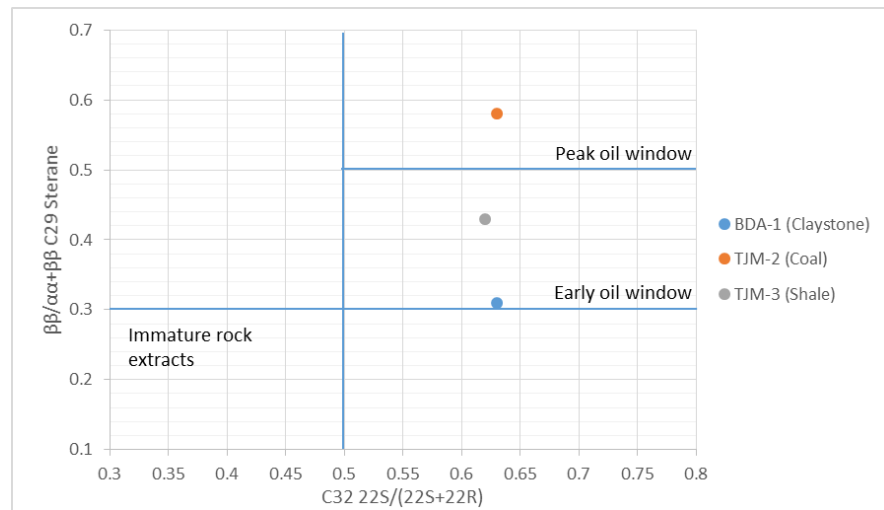
bahwa ekstrak batuan telah mencapai *equilibrium* dan telah mencapai kematangan *oil window* (Seifert dan Moldowan 1986). Ekstrak batubara dan batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring memiliki rasio moretana/hopane pada rentang 0.07-0.09, sedangkan ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung memiliki rasio moretana/hopane 0.38, menunjukkan bahwa ketiga ekstrak batuan telah matang. Akan tetapi Ekstrak batubara dan batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring lebih matang dibandingkan dengan than batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung, karena nilai moretana berkurang saat tingkat kematangan termal bertambah (Mackenzie et al. 1980; Seifert dan Moldowan 1986). Rasio ββ/(ββ+αα) sterana juga bertambah seiring dengan meningkatnya kematangan (Seifert and Moldowan 1981). Ekstrak batubara dan batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring dengan rasio ββ/(ββ+αα) sterana 0.43-0.58 lebih matang dibandingkan dengan ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada

Graben Bandar Agung dengan rasio $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ 0.31.

Berdasarkan parameter-parameter di atas, Ekstrak batuan Formasi Talang Akar dari kedua

graben telah mencapai kematangan termal dengan tingkat kematangan *early* sampai *peak oil window* (Gambar.10)

Gambar 10. Plot silang dari dua biomarker parameter yang sensitif terhadap kematangan termal dari conto ekstrak batuan Formasi Talang Akar (Modifikasi dari Peters dan Moldowan, 1993)



4.5 Fasies Organik Dan Paleodepositional Setting

Fasies organik dan paleodepositional setting diinterpretasikan melalui analisis geokimia molekular yang disebut dengan biomarker. Biomarker yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas n-alkana, isoprenoid, sterana dan triterpana. Distribusi n-alkana pada ekstrak batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring memiliki rantai n-alkana yang pendek ($<n-C_{20}$) yang biasanya ditemukan pada alga dan mikroorganisme (Cranwell, 1977; Peters et al., 2005). Konsentrasi maksimum dari komponen C_{17} juga menunjukkan material organik asal laut (Waples, 1985).

Rasio Pristana/Fitana merupakan parameter biomarker yang sering digunakan sebagai indikator sumber material organik dan kehadiran oksigen saat diagenesis (Didyk et al., 1987; Tissot dan Welte, 1984;). Pada Graben Tanjung Miring, rasio Pr/Ph dari ekstrak batubara dan batulempung serpih memiliki rentang nilai 4.9505.2 (Tabel 1), menunjukkan kondisi pengendapan suboksik sampai oksik, sedangkan ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung diendapkan pada kondisi lingkungan oksik dengan rasio Pr/Ph 9.8 (Tabel 1).

Lebih lanjut, rasio $pr/n-C_{17}$ dan $ph/n-C_{18}$ ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung menunjukkan kontribusi signifikan dari material organik asal *terrestrial* dengan sedikit material organik *aquatic* yang diendapkan pada kondisi oksik (Gambar 7). Pada Graben Tanjung Miring, ekstrak batuan memiliki rasio pristane/ $n-C_{17}$ yang tinggi (0.88-2.44) dan rasio phytane/ $n-C_{18}$ yang rendah (0.25-0.5). Hasil tersebut menunjukkan bahwa material organik pada ekstrak batulempung serpih didominasi oleh alga laut dan diendapkan pada kondisi suboksik sampai oksik. Sementara itu, ekstrak batubara memiliki kontribusi dari material organik *terrestrial* yang sangat tinggi dan diendapkan pada kondisi oksik (Gambar 7).

Proporsi dari regular sterana secara grafis disajikan pada Gambar. 8 (adaptasi dari Huang dan Meinschein, 1979). Diagram tersebut memuat informasi mengenai *paleo-environment* dari material organik yang ada pada batuan. Ekstrak batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring memiliki kontribusi yang tinggi dari *marine phytoplankton*, didominasi oleh C_{27} sterana, sedangkan ekstrak batubara pada Graben Tanjung Miring dan ekstrak batulempung pada Graben Tanjung Miring didominasi oleh sterana C_{29} yang mengindikasikan kontribusi dari material organik asal *terrestrial*.

Lingkungan pengendapan deltaik dari Formasi Talang Akar juga telah diinterpretasi menggunakan rasio C_{31} -22R-hopane/ C_{30} -hopane (tabel 2). Rasio C_{31} -22R-hopane/ C_{30} -hopane umumnya lebih tinggi dari 0.25 untuk lingkungan laut dan lebih rendah dari 0.25 untuk lingkungan asal lacustrine (Peters et al., 2005). Akan tetapi, nilai rasio dari parameter ini bervariasi pada setiap conto ekstrak batuan Formasi Talang Akar (Tabel 2), hal tersebut mengindikasikan bahwa secara umum Formasi Talang Akar diendapkan pada lingkungan delta. Akan tetapi, berdasarkan analisis distribusi triterpana, kontribusi dominan dari tipe material organik tertentu dan kondisi pengendapan berbeda-beda pada setiap conto ekstrak batuan di daerah penelitian.

4.6 Potensi Generasi Hidrokarbon

Data geokimia organik seperti sumber dari material organik pada batuan berasosiasi dengan tipe kerogen dan tipe hidrokarbon yang digenerasikan dari suatu batuan induk. Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa ada koreasi antara tipe kerogen dan potensi generasi hidrokarbon (Hunt, 1995). Batuan Induk yang memiliki kerogen tipe I dengan nilai HI lebih tinggi dari 600 mg HC/g TOC dan tipe II dengan nilai HI 300-600 mg HC/g TOC cenderung menghasilkan hidrokarbon jenis liquid/minyak. Batuan Induk yang memiliki kerogen tipe III lebih cenderung menghasilkan hidrokarbon jenis gas dengan nilai HI 50-200 mg HC/g TOC, di samping itu batuan induk yang memiliki

nilai HI 200-300 mg HC/g TOC dapat menghasilkan minyak walaupun produk utamanya adalah gas dan kondensat (Bordenave et al., 1993; Peters and Cassa, 1994; Hunt, 1995). Dalam penelitian ini, sebagian besar dari conto sedimen Formasi Talang Akar termasuk ke dalam kerogen tipe III yang cenderung menghasilkan gas apabila telah mencapai tingkat kedalaman dan pemanasan tertentu. Beberapa conto sedimen juga termasuk ke dalam kerogen tipe II/III yang dapat menghasilkan minyak dan gas.

Jika dikaitkan dengan studi geokimia organik, conto ekstrak batubara Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring dan ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung memiliki nilai HI lebih tinggi dari 200 mg HC/g TOC, diinterpretasikan produk hidrokarbon utamanya adalah gas dan hidrokarbon jenis minyak dalam jumlah terbatas. Hal tersebut dikarenakan kontribusi dominan material organik dari tumbuhan tingkat tinggi yang diendapkan dalam kondisi suboksik sampai oksik. Kebalikannya, conto ekstrak batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring dengan nilai HI kurang dari 200 mg HC/g TOC, yang hanya dapat menggenerasikan hidrokarbon jenis gas dengan jumlah terbatas dikarenakan material organik dominannya adalah alga laut.

Oleh karena itu, Formasi Talang Akar sebagai batuan induk baik pada Graben Bandar Agung maupun Tanjung Miring memiliki prospek yang sangat tinggi untuk menghasilkan hidrokarbon jenis gas dan kondensat apabila telah mencapai kematangan pada *gas window*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis karakteristik geokimia organik dari Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung Miring, Sub-Cekungan Sumatra Selatan, dan implikasinya terhadap *paleodepositional setting* dan potensi generasi hidrokarbon, dapat disimpulkan bahwa:

1. Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung dan Tanjung miring

memiliki potensi untuk menggenerasikan hidrokarbon *good* sampai *excellent*. Conto ekstrak batubara pada Graben Tanjung miring memiliki kekayaan material organik dan nilai EOM yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel batulempung serpih dan batulempung pada Graben Bandar Agung.

2. Pyrolysis Tmax, %Ro dan parameter biomarker kematangan dari conto sedimen Formasi Talang Akar pada Bandar Agung dan Tanjung Miring mengindikasikan tingkat kematangan *early* sampai *peak oil generation window*.

3. Analisis geokimia molekular mengindikasikan batubara Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring dan batulempung Formasi Talang Akar pada Graben Bandar Agung merupakan bagian dari Formasi Talang Akar Bawah yang diendapkan pada lingkungan *fluvio-deltaic* dibawah kondisi suboksik sampai oksik dengan kontribusi dominan dari tumbuhan tingkat tinggi dan material organik asal *terrestrial*, sedangkan batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring merupakan bagian dari Formasi Talang Akar Atas yang diendapkan di lingkungan delta atau laut dangkal dibawah kondisi suboksik sampai oksik dengan kontribusi dominan dari alga laut.

4. Batubara dan batulempung Formasi Talang Akar memiliki nilai HI 200-300 mg HC/g TOC (kerogen tipe II/III) berpotensi tinggi untuk menghasilkan produk utama hidrokarbon jenis gas dan hidrokarbon jenis liquid dalam jumlah terbatas karena kandungan material organik dominannya adalah tumbuhan tingkat tinggi, sedangkan batulempung serpih Formasi Talang Akar pada Graben Tanjung Miring (Kerogen tipe III) hanya dapat menggenerasikan hidrokarbon jenis gas dalam jumlah terbatas yang disebabkan oleh kandungan material organik dominan adalah alga laut.

DAFTAR PUSTAKA

BordenaveML, Espitalié J, Leplat J, Oudin JL, VandenbrouckeM. 1993. *Screening techniques for source rock evaluation*.

- In: Bordenave ML (ed) *Applied petroleum geochemistry*. Editions Technip, Paris, pp 217–278
- Cranwell PA. 1977. *Organic geochemistry of Cam Loch (Sutherland) sediments*. Chem Geol 20:205–221
- De Coster, G.L. 1974. *The Geology Of The Central And South Sumatra Basins*. Proceedings Indonesian Petroleum Association Third Annual Convention
- Didyk BM, Simoneit BRT, Brassell SC, Eglinton G. 1978. *Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation*. Nature 272:216–222
- Huang WY, Meinschein WG. 1979. *Sterols as ecological indicators*. Geochim Cosmochim Acta 43:739–745
- Hunt JM. 1995. *Petroleum geochemistry and geology*. W.H. Freeman, New York
- Mackenzie AS, Patience RL, Maxwell JR, Vandenbroucke M, 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 44:1709–1721
- Peters KE, Cassa MR. 1994. *Applied source rock geochemistry*. In: Magoon LB, Dow WG (eds) *The petroleum system—from source to trap*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 60, pp. 93–120
- Peters KE, Moldowan JM. 1993. *The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice Hall, Englewood Cliffs
- Peters KE, Walters CC, Moldowan JM. 2005. *The biomarker guide: biomarkers and isotopes in petroleum exploration and Earth history*, vol 2, second edn. Cambridge University Press, Cambridge
- Robinson, M. Kevin. 1987. *An Overview Of Source Rocks And Oils In Indonesia*. Proceedings Indonesian Petroleum Association Sixteenth Annual Convention. Volume 1, Jakarta, Indonesian Petroleum Association
- Sarjono, S. and Sardjito. 1989. *Hydrocarbon Source Rock Identification in the South Palembang Subbasin*. Proceedings Indonesian Petroleum Association, eighteenth Annual Convention, Jakarta, Indonesia, 424–467.
- Seifert WK, Moldowan JM. 1986. *Use of biological markers in petroleum exploration*. In: Johns RB (ed) Vol. 24. Amsterdam: *Methods in Geochemistry and Geophysics Book Series*, p. 261–90
- Suseno, P.H., Zakaria, Mujahidin, N., and Subroto, E.A. 1992. *Contribution of Lahat Formation as Hydrocarbon Source Rock in South Palembang area, South Sumatra, Indonesia*. Proceedings Indonesian Petroleum Association, twentyfirst Annual Convention: Jakarta, Indonesia, p. 325–337.
- Syaifuddin et al.,. 2015. *Characterization And Correlation Study Of Source Rocks And Oils In Kuang Area, South Sumatra Basin: The Potential Of Lemat Formation As Hydrocarbon Source Rocks*. Proceedings Indonesian Petroleum Association, twentyfirst Annual Convention, Jakarta, Indonesia
- Tissot BP, Welte DH. 1984. *Petroleum formation and occurrence*. Springer, Berlin, p 518
- Waples, D.W. 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. International Human Resources Development Corporation, Boston.
- Waples DW, Machihara T. 1991. *Biomarkers for geologists: a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology*. American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration 9, Tulsa