



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Komang Anggayana

**PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK
UNTUK PENINGKATAN SUMBERDAYA/
CADANGAN BATUBARA DAN
BATUAN KAYA BAHAN ORGANIK LAINNYA**

29 September 2018
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
29 September 2018

Profesor Komang Anggayana

**PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK
UNTUK PENINGKATAN SUMBERDAYA/
CADANGAN BATUBARA DAN
BATUAN KAYA BAHAN ORGANIK LAINNYA**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Judul: PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK UNTUK PENINGKATAN SUMBERDAYA / CADANGAN BATUBARA DAN BATUAN KAYA BAHAN ORGANIK LAINNYA
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB, tanggal 29 September 2018.

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

Komang Anggayana

PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK UNTUK PENINGKATAN SUMBERDAYA/CADANGAN BATUBARA DAN BATUAN KAYA BAHAN ORGANIK LAINNYA
Disunting oleh Komang Anggayana

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2018

vi+58 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-6624-18-5

1. Petrologi dan Geokimia Organik 1. Komang Anggayana

KATA PENGANTAR

Berkat Rahmat Tuhan Yang Maha Esa maka naskah Orasi Ilmiah ini bisa diselesaikan dengan baik.

Naskah orasi ilmiah ini dibuat untuk memenuhi janji pada Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung sebagai bagian awal mengemban tugas sebagai guru besar di Institut Teknologi Bandung. Naskah ini berisikan rekam jejak keilmuan, karya-karya yang telah dan sedang dikerjakan serta harapan ke depan seorang guru besar dalam pengembangan keilmuan yang ditekuni. Bagian akhir naskah ini merupakan ajakan pada masyarakat agar memanfaatkan keilmuan ini untuk tujuan kesejahteraan yang lebih baik dari bangsa ini.

Judul yang dikemukakan untuk orasi ini adalah “**Petrologi dan Geokimia Organik untuk Peningkatkan Sumberdaya / Cadangan Batubara dan Batuan Kaya Bahan Organik Lainnya**”. Diharapkan bahwa industri tambang berjalan dengan baik dan membuat perencanaan sampai dengan penutupan tambang berbasis pada cadangan sehingga keakuratan jumlah cadangan menjadi hal yang sangat menentukan perjalanan industri tambang.

Naskah ini disusun sedemikian rupa sehingga di bagian awal membahas karakter tahapan eksplorasi yang beresiko investasi tinggi pada industri tambang, basis keilmuan yang menjadi pegangan serta kutipan-kutipan kecil dari keilmuan dasar tersebut yang telah, sedang dan akan dilakukan ke depan baik dalam bidang komoditi batubara maupun dalam komoditi turunannya. Pemanfaatan keilmuan ini juga sangat

mendukung pada kelanjutan proses produk industri tambang batubara agar mendapatkan nilai tambah yang optimum.

Pada kesempatan ini juga saya menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan dan mempresentasikan naskah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung. Mohon maaf jika naskah ini tidak akurat dalam penyampaian data dan ada kesalahan dalam penyusunan dan penulisan.

Semoga naskah ini bermanfaat bagi masyarakat terutama masyarakat industri pertambangan agar pertambangan Indonesia menjadi makin baik ke depannya.

Bandung, 29 September 2018

Komang Anggayana

PENDAHULUAN

Industri Tambang yang lengkap mempunyai urutan kegiatan mulai dari pencarian/eksplorasi, penambangan, pengolahan selanjutnya penjualan/pemanfaatan. Dalam orasi ini akan dibahas mengenai kegiatan eksplorasi. Aktivitas eksplorasi biasanya menerapkan banyak metoda: geofisika, geokimia, pengambilan sampel (*test pit*, *trenching*, pengeboran) dan biasanya beroperasi pada daerah-daerah yang masih *remote*. Namun dalam hal ini akan dibahas hanya mengenai karakter dari kegiatan eksplorasi, serta ilmu-ilmu yang mendasarinya. Dalam hal ini hanya mengkhususkan pada ilmu genesa atau ilmu tentang cara terjadinya serta penerapan ilmu ini untuk mengetahui keberadaan endapan yang dicari. Hampir setiap endapan mempunyai cara terjadinya masing-masing sehingga dalam hal ini dibatasi lagi hanya pada endapan organik, batubara dan endapan-endapan turunannya seperti CBM dan *oil shale* serta *shale gas*. Keberadaan endapan memang tidak selengkapnyanya bisa diketahui hanya dengan satu kegiatan, namun satu kegiatan kecil dengan menerapkan metoda petrologi (petrografi) dan geokimia organik dari endapan-endapan pada beberapa cekungan di Indonesia sehingga keberadaannya, distribusi horizontal maupun vertikal serta asosiasinya dengan keberadaan unsur lain yang menyertainya menjadi jelas.

Eksplorasi dalam industri tambang merupakan kegiatan awal yang menjadi dasar dari kegiatan berikutnya. Kegiatan ini berisiko tinggi dalam investasi karena sifatnya mencari dan belum tentu menemukan dalam artian ekonomis untuk ditambang. Kesuksesan kegiatan ini tergantung

pada tiga faktor: kehebatan dari personil, modal dan keberuntungan. Tentu yang bisa kita bahas dalam orasi ini hanya menyangkut kehebatan dari pelaku eksplorasinya. Kegiatan eksplorasi secara kaidah untuk mengurangi resiko, maka dilakukan bertahap dimana setiap tahapnya selalu diakhiri dengan evaluasi dan keputusan. Semestinya seorang ahli eksplorasi tambang dalam mengambil keputusan tidak berdasar pada keberuntungan namun pada keilmuan yang dimilikinya. Keilmuan genesa atau cara terjadinya adalah salah satunya. Filosofiya “kita mencari sesuatu dengan berbasis pada cara terjadinya yang tentu saja terkait konsekuensi karakternya sehingga dengan demikian pencarian akan lebih terarah. Kalau sudah diketemukan dengan berbagai dimensi dan karakternya maka selanjutnya dihitung jumlahnya dengan berbagai asumsi model agar memudahkan dan hasilnya berupa sumberdaya dengan berbagai klasifikasinya (tereka, tertunjuk dan terukur). Hasil perhitungan ini selanjutnya dikoreksi dengan berbagai faktor (teknis penambangan, keekonomian, lingkungan, keamanan dan sebagainya yang dalam kaidah pertambangan disebut dengan *modifying factor*) sehingga sumberdaya yang ada bisa dikonversikan menjadi cadangan (jumlah sumberdaya yang bisa ditambang secara ekonomis). Target seorang ahli eksplorasi tambang adalah sampai dengan menghitung cadangan. Semua tahapan yang dilakukan dalam eksplorasi seyogyanya sudah dengan pertimbangan menjadikannya sebagai cadangan. Tanggungjawab seorang ahli eksplorasi tambang bukan hanya sampai sumberdaya.

Batubara merupakan suatu endapan organik yang berasal dari pohon-pohonan/tumbuh-tumbuhan atau bagian dari pohon-pohonan atau

tumbuh-tumbuhan tersebut yang dalam kondisi tertentu (parameter fasies). Tumpukan material tumbuhan tersebut menjadi gambut dengan berbagai kondisi, bentuk, jenis, dan sebagainya. Selanjutnya gambut ini mengalami proses pematubaraan (pematangan) akibat tekanan dan temperatur (lapisan penutup di atasnya karena penurunan cekungan tempat gambut berada). Waktu dalam hal ini menjadi parameter yang relatif. Akibatnya gambut tersebut akan menjadi batubara dengan berbagai tipe, kualitas dan peringkat. Selama proses pematubaraan ini maka gambut akan melepaskan kandungan airnya dan selanjutnya diikuti pelepasan kandungan gasnya (*volatile matter*). Kandungan gas metana yang terlepas ini yang dikenal dengan *coalbed methane* (CBM) yang juga merupakan produk sampingan yang bisa bernilai ekonomis.

Sedangkan *oil shale* merupakan sisa tumbuhan (umumnya ganggang dan spora) yang terendapkan pada lingkungan yang lebih reduksi, kolom air yang lebih tebal, banyak bercampur dengan mineral lain / sedimen lempung sehingga kandungan organik sedimen lempung menjadi ekonomis (5% sebagai batas bawah). Kandungan yang relatif sedikit dibandingkan dengan kandungan organik pada batubara namun ketebalan yang sangat besar membuat endapan ini menjadi sangat menarik.

Proses pematangan bahan organik ini juga disertai dengan pelepasan gasnya yang bisa bernilai ekonomis juga. Gas ini dikenal dengan shale gas yang merupakan komoditi yang sangat populer belakangan ini.

Penelitian tentang batubara sudah cukup banyak dilakukan untuk mempelajari cara terjadinya (genesanya), lingkungan pengendapannya

dengan segala konsekuensi kualitas, tipe dan peringkatnya. Hasil ini juga dibutuhkan untuk membuat model endapan yang sangat dibutuhkan dalam mengestimasi sumberdaya dan merencanakan penambangannya.

Penelitian tentang *oil shale* juga menjadi objek dari aplikasi petrologi dan geokimia organik karena *oil shale* ini merupakan endapan organik dengan genesa yang sama. Kandungan organik memang tidak sebesar kandungan organik pada batubara namun karena dimensinya yang besar/tebal maka prosentase kandungan yang relatif kecil menjadi menarik untuk dieksplorasi lebih lanjut.

Penelitian tentang *coalbed methane* (CBM) dimana CBM merupakan produk dari proses pembatubaraan (pematangan bahan organik dalam sedimen) bisa dilakukan dengan aplikasi petrologi organik dan geokimia organik.

Keilmuan petrologi dan geokimia organik sangat mendukung pemanfaatan batubara. Data pengamatan petrografi untuk karakterisasi batubara guna pemanfaatan, contohnya untuk pembuatan kokas sangat dibutuhkan. Kemampukokasan suatu jenis batubara sangat tergantung pada komposisi mikroskopisnya.

Parameter *reactivity index*, *composition balance index* dan sebagainya merupakan parameter yang didapat dari komposisi mikroskopis (maseral).

Sampai dengan saat ini memang batubara kita belum diproses lebih lanjut untuk diversifikasi pemanfaatannya untuk memperoleh nilai tambah. Tapi mestinya kita juga mengharapkan untuk mendapat nilai

tambah dari tambang batubara. Jadi bukan mendapatkan nilai hanya dari tonase yang berbasis pada kalori, abu, sulfur dan parameter pemanfaatan batubara sebagai bahan yang dibakar langsung.

Kita sama sekali belum mempersoalkan pemanfaatan batubara sebagai sumber bahan kimia unsur dari endapan hidrokarbon yang sangat bervariasi sehingga sangat membutuhkan penelitian dan kajiannya. Setiap batubara mempunyai karakternya masing-masing dan kita mestinya bisa memanfaatkan batubara berbasis kehebatan karakternya itu.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
PENDAHULUAN	v
DAFTAR ISI	xi
I. KEILMUAN TAMBANG EKSPLORASI UNTUK MENINGKATKAN SUMBERDAYA DAN CADANGAN BATUBARA	1
II. APLIKASI PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK SEBAGAI KEKUATAN KEILMUAN EKSPLORASI BAHAN GALIAN ORGANIK	12
1. Aplikasi untuk Batubara	12
2. Aplikasi untuk Oil Shale	25
3. Aplikasi untuk Coalbed Methane (CBM)	35
4. Aplikasi untuk penentuan kualitas kokas sebagai bahan baku besi baja	37
III. PENUTUP	38
IV. PUSTAKA	41
V. UCAPAN TERIMA KASIH	44
CURRICULUM VITAE	47

PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK UNTUK PENINGKATAN SUMBERDAYA / CADANGAN BATUBARA DAN BATUAN KAYA BAHAN ORGANIK LAINNYA

I. KEILMUAN TAMBANG EKSPLORASI UNTUK MENINGKAT- KAN SUMBERDAYA DAN CADANGAN BATUBARA

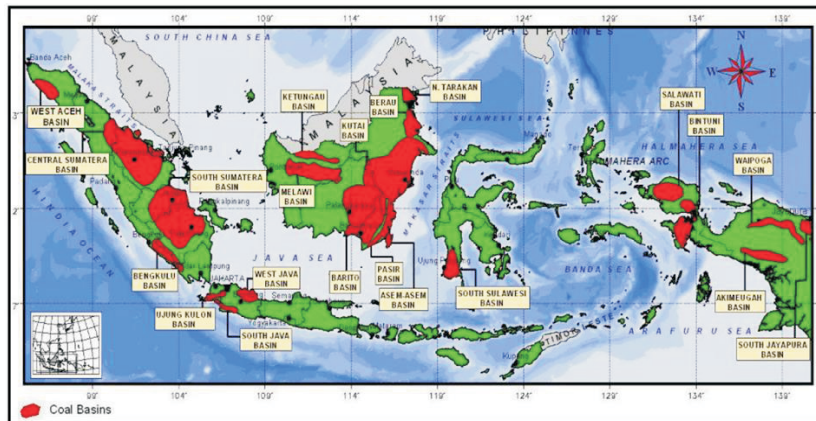
Indonesia adalah salah satu negara penghasil batubara. Produksi pada tahun 2017 sebanyak 461 juta ton (Tabel 1) dan merupakan pengeksport batubara terbesar di dunia. Sebagian besar batubara hasil tambang Indonesia diekspor (78,95%). Sisanya (20,05%) untuk DMO (*Domestic Market Obligation*), dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada industri PLTU, Semen dan Industri Baja. Belum ada pemanfaatan batubara untuk tujuan yang lain. Peta distribusi cekungan geologi batubara Indonesia seperti pada Gambar 1. Terlihat bahwa cekungan tersebut tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan, Jawa Barat bagian selatan, Sulawesi Selatan dan beberapa lokasi di Papua.

Peta distribusi cekungan batubara Indonesia yang ekonomis untuk ditambang sudah sangat jauh berkurang dibandingkan dengan keberadaan cekungan geologi. Pergeseran dari status hanya keberadaan menjadi status ekonomis berdasarkan hasil suatu kegiatan eksplorasi dimana unsur-unsur dimensi, kualitas, keteknikan, keekonomian, lingkungan dan sebagainya sudah mulai diperhitungkan. Dimensi endapan hanya merupakan faktor awal untuk melihat keberadaan. Secara lengkap distribusi cekungan batubara yang ekonomis terlihat pada Gambar 2.

Tabel 1. : Produksi Batubara Indonesia (Harian Bisnis Indonesia, 23 Agustus 2018)

Tahun	Produksi (Juta Ton)	Ekspor (Juta Ton)	Domestik (Juta Ton)	DMO (%)
2014	458	382	76	16,59
2015	461	375	86	18,66
2016	456	366	91	19,96
2017	461	364	97	21,04
2018*	425	311	114	26,82

*= rerata dari bulan Januari – Agustus



Gambar 1.: Peta distribusi cekungan geologi batubara Indonesia (Pusat Sumberdaya Geologi, 2016)

Jumlah sumberdaya yang ada dengan berbagai klasifikasi terlihat pada Tabel 2. Klasifikasi sumberdaya ditentukan berdasarkan kerapatan data yang akan merepresentasikan tingkat keyakinan. Peningkatan klasifikasi sumberdaya ini seyogyanya sudah mempertimbangkan keekonomian untuk ditambang sehingga kegiatan eksplorasi tidak hanya

meningkatkan sumberdaya sampai ke tingkat terukur dengan menambahkan data agar kerapatannya menjadi memenuhi keyakinan untuk klasifikasi terukur. Hal ini bisa merupakan akibat perencanaan eksplorasi yang kurang baik karena target dari eksplorasi adalah cadangan bukan sumberdaya.



Gambar 2.: Peta distribusi cekungan batubara ekonomis (KESDM, 2017)

Batubara yang kita miliki dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan kandungan kalorinya (rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi). Sumberdaya yang kita miliki paling banyak pada kalori sedang (5.100 – 6.100 kkal/kg, adb). Kita mempunyai sangat sedikit batubara dengan kalori yang tinggi maupun sangat tinggi. Begitu juga dengan jumlah cadangan yang bahkan paling banyak pada kalori rendah (<5.100 kkal/kg, adb), hampir 50% dari jumlah cadangan (Tabel 2 dan Tabel 3).

Proses peningkatan sumberdaya (mulai dari klasifikasi tereka, tertunjuk sampai dengan terukur) dan merubah sumberdaya menjadi

cadangan memerlukan kepakaran tambang eksplorasi. Terlihat dari Tabel 2 bahwa sumberdaya tereka = 44.395 juta ton, tertunjuk = 38.952 juta ton dan terukur = 40.183 juta ton sehingga totalnya menjadi 123.530 juta ton. Cadangan dengan klasifikasi terkira = 11.485 juta ton dan terbukti = 16.973 juta ton sehingga totalnya menjadi 28.457 juta ton.

Tabel 2. : Sumberdaya dan cadangan batubara Indonesia berdasarkan nilai kalorinya (PSDG, 2017)

Kalori	Sumberdaya (Juta Ton)				Cadangan (Juta Ton)		
	Tereka	Tertunjuk	Terukur	Total	Terkira	Terbukti	Total
Rendah	11.264	15.914	16.420	43.598	7.108	7.121	14.230
Sedang	27.436	19.822	20.358	67.616	3.571	6.842	10.412
Tinggi	3.968	2.481	2.805	9.253	542	2.769	3.311
Sangat Tinggi	1.727	735	600	3.062	274	240	504
Jumlah	44.395	38.952	40.183	123.530	11.485	16.973	28.457

Tabel 3. : Klasifikasi batubara Indonesia berdasarkan nilai kalori menurut PP No. 13/2000 dan PP 45/2003

Peringkat Batubara	Rentang Nilai Kalori
	(kkal/kg.adb)
Rendah	< 5.100
Menengah/Sedang	5.100 - 6.100
Tinggi	6.100 - 7.100
Sangat Tinggi	> 7.100

Perbedaan status (sumberdaya dan cadangan) ini tidak serta merta dikalikan dengan suatu koefisien saja namun mempertimbangkan banyak

faktor (*modifying factor*: geologi, ekonomi, teknik penambangan, lingkungan, keamanan, dll.). Semua faktor tadi memerlukan keahlian tambang eksplorasi. Jumlah sumberdaya yang besar itu belum tentu semuanya bisa berubah status menjadi cadangan. Bisa jadi selamanya hanya akan berstatus sumberdaya. Hal ini bisa terjadi apabila kita melaksanakan eksplorasi tanpa target cadangan (tidak sesuai dengan kaidah eksplorasi).

Rasio cadangan terhadap sumberdaya hanya sekitar 23%. Harus dilakukan sesuatu agar rasio semakin besar yang artinya jumlah cadangan menjadi relatif semakin banyak. Sumberdaya yang bisa ditingkatkan menjadi cadangan hanyalah sumberdaya tertunjuk dan sumberdaya terukur, artinya langkah awal yang dilakukan dalam kegiatan eksplorasi adalah penambahan data sehingga klasifikasi sumberdaya menjadi naik begitu juga cadangan. Kegiatan penambangan hanya berbasis pada cadangan. Melihat rasio yang masih kecil ini maka kegiatan eksplorasi harus diintensifkan. Masih banyak waktu dan tenaga ahli eksplorasi yang dibutuhkan agar sumberdaya yang ada menjadi cadangan dan siap untuk ditambang.

Sebenarnya dalam industri tambang yang sedang berjalan pun kegiatan yang berbasis pada keilmuan eksplorasi masih dibutuhkan untuk kontrol kualitas produksi. Produksi tambang batubara bukan hanya diukur dalam tonase tetapi juga mempertimbangkan kelangsungan kualitasnya. Rentang kalori yang cukup besar pada batubara yang ada membawa konsekuensi dalam pemanfaatan. Selama ini batubara Indonesia dipakai sebagai bahan bakar sehingga parameter nilai kalori menjadi parameter penentu harga. Rentang kalori batubara Indonesia

terjadi umumnya akibat gejala geologi lokal, bukan akibat umur. Cadangan batubara Indonesia dominan pada kalori rendah, lebih kecil dari 5.100 kkal/kg (adb).

Ahli eksplorasi tambang dalam kegiatannya bukan hanya menemukan tetapi sampai pada menghitung jumlah yang ekonomis untuk ditambang (cadangan). Menemukan dengan jumlah yang tidak ekonomis adalah suatu hal yang biasa namun kalau meningkatkan klasifikasi sumberdaya yang tidak ekonomis sampai dengan klasifikasi terukur menunjukkan perencanaan eksplorasi yang tidak baik, mungkin juga akibat kurangnya pemahaman ilmu eksplorasi. Dalam kegiatan eksplorasi memang juga akan bermain dengan keberuntungan dan resiko. Dalam pengambilan keputusan sering *gambling*, memutuskan dengan memakai *feeling*.

Kegiatan eksplorasi harus dilakukan bertahap dan setiap tahap diakhiri dengan evaluasi dan pengambilan keputusan, kegiatan diteruskan ke tahap berikutnya atau kegiatan dihentikan. Kegiatan berhenti berarti modal hilang dan kalau diteruskan maka berarti terdapat peluang modal akan kembali atau bahkan kehilangan modal yang lebih besar lagi. Dalam pengambilan keputusan ini seorang ahli eksplorasi tambang tidak memutuskan semata berdasarkan *feeling*/perasaan, namun dengan menerapkan ilmu-ilmu yang dimiliki. Dengan demikian diharapkan tingkat kegagalannya akan semakin kecil.

Judi itu tidak baik kalau kalah. Kalau menang bisa jadi berarti baik-baik saja namun tidak mungkin menang terus. Seorang penjudi sejati tidak akan berhenti pada saat dia menang, dia akan berhenti saat modalnya

habis. Kalau pemain judi berhenti saat dia menang maka dia adalah partisipan atau mereka mencari nafkah dengan berjudi bahkan ada yang berjudi untuk menjalankan hobi.

Kesuksesan kegiatan eksplorasi tambang tergantung 3 faktor: *explorer* (pengetahuan), *money* (modal) dan *luck* (keberuntungan/nasib). Boleh dikatakan bahwa seorang ahli eksplorasi adalah seorang penjudi. Dalam diri seorang *explorer* ada ketiganya (sebagai hobi, berjudi untuk nafkah atau berjudi sebagai profesi). Unsur keberuntungan akan selalu menyertai dalam kegiatan seorang *explorer*. Orang yang memilih profesi sebagai *explorer* tambang adalah orang-orang yang punya keyakinan tinggi bahwa dia punya keberuntungan yang baik.

Pemanfaatan batubara domestik terlihat seperti pada Tabel 4. Hanya bagian yang sangat kecil untuk pemanfaatan selain dibakar. Pemanfaatan untuk gasifikasi dan likuifaksi bahkan sama sekali belum tersentuh.

Ke depannya diversifikasi pemanfaatan akan bisa membawa nilai tambah. Nilai tambah ini akan mempengaruhi jumlah cadangan karena nilai jual atau pendapatan persatuan ton akan naik. Hal ini mengakibatkan biaya produksi bisa lebih longgar atau bisa menambang dengan *stripping ratio* (SR) yang lebih besar (analog dengan merubah kadar/cog untuk tambang mineral logam).

Kondisi pemanfaatan seperti ini merupakan peluang yang terbuka lebar bagi perkembangan ilmu batubara untuk produk lain walau saat ini memang belum bisa bersaing dengan produk yang sama dengan bahan baku yang berbeda (masih belum ekonomis dibandingkan dengan yang lainnya).

Tabel 4. Pemanfaatan batubara Indonesia dari tahun 2011 sd 2016 Realisasi DMO
(Indonesia Coal Industry Outlook, Ditjen Minerba, KESDM, 2017)

Pemanfaatan	Tahun (dalam juta ton)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PLTU	45,2	52,82	61,68	65,98	70,8	75,4
Metalurgi	0,29	0,29	0,30	0,39	0,39	0,39
Semen dan Tekstil	7,12	9,31	9,91	9,91	14,73	14,73
Briket	0,03	0,03	0,15	0,02	0,03	0,03
Lainnya	13,48	4,59	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	66,04	67,04	72,22	76,3	85,95	90,55

Dalam mengkaji suatu endapan batubara sampai dengan mencapai status cadangan maka ahli eksplorasi akan bergabung dengan ahli penambangan batubara dan juga ahli pemanfaatan batubara. Kegiatan eksplorasi bukan hanya menghasilkan dimensi endapan, kadar dan mineral ikutan seperti tambang logam tetapi juga akan menentukan keekonomian dari segi pengolahan dan pemanfaatan batubara bersama ahli penambangan dan pengolahan. Oleh karena itu kegiatan eksplorasi harus memberikan data selain untuk proses penambangan juga untuk pemanfaatan.

Batubara tidak saja dilihat secara makroskopis tetapi juga mikroskopis dan bahkan dipelajari secara kimia organik (struktur ikatan karbonnya). Sifat mikroskopis menentukan karakter batubara. Setiap komponen mikroskopis yang merupakan representasi tumbuhan atau bagian tumbuhan pembentuk batubara akan menentukan sifat kimia dan sifat fisiknya masing-masing. Data tentang sifat fisik dan kimia ini sangat dibutuhkan dalam mendukung perencanaan pemanfaatan. Komponen terkecil/mikroskopis batubara (maseral) mejadi basis dalam pemanfaatan

karena berhubungan dengan sifat keteknikan/fisik. Dengan demikian kontribusi keilmuan petrologi dan geokimia organik menjadi sangat penting juga dalam pemanfaatan batubara.

Peran petrologi dan geokimia organik untuk endapan lain akan semakin tinggi jika kita kembangkan kegiatan eksplorasi pada endapan organik lainnya seperti CBM (*coalbed methane*), *oil shale*, *shale gas* begitu juga dalam eksplorasi minyak bumi. Karena pada prinsipnya genesa endapan organik (proses) tersebut di atas adalah sama, hanya berbeda bahan baku dan lingkungan pengendapannya.

Kesiapan teknologi pemanfaatan batubara di Indonesia terlihat pada Tabel 5. Masih banyak yang perlu ditingkatkan khususnya untuk CBM, gasifikasi maupun pencairan. Peningkatan ini sangat membutuhkan kepakaran petrografi batubara dan geokimia organik dari batubara sebagai material.

Tabel 5. : Pemanfaatan Batubara Indonesia dan Tingkat Kesiapan Teknologinya

No.	Pemanfaatan	TKT	Tipikal Kalori Batubara	Sumberdaya / Cadangan	Peluang Pemanfaatan ke Depan
1	PLTU	9	Rendah - Tinggi	Melimpah	Berpeluang Jangka Pendek - Panjang
2	Pabrik Semen	9	Sedang	Melimpah	Berpeluang Jangka Pendek - Panjang
3	Pabrik Baja	9	Tinggi - Sangat Tinggi - (FSI = 2 - 8)	Kurang	Berpeluang Jangka Menengah - Panjang apabila ditemukan batubara yang sesuai
4	Coalbed Methane (CBM)	4	Sangat Tinggi (Bituminous)	Kurang	Berpeluang Jangka Panjang

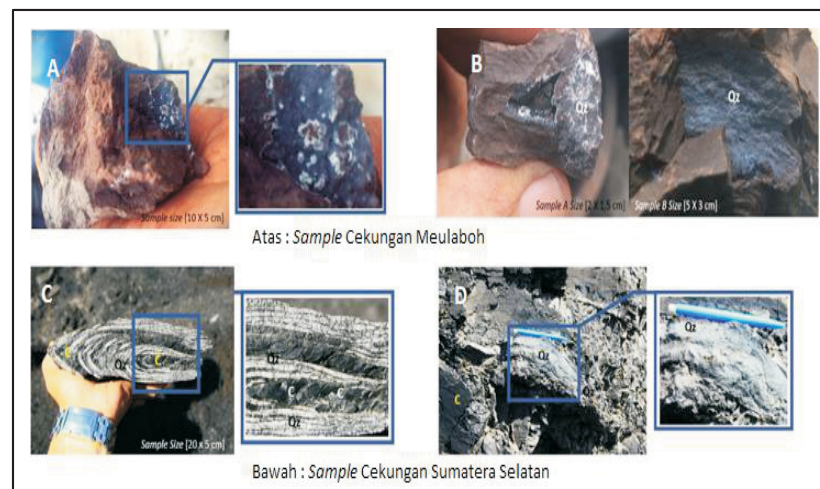
No.	Pemanfaatan	TKT	Tipikal Kalori Batubara	Sumberdaya / Cadangan	Peluang Pemanfaatan ke Depan
5	Gasifikasi	6 - 7	Rendah - Tinggi	Melimpah	Berpeluang Jangka Menengah - Panjang
6	Pencairan	5 - 6	Rendah - Tinggi	Melimpah	Berpeluang Jangka Panjang
7	Underground Coal Gasification	4	Rendah - Tinggi	Melimpah	Berpeluang Jangka Panjang
8	Briket Batubara	9	Rendah - Tinggi	Melimpah	Berpeluang Jangka Pendek - Panjang
Jangka Pendek: < 5 Tahun, Menengah: 5 - 10 Tahun, Panjang: 10 - 20 Tahun.					

Salah satu contoh ketidakhomogenan lapisan batubara seperti pada Gambar 3. Keterdapatan material lain dalam seam batubara tersebut (*coal ball*) sangat beragam baik dalam ukuran, bentuk, posisi dan penyebarannya.

Penelitian tentang *coal ball* ini sedang dilakukan. Selama ini persoalan keberadaan *coal ball* dianggap kecil dan hanya untuk dihindari saja. Keberadaan yang tidak beraturan baik dimensi, posisi bentuk menjadikan kehadiran *coal ball* masalah serius.

Penelitian tentang adanya bagian yang keras dari batubara dalam lapisan, sudah dilakukan namun literatur yang ada sampai saat ini menunjukkan bahwa komposisi utama dari *coal ball* ini adalah Ca (kalsium) dan dikenal dengan nama *dopplerite*. Namun untuk batubara Indonesia yang diwakili oleh sampel yang berasal dari Meulaboh-Aceh, Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Utara menunjukkan bahwa komposisi utamanya adalah

silika (berupa mineral kuarsa, kristobalit, tridimit, kalsedon).



Gambar 3. Kuarsa pengganti nodul organik (A), kuarsa tersebar merata (B dan D), kuarsa dan *ring (circle) pattern* (C)

Beberapa perusahaan dengan produksi besar mengalami kendala pada kegiatan produksi dan penjualan karena keberadaan material unik (asing) yang terdapat pada *seam* batubara, material unik (asing) yang tidak teridentifikasi pada saat kegiatan eksplorasi dilakukan. Efek negatif yang ditimbulkan oleh keberadaan material unik (asing) berpengaruh besar pada kegiatan penambangan, peremukan bahkan sampai pada kegiatan penjualan. Beberapa sebutan telah disematkan pada material unik (asing) ini seperti *black stone*, *bone coal*, *batu pack* dan *coal ball*.

Hal ini menunjukkan bahwa lapisan batubara keberadaannya tidak homogen sehingga pemetaan *coal ball* akan sangat dibutuhkan.

Semestinya sebelum proses penambangan dimulai/direncanakan maka keberadaan *coal ball* sudah diketahui.

II. APLIKASI PETROLOGI DAN GEOKIMIA ORGANIK SEBAGAI KEKUATAN KEILMUAN EKSPLORASI BAHAN GALIAN ORGANIK

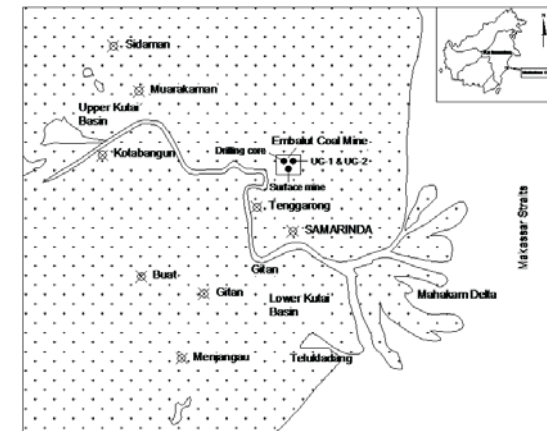
1. Aplikasi untuk Batubara

Mengenal batubara tidak saja secara makroskopis tetapi pengamatan sampai unsur terkecil penyusun batubara yang merepresentasikan bagian tumbuhan pembentuknya serta keberadaan mineral sebagai pengganggu adalah suatu hal yang wajib dalam mempelajari genesanya. Hal ini saja tidak cukup, sering sekali metoda ini dibarengi dengan pemahaman tentang ikatan karbonnya untuk mengetahui lebih baik tentang lingkungan pengendapannya berdasarkan kehadiran biomarker-biomarker tertentu. Dengan informasi mengenai bahan penyusun dan lingkungan pengendapannya maka akan lebih mudah memahami genesa batubaranya yang selanjutnya diterapkan untuk membuat model endapan. Model endapan menjadi dasar untuk menghitung sumberdaya.

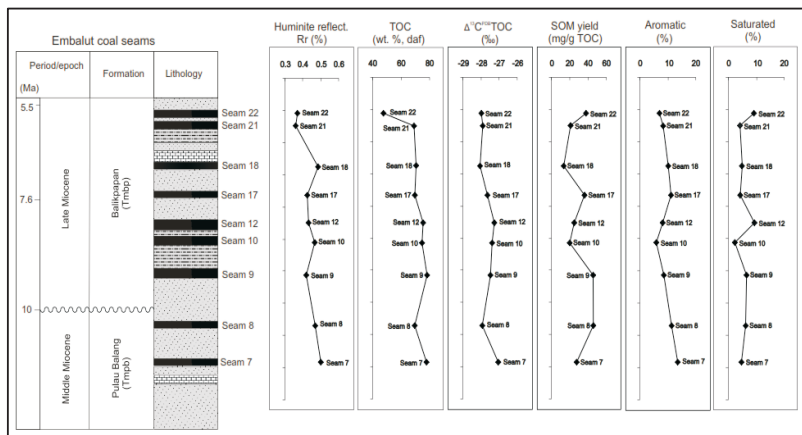
Penelitian dan publikasi bersama dilakukan dengan mahasiswa doktoral di Goethe University Frankfurt – Jerman, Sri Widodo, yang saat ini berprofesi sebagai dosen di Universitas Hasanuddin untuk batubara dari daerah Embalut yang mewakili formasi Balikpapan dan formasi Pulubalang (Gambar 4). Publikasi telah dilakukan di jurnal Organic Geochemistry 40 (2009) dengan judul **“Reconstruction of floral changes during deposition of the Miocene Embalut coal from Kutai Basin,**

Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia by use of aromatic hydrocarbon composition and stable carbon isotope ratios of organic matter” dengan penulis: S. Widodo, W. Püttmann, A. Bechtel, K. Anggayana.

Hasil pengukuran reflektan acak, *total organic carbon*, *carbon stable isotope*, perolehan *soluble organic matter* (SOM), senyawa aromatik dan alkana seperti pada Gambar 5. Analisis yang dilakukan adalah gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS). Batubara ini mempunyai peringkat lignit sampai dengan *subbituminous coal* dengan reflektan vitrinit (Rr) 0,36 – 0,5%. Hasil analisis GC-MS menunjukkan hidrokarbon fraksi aromatik didominasi oleh kehadiran cadalene pada *boiling point* yang rendah dan picene pada *boiling point* yang lebih tinggi. Hasil penelitian ini memberikan identifikasi biomarker lengkap seperti pada Tabel 6 dan Gambar 6.



Gambar 4. : Lokasi asal sampel batubara hasil pemboran inti, Tambang Terbuka, Tambang Dalam Embalut, Cekungan Kutai, Delta Mahakam, Kalimantan Timur.



Gambar 5. Profil litologi dan urutan dari batubara Embalut, reflektan acak, *total organic carbon*, *carbon stable isotope*, *SOM yield*, hidrokarbon aromatik dan jenuh

Cadalene merupakan kontribusi dari tanaman *Dipterocarpaceae* dan picene mencerminkan kontribusi dari angiospermae. Picene berasal dari α - and β amyrin, namun juga ditemukan sedikit kehadiran simonellite dan retene yang diyakini merupakan indikasi kontribusi gymnospermae (konifer) untuk batubara daerah ini yang berumur Miosen Tengah dan awal dari Miosen Akhir.

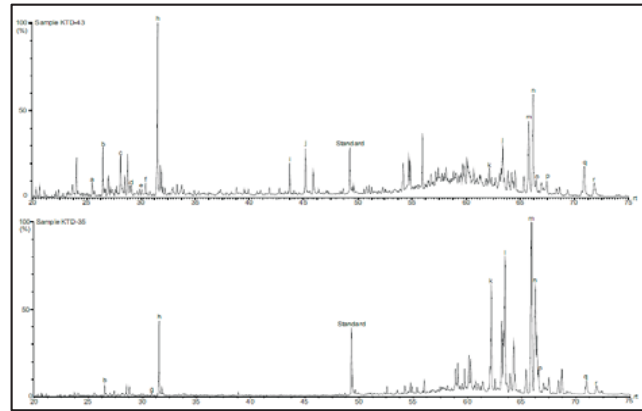
Tabel 6. Hasil identifikasi peak untuk biomarker fraksi aromatik batubara Embalut.

Peaks	Compounds	M.Wt	Base peak
a	2,2,7,8-tetramethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	188	132
b	1,1,5,6-tetramethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	188	173
c	1,2,7-trimethylnaphthalene	170	155

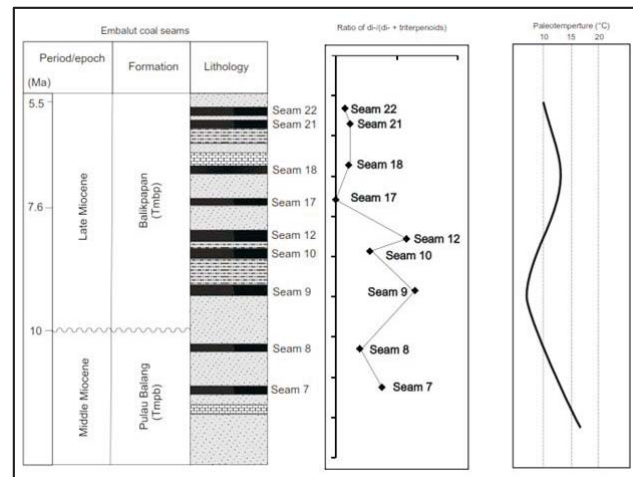
Peaks	Compounds	M.Wt	Base peak
d	1,2,5-trimethylnaphthalene	170	155
e	5,6,7,8-tetrahydrocadalene	202	187
f	1,6-dimethyl-3-ethylnaphthalene (norcadalene)	184	169
g	Calamenene	202	159
h	Cadalene	198	183
i	Simonellite	252	237
j	Retene	234	219
k	ring-A-monoaromatic triterpenoid (1)	376	145
l	ring-A-monoaromatic triterpenoid (2)	378	145
m	2,2,4a β ,9-tetramethyl-1,2,3,4,4a,5,6,14b β -octahydronicene	342	342
n	1,2,4a β ,9-tetramethyl-1,2,3,4,4a,5,6,14b β -octahydronicene	342	342
o	1,2-dimethyl-1,2,3,4-tetrahydronicene	310	295
p	2,2-dimethyl-1,2,3,4-tetrahydronicene	310	254
q	1,2,9-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydronicene	324	324
r	2,2,9-trimethyl-1,2,3,4-tetrahydronicene	324	324

Hasil rasio isotope karbon stabil ($\delta^{13}\text{C}$) pada hampir semua contoh batubara Embalut menunjukkan konsistensi asal dari Angiospermae ($\delta^{13}\text{C}$ antara - 27.3 ‰ dan - 28.0 ‰). Selama Miosen, iklim dari Delta Mahakam tidak secara konstan lembab dan lebih dingin dari sekarang (Gambar 7). Ini sangat sesuai dengan tumbuhnya konifer. Diinterpretasikan bahwa kehadiran konifer pada batubara Embalut sebagai akibat kondisi iklim

dingin pada Miosen Tengah/Akhir selama akumulasi gambut di Cekungan Kutai.



Gambar 6. Dua contoh kromatogram fraksi aromatik batubara Embalut



Gambar 7. Distribusi dari ratio di/(di + triterpenoids) seam batubara Miosen Embalut dan kondisi iklim selama akumulasi gambut Miosen (dimodifikasi dari Jablonsky 2005).

Cadalene adalah karakteristik dari angiosperm (umumnya dari getahnya). Getah damar/resin ini sebagai indikasi kontribusi *Dipterocarpaceae*, suatu famili tanaman yang dijumpai pada gambut ombrogenous modern rawa dataran rendah Indonesia.

Biomarker fraksi aromatik termasuk poliaromatik triterpenoids yang berasal dari α and β -amyrin memberikan informasi bahwa batubara Embalut berasal dari hutan angiosperm dan juga campuran antara angiosperm dan konifer (dengan dominasi angiosperm).

Distribusi dari rasio di/(di + triterpenoids) dari profil batubara Embalut dan kondisi iklim saat pengendapan gambut seperti pada Gambar 7. Rasio konsentrasi dari di/(di + triterpenoids) dalam ekstrak batubara Miosen Tengah dan awal dari Miosen Akhir adalah lebih tinggi dibandingkan dengan rasio yang diperoleh dari batubara Miosen akhir. Kehadiran konifer mungkin sebagai akibat dari iklim dingin selama akumulasi gambut dari Cekungan Kutai.

Penelitian dan publikasi juga telah dilakukan untuk penelitian dengan sampel batubara yang berasal dari Cekungan Kutai namun dari daerah Tambang Batubara Embalut, Tambang Batubara Sebulu dan Tambang batubara Busang Tengah (Gambar 8). Penelitian berfokus pada distribusi sulfur (mineral pirit) dan implikasinya untuk lingkungan pengendapan.

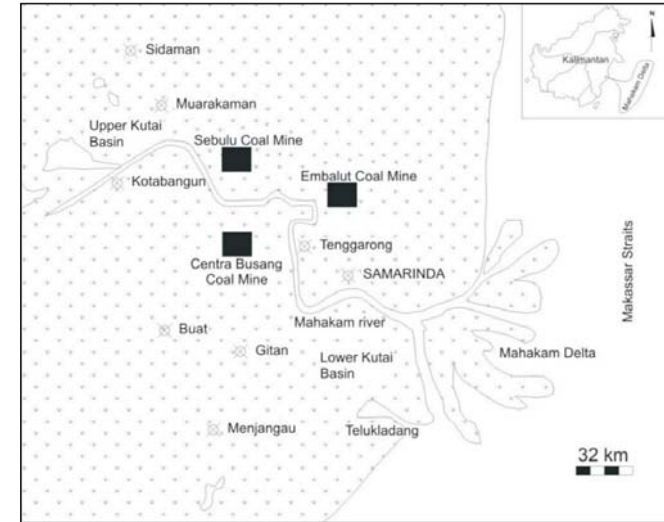
Sejumlah 13 sampel batubara yang diambil dengan *channel sampling*, dari tiga lokasi tambang tersebut (Embalut 8 sampel, Busang Tengah 3 sampel dan Sebulu 2 sampel).

Analisis mikroskop untuk identifikasi maseral dan mineral dilakukan dengan menggunakan mikroskop Leica MPV dilengkapi reflektor dengan sinar putih dan sinar *fluorescent*. Analisis juga dilakukan untuk kandungan sulfur, kandungan abu dan elemen jejak (*trace element*).

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis dan analisis geokimia maka batubara dari Embalut mempunyai kandungan sulfur yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara yang berasal dari 2 daerah yang lain. Pirit muncul dalam batubara sebagai framboidal, euhedral, masif, anhedral dan sebagai infiltrasi, seperti terlihat pada Gambar 9.

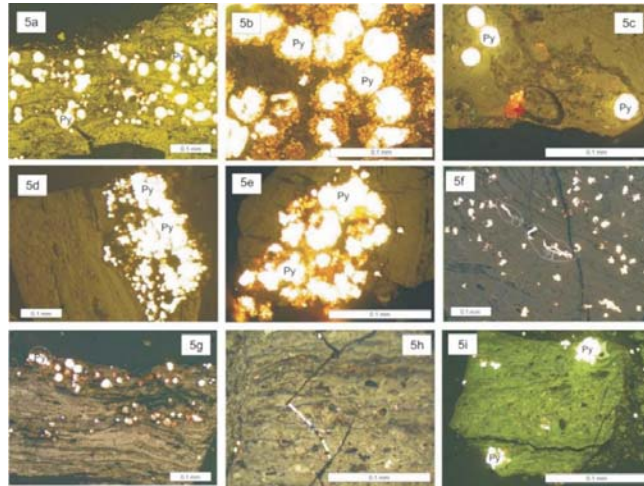
Kandungan abu, mineral, sulfur dan pirit yang tinggi dari batubara Cekungan Kutai khususnya Busang Tengah dan Sebulu berkaitan dengan aktivitas vulkanik (Nyaan Volcanic) pada kala Tersier, dimana material hasil vulkanik tertransport ke dalam rawa semasa dan sesudah pengendapan gambut. Bahan bahan anorganik pada rawa bisa berasal dari air permukaan maupun air tanah dari dataran tinggi Kalimantan Tengah.

Hasil penelitian ini telah dipublikasikan di *International Journal of Coal Geology* 81 (2010) 151 - 162 dengan judul **“Distribution of sulfur and pyrite in coal seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): Implications for paleoenvironmental conditions “** dan ditulis bersama oleh Sri Widodo, Wolfgang Oschmann, Achim Bechtel, Reindhard F. Sachsenhofer, Komang Anggayana, dan Wilhelm Puettmann.



Gambar 8. Peta lokasi Tambang Batubara Sebulu, Tambang Batubara Busang Tengah dan Tambang Batubara Embalut di Cekungan Kutai, Kalimantan Timur

Penelitian tentang gambut sebagai pembentuk batubara Indonesia dengan mengambil sampel batubara Muara Wahau dilakukan dan telah dipublikasi di *Journal Geological Society of India* Vol. 83, May 2014, **“Limnic Condition in Ombrotrophic Peat Type as The Origin of Muara Wahau Coal, Kutai Basin, Indonesia”**, ditulis bersama oleh Komang Anggayana, Basuki Rahmad, H. H. Arie Naftali dan Agus Haris Widayat. Publikasi ini membahas kondisi gambut pembentuk batubara Muara Wahau. Batubara Muara Wahau didapatkan dari Seam 1 dan Seam 2 hasil pengeboran di 3 lokasi.



Gambar 9. Foto diambil dengan oil immersion (a) Bacterial framboidal pyrite (Py) dari Sebulu coal mine, (b) overgrowth framboidal pyrite (Py) dari Busang Tengah coal mine, (c) euhedral pyrite (Py) dari Sebulu coal mine, (d) massive pyrite (Py) dari Sebulu coal mine, (e) massive pyrite (Py) dari Sebulu coal mine, (f) epigenetic pyrite (Py) pada cleats/fractures and anhedral pyrite (Py) dari Sebulu coal mine, (g) replacing epigenetic pyrite (Py) pada cleats/fractures from the Sebulu coal mine, (h) replacing epigenetic pyrite (Py) pada fractures dari Embalut coal mine (i) replacement massive pyrite (Py) dari Embalut coal mine.

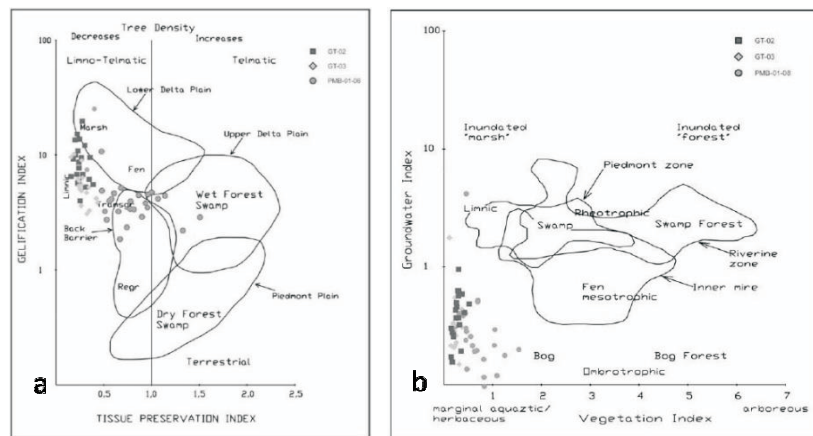
Rekonstruksi lingkungan pengendapan dilakukan berdasarkan komposisi maseral (Gambar 10). Beberapa indeks berupa *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) diterapkan untuk mengetahui derajat humifikasi dan tingkat kebasahan dari gambut pembentuk batubara. Dilakukan pula perhitungan *Vegetation Index* (VI) dan *Groundwater Index* (GWI), untuk merekonstruksi tipe gambut pembentuk batubara yang berkembang pada cekungan. Gambar 10a memperlihatkan plot nilai TPI dan GI batubara Muara Wahau

kemungkinan terendapkan pada keadaan basah atau kondisi limnik. Gambut pembentuk batubara berkembang di bawah permukaan air. Namun kelimpahan funginite (*sclerotinite*) pada semua sampel kemungkinan mengindikasikan kondisi lembab pada permukaan gambut yang mendukung pertumbuhan jamur. Hal tersebut dapat terjadi ketika permukaan air berada di bawah permukaan gambut. Kemungkinan terbentuk siklus antara kondisi limnik dan kondisi lembab dari permukaan gambut. Siklus tersebut kemungkinan disebabkan oleh pergantian musim basah dan musim kering. Pada musim basah, gambut akan sangat limnik dan berkembang di bawah permukaan air. Pada musim kering, permukaan air berada di bawah permukaan gambut, sehingga memungkinkan jamur untuk tumbuh di permukaan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa kondisi rezim hidrologi pada gambut umumnya tergantung pada curah hujan.

Berdasarkan interpretasi kondisi limnik dari perpaduan nilai TPI dan GI pada diagram di Gambar 10a, gambut pembentuk batubara bersifat rheotropic yang kaya akan nutrisi. Namun berdasarkan perpaduan nilai VI dan GWI seperti Nampak pada Gambar 10b, mengindikasikan bahwa batubara Muara Wahau terbentuk dari gambut dengan tipe ombrotrofik dengan dominasi tumbuhan yang lunak dan berair. Meskipun interpretasi keduanya kontradiktif, hal tersebut memungkinkan untuk batubara Indonesia yang berada di daerah tropis dengan curah hujan yang tinggi.

Kondisi limnik atau basah dapat juga berkembang di gambut bertipe ombrotrofik. Begitu rawa/naik menjadi tinggi, gambut sudah terbentuk, diiringi dengan naiknya permukaan air mengikuti permukaan gambut. Hal tersebut menjaga gambut senantiasa dalam kondisi limnik selama

perkembangannya terutama pada musim basah. Dengan demikian hidrologi gambut hanya bergantung kepada suplai air dari curah hujan sehingga lingkungannya menjadi kurang akan nutrisi atau ombrotrofik. Jamur dapat tumbuh di permukaan gambut ketika lingkungan menjadi limno-telmatic atau lembab ketika menurunnya permukaan air saat musim kering. Rekonstruksi pertumbuhan gambut untuk batubara Muara Wahau seperti pada Gambar 11.



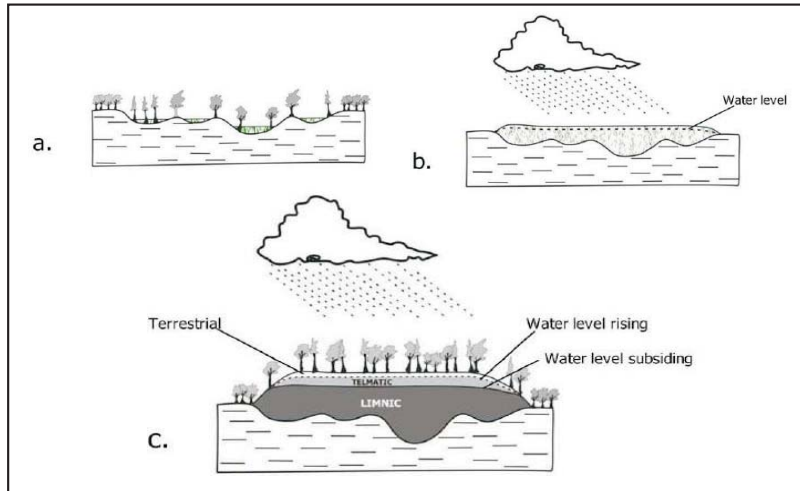
Gambar 10. Plot nilai TPI dan GI (a) serta plot nilai GWI dan VI (b).

Pengolahan hasil penelitian dilanjutkan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan secara vertikal lingkungan pengendapan batubara Muara Wahau. Hasil sudut pandang yang lain ini dipublikasikan di *Indonesian Journal on Geoscience* Vol. 1 No. 2 August 2014, "**Depositional Cycles of Muara Wahau Coals, Kutai Basin, East Kalimantan**" dan ditulis bersama oleh Komang Anggayana, Basuki Rahmad, dan Agus Haris Widayat.

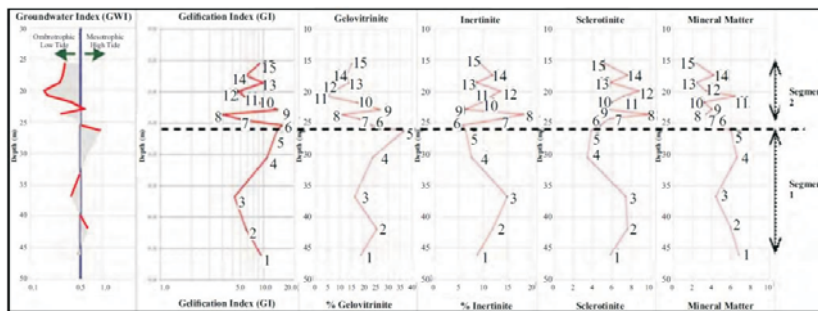
Berdasarkan kuantifikasi maseral, terdapat 73,4 - 88% huminite, 0,6 - 6,8% liptinite, dan 5,8 - 18% inertinite. Untuk variasi huminite, terdapat 9% humotelinite dan 8% attrinite yang tidak memperlihatkan variasi secara vertikal. Terdapat kisaran 47% humodetrinite serta 18% humocollinite.

Secara umum kelimpahan humodetrinite semakin berkurang seiring kedalaman, berbanding terbalik dengan humocollinite. Pada Gambar 12 terlihat pada Segmen 1, bagian bawah dari profil batubara, memperlihatkan variasi/frekuensi perubahan yang rendah, namun pada Segmen 2, bagian atas dari profil batubara, memperlihatkan frekuensi yang tinggi. Tingginya variasi keduanya merefleksikan fluktuasi air tanah pada saat pembentukan gambut lebih intensif. Kelimpahan liptinite secara umum berkurang seiring kedalaman. Sporinite dan cutinite hanya hadir di beberapa sampel pada Segmen 2. Resinite konsisten hadir pada semua sampel dengan kisaran 1,3%. Alginite juga hadir pada beberapa sampel di Segmen 2. Suberinit dominan hadir pada sampel di Segmen 2 dengan nilai yang bervariasi.

Gambar 12 juga memperlihatkan variasi vertikal nilai GWI, GI, dan maseral serta mineral. Variasi dan distribusi maseral secara vertikal mengungkapkan bahwa gambut berkembang dari kondisi mesotrofik ke kondisi ombrotrofik. Kondisi mesotrophik utamanya berkembang di Segmen 1, bagian bawah dari profil batubara, ditandai dengan kehadiran tumbuhan akuatik. Rezim hidrologi pada kondisi ini dipengaruhi oleh air tanah dan air hujan. Di sisi lain, gambut ombrotrophik hadir selama pengendapan batubara profil Segmen 2, bagian atas dari profil batubara, ditandai dominasi tumbuhan dengan pengaruh air yang minim.



Gambar 11. Rekonstruksi gambut tipe *high moor*/ombrotrofik di Muara Wahau pada saat awal perkembangan (a), kondisi limnik pada permukaan gambut *high moor* saat musim basah (b), dan kondisi limno-telmatic pada permukaan gambut *high moor* saat musim kering (c).



Gambar 12. Variasi vertikal dari GWI, GI, humocollinite, inertinite, sclerotinite, dan mineral.

Rezim hidrologi pada kondisi ini hanya mengandalkan curah hujan, sehingga membuat permukaan air kurang stabil, sebagaimana curah

hujan amat sensitif terhadap musim dan perubahan iklim. Fluktuasi permukaan air mungkin terjadi lebih cepat sehingga menghasilkan kondisi lembab yang lebih sering di permukaan gambut. Hal tersebut memungkinkan tumbuhnya jamur, sehingga kehadiran sclerotinite relatif lebih banyak pada profil barubara Segmen 2.

Hasil penelitian ini mengungkapkan atau merekonstruksi batubara yang ada sekarang ke gambut sebagai pembentuknya. Dengan pemahaman model gambutnya maka dengan mudah bisa merancang pola pengambilan sampelnya sehingga model endapan juga akan tergambar dengan baik.

2. Aplikasi untuk Oil Shale

Penelitian dengan menerapkan metoda yang sama juga dilakukan untuk endapan organik selain batubara, yaitu *oil shale*. *Oil shale* adalah endapan organik yang terjadi pada lingkungan lebih reduksi dari batubara dengan munculnya kelompok maseral liptinit relatif tinggi dibandingkan dengan kehadiran kelompok inertinit. Endapan ini menjadi menarik karena dimensinya besar walau kandungan organiknya yang rendah sehingga sangat potensial sebagai sumber bitumen dan gas methane *shale gas*.

Penelitian tentang oil shale ini sudah dipublikasi di *Journal of Engineering and Technological Sciences* 46 (2014), "**Depositional Environment of the Sangkarewang Oil Shale, Ombilin Basin, Indonesia**", ditulis bersama oleh Komang Anggayana, Agus Haris Widayat dan Sri Widodo.

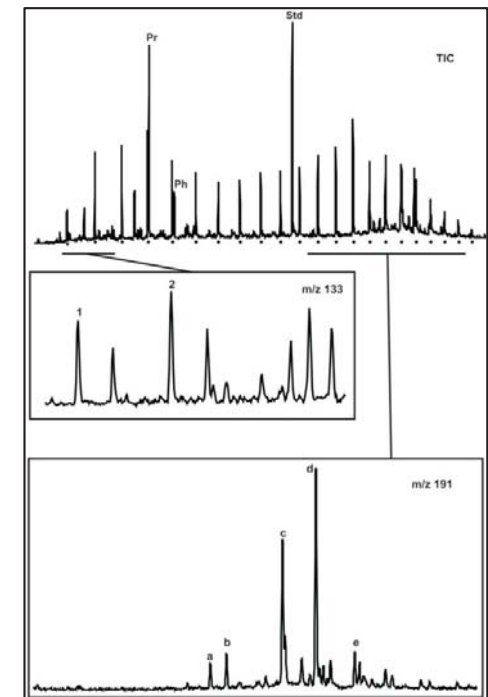
Publikasi ini membahas tentang fasies dan lingkungan pengendapan oil shale pada Formasi Sangkarewang berdasarkan 5 sampel yang diperoleh dari inti bor sepanjang 56 m. Pengeboran dilakukan oleh Pusat Sumberdaya Geologi (PSDG) di daerah Sawahlunto, Sumatera Barat. Secara geologi daerah penelitian terletak di Cekungan Ombilin.

Metode penelitian yang diterapkan mencakup analisis-analisis petrografi maseral, GC-MS, dan *total organic carbon* (TOC). Analisis petrografi maseral dilakukan di Bandung, sedangkan analisis GC-MS dan TOC dilaksanakan di Universitas Frankfurt, Jerman. Komposisi *oil shale* yang teramati di bawah mikroskop didominasi oleh mineral (65%) dan maseral lamalgininit (30%), sedangkan sisa komposisi 5% terdiri dari maseral lain misalnya vitrinit, telalginit, sporinit, dll.

Cukup melimpahnya lamalgininit dan rendahnya komposisi vitrinit dalam material organik mengindikasikan bahwa oil shale diendapkan dalam lingkungan akuatik yang mempunyai pengaruh terestrial yang cukup kecil. Analisis geokimia mengindikasikan bahwa kandungan TOC rata-rata sekitar 4,9%. Senyawa organik yang muncul berdasarkan analisis GC-MS dapat dilihat pada Gambar 13. Pristana, fitana, dan n-alkana terlihat mendominasi pada ekstrak organik total.

Senyawa-senyawa organik dominan tersebut di atas kemungkinan besar berasal dari organisme akuatik yang mendominasi di danau purba Ombilin. Rasio pristana/fitana adalah sekitar 3,9. Angka rasio yang di atas 1 tersebut diinterpretasi bukan mengindikasikan lingkungan pengendapan oksik, namun lebih dipengaruhi oleh sumber biologi yang berasal dari banyak jenis organisme akuatik. Kehadiran pirit framboidal yang cukup besar (6%, volume) merupakan indikasi kuat bahwa oil shale

diendapkan pada lingkungan reduksi atau anoksik kuat. Lebih jauh lagi kehadiran senyawa-senyawa organik aryl isoprenoid dan hopanoid, walaupun dalam jumlah minor, menguatkan bahwa *oil shale* diendapkan pada lingkungan anoksik yang mengandung H₂S terlarut atau sering disebut dengan kondisi euksinik. Aryl isoprenoid yang muncul di sampel *oil shale* merupakan biomarka dari bakteri sulfur hijau (*green sulfur bacteria*) yang hanya hidup pada kondisi euksinik. Hal yang perlu ditekankan dari hasil penelitian ini adalah penggunaan rasio pristana/fitana untuk menginterpretasikan kondisi oksik dan anoksik harus dilakukan dengan hati-hati, karena angka rasio tersebut dapat pula lebih sensitif terhadap sumber biologi.



Gambar 13. Chromatogram hasil GC-MS yang memperlihatkan tingginya konsentrasi Pristana dan Fitana

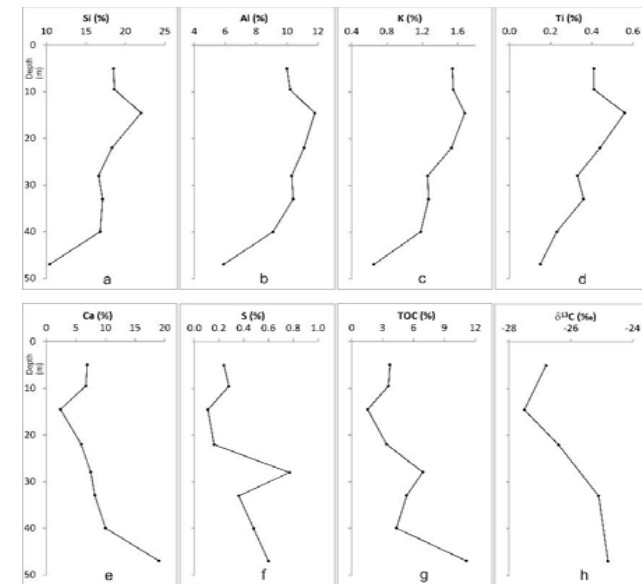
Penelitian tentang *oil shale* dilanjutkan dengan sampel yang sama dengan fokus objek kehadiran mineral kalsit. Hasilnya telah dipublikasikan dalam *Indonesian Journal on Geoscience* Vol.2 No.3 December 2015, **“Precipitation of calcite during the deposition of Paleogene Sangkarewang Oil Shale, Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia”**, ditulis bersama oleh Agus Haris Widayat, Komang Anggayana dan Isra Khoiri.

Publikasi ini membahas tentang analisis geokimia dan petrografi untuk menginvestigasi pengendapan kalsit pada bekas danau lakustrin Ombilin. Studi dilakukan pada delapan sampel yang dikumpulkan dari hasil pemboran oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) sepanjang 56 meter pada tahun 2005 dengan target serpih minyak (*oil shale*) di segmen Sangkarewang, Sumatera Barat. Formasi Sangkarewang mengandung batuan yang berwarna coklat gelap hingga napalan-serpih yang bersisipan dengan batupasir arkose dan andesitik breksi yang terdapat secara lokal. Lapisan serpih minyak (*oil shale*) Sangkarewang mengandung material organik dalam jumlah yang signifikan dan karbonatan hingga 55 % berat.

Keterdapatannya material organik pada lapisan serpih minyak berhubungan dengan lingkungan pengendapan, dimana diperlukan sebuah kondisi untuk menjaga kestabilan material organik. Penelitian ini menggunakan analisis geokimia untuk mengetahui unsur inorganik seperti Si, Al, Ti, K, Ca dan S, kandungan *total organic carbon* (TOC), analisis isotop karbon ($\delta^{13}\text{C}$) dan petrografi.

Investigasi geokimia menunjukkan sampel berasal dari material yang beragam yang direpresentasikan oleh variasi elemen (Gambar 14) Si, Al, K

dan Ti, serta masukan dari *autochthon* yang ditunjukkan oleh elemen S, *total organic carbon* (TOC) dan $\delta^{13}\text{C}$ dari senyawa organik ruah (*bulk organic matter*). Masukan dari material *autochthon* berkurang dari bawah ke atas, berkebalikan dengan input *terrigenous* yang meningkat menuju permukaan (Gambar 15).



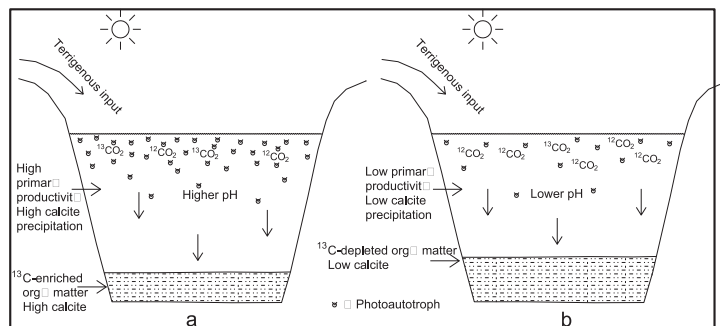
Gambar 14. Profil vertikal dari lubang bor WL-02, yang menunjukkan perubahan beberapa parameter dari dekat permukaan hingga dasar danau.

Analisis petrografi menunjukkan kalsit (CaCO_3) adalah mineral dominan pada sampel dan kelimpahannya berbanding lurus dengan total sulfur, total karbon organik (TOC), isotop karbon-13 dan konsentrasi unsur Ca dari hasil analisa kimia. Kalsit mempunyai bentuk kristal subhedral dengan ukuran yang relatif seragam. Tidak ada indikasi

pelapukan, fosil, atau pengisian rekahan oleh kalsit. Presipitasi kalsit ini menunjukkan adanya peningkatan produktivitas primer selama pengendapan material di danau.

Produktivitas primer ditunjukkan oleh nilai karbon-13 yang lebih positif ($-24,8\text{‰}$) di sampel yang terletak dengan dasar danau. Dengan berkembangnya danau, produktivitas primer berkurang yang ditunjukkan oleh isotop karbon-13 yang lebih negatif ($-26,8\text{‰}$). Kondisi ini mengakibatkan penurunan deposisi material organik dan kalsit pada sedimen danau.

Gambar 15 mengilustrasikan perkembangan danau Ombilin pada segmen serpih minyak Sangkarewang dengan hubungannya dengan produktivitas primer. Selama pengendapan bagian bawah dari danau, Danau Ombilin mengalami beberapa kali proses eutrofikasi. Perkembangan alga memerlukan CO_2 yang signifikan untuk proses fotosintesis, membuat fotoautotrof tinggi di bagian dasar, membuat TOC dan isotop karbon tinggi di bagian bawah.



Gambar 15. Ilustrasi danau Ombilin selama pengendapan bagian bawah (a) dan bagian atas (b) dari segmen serpih minyak Sangkarewang.

Nilai $\delta^{13}\text{C}$ menjadi berkurang dari dasar danau menuju ke permukaan. Hal ini mengindikasikan penurunan produktivitas primer dari danau Ombilin selama pengendapan serpih minyak.

Hasil ini berbanding lurus dengan variasi vertikal dari total karbon organik, dengan koefisien korelasi antara $\delta^{13}\text{C}$ dan TOC sebesar 0,75. Kondisi anoksik merupakan faktor utama yang mempengaruhi akumulasi material organik di dasar danau purba.

Ketika danau mempunyai produktivitas yang tinggi, yang ditunjukkan oleh tingginya nilai $\delta^{13}\text{C}$, air danau mengandung sedikit CO_2 terlarut. Kondisi ini akan menyebabkan peningkatan nilai pH dan konsentrasi ion karbonat. Seiring dengan perkembangan danau, pH dan ion karbonat akan berkurang dan menjadi tidak setinggi ketika kondisi pengendapan awal di dasar danau. Hal ini dibuktikan oleh minimnya kalsit yang mengendap di lapisan yang dekat dengan permukaan dibandingkan dengan di dasar danau. pH dan ion karbonat berkurang dari waktu ke waktu, mengakibatkan mineral kalsit autigenik yang terpresipitasi menjadi berkurang.

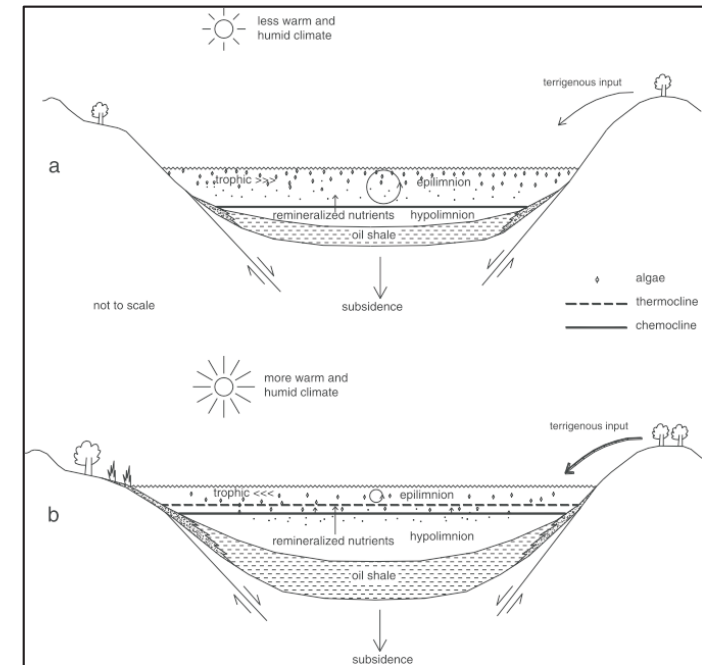
Penelitian yang sama juga dilakukan untuk cekungan Sumatra Tengah. Hasil penelitian sudah dipublikasikan dalam *International Journal of Coal Geology* 165 (2016), **"Climatic control on primary productivity changes during development of the late Eocene Kiliran Jao lake, Central Sumatra Basin, Indonesia"**, dengan penulis bersama oleh Agus Haris Widayat, Bas van de Schootbrugge, Wolfgang Oschmann, Komang Anggayana dan Wilhelm Püttmann.

Publikasi ini membahas pengaruh iklim pada produktivitas primer

danau purba Kiliran Jao dan implikasinya pada variasi bahan organik yang diendapkan. Penelitian dilakukan pada sampel inti bor berupa *oil shale* sepanjang 102 m yang merupakan hasil kegiatan pengeboran Pusat Sumberdaya Geologi (PSDG) di daerah Kabupaten Padanglawas, Sumatera Barat. Secara geologi daerah tersebut termasuk ke dalam Sub-Cekungan Kiliran Jao, Cekungan Sumatera Tengah. *Oil shale* tersebut merupakan salah satu lapisan kaya bahan organik yang ekuivalen dengan Formasi Brown Shale di Cekungan Sumatera Tengah.

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis palinofasies untuk mengetahui asosiasi bahan organik dan analisis geokimia untuk mengetahui kandungan *total organic carbon* (TOC) dan komposisi isotopnya ($\delta^{13}\text{C}$) serta unsur-unsur utama dan jejak (Al, K, Na, S, U, dan Mo). Analisis palinofasies, TOC, dan $\delta^{13}\text{C}$ dilakukan di Universitas Frankfurt, Jerman, analisis unsur kimia dilakukan di Actlab, Kanada. Palinofasies *oil shale* didominasi oleh bahan organik amorf (AOM) sekitar 76-96% sedangkan bahan organik berstruktur ditemukan dalam jumlah minor di antaranya palinomorf *Botryococcus braunii*, polen, spora, fitoklas, dan jamur. Secara vertikal variasi kandungan palinomorf jamur dapat diidentifikasi, yaitu secara umum lebih melimpah di bagian tengah profil bor. Variasi serupa juga diidentifikasi untuk kandungan palinomorf *B. braunii*. $\delta^{13}\text{C}$ secara umum bervariasi dimana di bagian tengah profil relatif lebih negatif atau lebih terdepleksi dibandingkan bagian atas dan bawah dari profil bor. Kandungan TOC secara umum lebih melimpah di bagian bawah profil bor. Gambar 16 mengilustrasikan model pengendapan *oil shale* untuk bagian bawah (a) dan bagian tengah (b) dari profil bor. Pada

pengendapan bagian bawah profil, kondisi iklim diinterpretasikan relatif lebih dingin dari kurang melimpahnya palinomorf jamur.



Gambar 16. Skema pengaruh perubahan iklim terhadap fasies pengendapan *oil shale* bagian bawah profil yang kaya bahan organik (a) dan tengah profil (b) yang miskin bahan organik.

Kondisi iklim tersebut menyebabkan stratifikasi termal di kolom air Danau Kiliran Jao relatif lemah. Stratifikasi yang lemah tersebut memungkinkan terjadinya sirkulasi air antara zona epilimnion dan hipolimnion. Karena secara umum nutrisi pada ekosistem danau lebih dipengaruhi oleh proses remineralisasi material di dasar zona

hipolimnion, maka suplai nutrisi ke zona epilimnion akan melimpah. Hal tersebut menyebabkan fitoplankton (alga) akan tumbuh cukup banyak di bagian permukaan danau. Produktivitas primer yang tinggi tersebut juga akhirnya menyebabkan jumlah bahan organik yang terendapkan ke dasar danau juga akan melimpah. Pada iklim yang relatif dingin, suplai material klastik (terigenous) juga akan berkurang seperti yang diindikasikan oleh lebih sedikitnya kandungan unsur Al, Na, dan K serta sedikitnya fitoklas dan pollen. Di sisi lain pengendapan material autohton seperti bahan organik dari alga dan unsur-unsur yang berasosiasi dengan karbon organik seperti U, Mo, dan S akan melimpah.

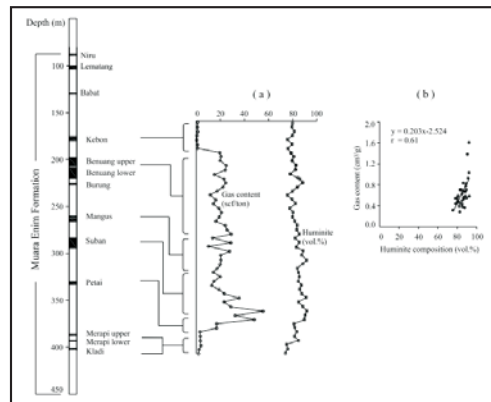
Pada pengendapan bagian tengah profil, kondisi iklim diinterpretasikan relatif hangat dari lebih melimpahnya palinomorfo jamur. Kondisi iklim ini menyebabkan stratifikasi termal di kolom air Danau Kiliran Jao relatif kuat. Stratifikasi yang kuat tersebut kurang memungkinkan terjadinya sirkulasi air antara zona epilimnion dan hipolimnion. Hal tersebut mengakibatkan suplai nutrisi dari zona hipolimnion ke epilimnion menjadi berkurang. Dengan demikian fitoplankton di permukaan danau kurang melimpah dan hanya alga yang tahan terhadap kondisi miskin nutrisi yang bisa hidup seperti *B. braunii*. Kondisi produktivitas primer yang rendah tersebut berimplikasi terhadap kurangnya bahan organik yang diendapkan. Pada iklim yang relatif hangat tersebut, suplai material klastik akan melimpah (banyak hujan) seperti yang diindikasikan dari melimpahnya unsur Al, Na, dan K serta lebih melimpahnya fitoklas dan pollen. Di sisi lain pengendapan material autohton seperti bahan organik dari alga dan unsur-unsur yang berasosiasi dengannya (U, Mo, dan S) akan lebih sedikit.

3. Aplikasi untuk Coalbed Methane (CBM)

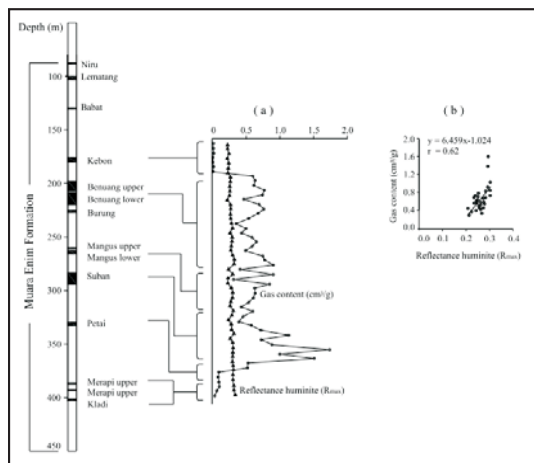
Penelitian tentang kandungan gas metana hasil pengukuran desorpsi pada batubara hasil pengeboran eksplorasi gas metana Formasi Muara Enim, Cekungan Sumatra Selatan. Pengeboran eksplorasi gas metana dilakukan oleh PSDG Bandung tahun 2012, kedalaman 450m. Ada 12 lapisan batubara (0,7-20,4 m) yang memiliki potensi gas metana. Kegiatan eksplorasi ini dilakukan untuk mengevaluasi kandungan gas di sisi barat cekungan ini. Potensi kandungan gas metana di cekungan ini merupakan tertinggi dibandingkan cekungan lainnya di Indonesia (Steven dan Ssani, 2002; Sosrowdjojo dan Saghafi, 2009) yang mencapai 126 TCF, khususnya di bagian tengah cekungan. Hipotesa yang dimunculkan adalah bahwa karakter kandungan gas metana sangat dipengaruhi oleh komposisi material organik penyusun batubara. Hasil analisis petrologi menunjukkan bahwa tahapan pembatubaraan (*rank*) yang telah dicapai oleh material organik berada pada lignit ($R_{\max}=0,20-0,31\%$). Material organiknya didominasi oleh grup maseral huminite (77,0-93,2%) yang diikuti oleh liptinite (5,0-19,0%), dan inertinite (1,2-11,0%).

Kandungan gas metana sangat bervariasi ($0,02 - 1,59 \text{ cm}^3/\text{g}$ batuan) dari lapisan batubara teratas sampai batubara terbawah yang memberikan pola tidak teratur. Kandungan gas ini menunjukkan karakter yang unik seperti terlihat pada lapisan batubara terbawah yang memiliki kandungan gas yang semakin kecil meskipun memiliki tingkat kematangan material organik yang lebih besar dibandingkan batubara di atasnya. Karakter gas metana di daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh komposisi material organik dan tingkat kematangan. Berdasarkan hasil korelasi antara

kandungan gas terhadap maseral huminit (Gambar 17) menunjukkan korelasi positif kuat ($r=0,61$), sedangkan korelasi antara kandungan gas versus tingkat kematangan (Gambar 18) memiliki nilai korelasi positif kuat ($r=0,62$).



Gambar 17. Korelasi kandungan gas versus kandungan Huminit.



Gambar 18. Korelasi kandungan gas versus tingkat kematangan.

Penelitian ini merupakan bagian dari disertasi mahasiswa program doktor dan telah dipublikasikan di Yogyakarta, *The Society for Organic Petrology Annual Conference 2015* “**Low Rank Coalbed Methane Desorption Characteristics From Muara Enim Formation: Effect Of Maceral Composition And Thermal Maturity**” dengan penulis Mulyono Dwianto, Komang Anggayana, Sudarto Notosiswoyo dan Dwiwahju Sasongko.

4. Aplikasi untuk penentuan kualitas kokas sebagai bahan baku besi baja

Aplikasi Petrologi batubara dalam penentuan karakter batubara dalam kaitannya dengan pembuatan kokas. Hasil Penelitian ini sudah dipresentasikan pada Seminar Nasional Besi dan Baja tanggal 27 – 28 April 2016 di Bandung dengan judul “**Evaluasi Parameter Karakteristik Batubara Untuk Penentuan Kualitas Kokas Sebagai Bahan Baku Industri Besi Baja**”, bersama Komang Anggayana, Agus H. Widayat, Arie N. H. Hede, Wahyudi Zahar, Eddy A. Basuki.

Salah satu kelompok batubara yang banyak digunakan terutama dalam industri besi dan baja adalah *coking coal* yang pemanfaatannya dalam bentuk kokas (*coke*). *Coking coal* Indonesia terdapat di daerah Murung Raya, Kalimantan Tengah yang berasal dari Cekungan Barito dan sudah diproduksi oleh beberapa perusahaan tambang. Tujuan dari penelitian adalah untuk melakukan evaluasi parameter karakteristik batubara dalam menentukan *cokeability* dan kualitas kokas yang dihasilkan. Parameter batubara yang dianalisis antara lain *swelling index*, analisis proksimat, ultimat, komposisi mikroskopi, dan sulfur organik

dalam kaitannya dengan kualitas kokas. Penelitian ini menggunakan dua tipe data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari core pemboran eksplorasi PT. Marunda Graha Mineral dan data sekunder sebagai pembanding. Kemudian dilakukan analisis tipikal parameter *coking coal* Indonesia dan beberapa sampel negara lain. Hasilnya memperlihatkan bahwa *coking coal* Indonesia memiliki tipikal khusus seperti kandungan abu yang rendah kurang dari 10% dan kandungan vitrinit yang tinggi. Komposisi petrografi batubara juga sangat menentukan kualitas kokas dimana maseral vitrinit sebagai kontributor penting dalam peningkatan nilai *Crucible Swelling Number* (CSN). Selain itu parameter reflektan vitrinit dan volatile matter dapat dikorelasikan dengan parameter kualitas kokas. Hasil analisis data primer juga menunjukkan adanya keterkaitan data proksimat, ultimat, dan kandungan mineral terhadap parameter kualitas kokas. Meskipun demikian yang perlu diperhatikan adalah bahwa parameter-parameter tersebut bergantung pada banyak faktor, bersifat unik, dan kompleks. Diperlukan pemahaman yang komprehensif tentang sifat bahan pembentuk batubara untuk menghasilkan kokas yang baik.

III. PENUTUP

Mengacu pada kondisi industri pertambangan yang ada saat ini di Indonesia maka kepakaran Eksplorasi Tambang masih sangat dibutuhkan dan bahkan masih sangat perlu dikembangkan sehingga program-program eksplorasi yang mendukung untuk meningkatkan jumlah sumberdaya dan cadangan menjadi bisa berjalan. Begitu juga dengan program inventarisasi bahan galian serta inventarisasi data hasil

eksplorasi mestinya bisa dikelola dengan baik sehingga tidak terjadi perbedaan informasi dari para instansi.

Untuk mencapai hasil yang optimum dalam eksplorasi maka peningkatan pengetahuan pendukung seperti genesa bahan galian harus difahami lebih baik. Penguasaan ilmu genesa bahan galian tidak hanya mencakup komoditi anorganik saja tetapi juga meluas pada cara terjadinya bahan galian organik serta turunannya. Oleh karena itu penguasaan keilmuan petrologi serta geokimia organik menjadi sangat vital. Kedua metoda ini dalam genesa bahan galian organik saling melengkapi sehingga dipelajari secara bersamaan. Aplikasi keilmuan ini ke depannya akan makin meluas bukan saja ke arah penemuan bahan galian tetapi juga untuk mempelajari masalah lingkungan khususnya pencemaran organik.

Hal ini tentu saja untuk mendukung program pemerintah dalam strategi pengelolaan sumberdaya dan cadangan batubara yang meliputi:

- Inventarisasi yang merupakan upaya sistematis dan terencana dalam rangka membangun suatu basis pengetahuan sumberdaya alam yang komprehensif melalui penerapan metodologi dan teknologi akuisisi, interpretasi dan diseminasi informasi yang tepat dan handal agar sumberdaya alam dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan.
- Pemanfaatan yang merupakan upaya untuk memanfaatkan satu atau beberapa jenis sumberdaya alam secara efektif, efisien dan ekonomis dengan menerapkan metodologi dan teknologi yang tepat dan handal agar kesejahteraan masyarakat serta tujuan-tujuan kemanusiaan lainnya dapat tercapai.

- Konservasi yang merupakan upaya untuk memanfaatkan sumberdaya alam secara berhati-hati sehingga dapat dimanfaatkan selama mungkin serta melestarikan, menjaga dan memperbaiki lingkungan tempat terdapatnya sumberdaya alam tersebut baik dari sisi potensi, fungsi maupun karakteristik khusus lainnya.

Pemanfaatan batubara sampai saat ini hanya sebatas sebagai bahan bakar dimana faktor nilai kalori menjadi sangat utama, namun bila ke depannya kita ingin memanfaatkan batubara untuk keperluan lain maka penguasaan ilmu karakter batubara menjadi sangat fundamental. Karena hampir semua pemanfaatan akan mengacu pada karakter batubara sebagai bahan.

Melihat strategi pengelolaan sumberdaya dan cadangan batubara maka peran ahli eksplorasi masih sangat dibutuhkan. Inventarisasi merupakan tugas pokoknya. Hasil eksplorasi mestinya mendukung pemanfaatan karena data awal karakter batubara diperoleh pada tahapan eksplorasi. Oleh karena itu, ahli eksplorasi mestinya mengerti karakter batubara dalam konteks pemanfaatan batubara. Kemungkinan bisanya batubara untuk dimanfaatkan akan merubah posisi nilai jual yang akhirnya akan merubah menjadi cadangan.

Untuk mendukung konservasi sudah tentu sangat membutuhkan data dari kegiatan eksplorasi. Data eksplorasi akan menjadi dasar perencanaan tambang. Perencanaan tambang yang baik akan berujung pada konservasi.



Gambar 19. Road map pertambangan batubara Indonesia untuk menunjang ketahanan energi dari tahun 2018 sampai dengan 2022 (Ditjen Minerba, 2017).

Melihat road map pertambangan batubara seperti pada Gambar 19, maka para ahli eksplorasi makin ke belakang akan semakin membutuhkan pengetahuan tentang karakter batubara. Ilmunya tidak cukup untuk sampai menghitung sumberdaya dan cadangan saja. Nantinya harus ikut berperan dalam diversifikasi pemanfaatan batubara dan selanjutnya juga berperan dalam peningkatan nilai tambah batubara dan sumber energi turunan batubara seperti CBM, *oil shale* dan *shale gas* karena semua ini mempunyai genesa yang sejalan.

IV. PUSTAKA

1. White, A.H., Management of Mineral Exploration. Andrew White and

- Associates, Queensland, Australia (1997), 380 pp.
2. Pusat Sumberdaya Geologi (PSDG), Executive Summary Pemutakhiran Data dan Neraca Sumberdaya Energi Tahun 2016. PSDG, Bandung (2016), 25 pp.
 3. Sri Widodo, Achim Bechtel, Komang Anggayana, Wilhelm Puettmann, Reconstruction of floral changes during deposition of the Miocene Embalut coal from Kutai Basin, Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia by use of aromatic hydrocarbon composition and stable carbon isotope ratios of organic matter. *Organic Geochemistry* 40 (2009), 206-218.
 4. Sri Widodo, Wolfgang Oschmann, Achim Bechtel, Reinhard F., Sachsenhofer, Komang Anggayana, Wilhelm Puettmann, Distribution of sulfur and pyrite in coal seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): Implications for paleoenvironmental condition. *International Journal of Coal Geology* 81 (2010), 151-162.
 5. Komang Anggayana, Basuki Rahmad, Arie Naftali H.H., Agus Haris Widayat, Limnic condition in ombrotrophic peat type as the origin of Muara Wahau coal, Kutei Basin, Indonesia. *Journal of the Geological Society of India* 83 (2014), 555-562.
 6. Komang Anggayana, Agus Haris Widayat, Sri Widodo, Depositional environment of the Sangkarewang oil shale, Ombilin Basin, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences* 46 (2014), 420-435.
 7. Widayat, A.H., van de Schootbrugge, B., Oschmann, W., Anggayana, K., Püttmann, W., Climatic control on primary productivity changes during development of the Late Eocene Kiliran Jao lake, Central

- Sumatra Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology* 165 (2016), 133-141.
8. Komang Anggayana, Basuki Rahmad, Agus Haris Widayat, Depositional cycles of Muara Wahau coals, Kutai Basin, East Kalimantan. *Indonesian Journal on Geoscience* 1 (2014), 109-119.
 9. Komang Anggayana, Mulyono dan Agus Haris Widayat, Hydrocarbon generation potential of Indonesia coal: from the viewpoints of organic petrology and geochemistry. *Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2014*. December 4 - 5, 2014. Inamori Foundation Memorial Hall, Kyushu University, Fukuoka, Japan.
 10. Anggayana K., Mulyono Dwiantoro dan Agus Haris Widayat, A baseline study about the unconventional petroleum potential of the Brown Shale Formation, Central Sumatera Basin-Indonesia: organic petrography and geochemistry. 32nd Annual Meeting of The Society for Organic Petrology, Yogyakarta, Indonesia 20 - 27 September 2015.
 11. Agus Haris Widayat, Komang Anggayana, Amiril Pratomo, dan Asep Suryana, Study of coalbed methane (CBM) of Warukin and Montalat Formations, Barito Basin, Central Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2015*. Desember 3 - 4 2015. Kyushu University, Fukuoka, Japan.
 12. Mulyono Dwiantoro, Komang Anggayana, Sudarto Notosiswoyo, Dwiwahju Sasongko, Low rank coalbed methane desorption characteristic from Muara Enim Formation: effect of maceral composition and thermal maturity. 32nd Annual Meeting of The

Society for Organic Petrology, Yogyakarta, Indonesia 20 - 27 September 2015.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada:

1. Kepada yang terhormat Prof. Kadarsah Suryadi selaku Rektor ITB dan segenap pimpinan ITB, Prof. Tutuka Ariadi sebagai Ketua FGB ITB dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.
2. Segenap anggota KK Eksplorasi Sumberdaya Bumi (KK ESDB): Prof. Dr. Ir. Sudarto Notosiswojo M. Eng.; Ir. Teti Indriati MT.; Dr. Ir. Budi Sulistijo MSc. App.; Dr. Ir. Lilik Eko Widodo MS.; Dr. Ir. Syafrizal L. MT.; Ir. M. Nur Heriawan MT. PhD.; Dr. Irwan Iskandar ST. MT.; Dr. Agus Haris Widayat ST. MT.; Dr. Arie Naftali Hawu Hede ST. MT.; Dr. Andy Yahya ST. MT., yang telah mendukung secara moril, penyiapan berkas, mereview serta membantu selama proses.
3. Prof. Dr. Ir. Sudarto Notosiswojo M. Eng. dan Prof. Dr. Ir. Djoko Santoso yang telah memberikan rekomendasi sehingga usulan kenaikan jabatan bisa diproses.
4. Prof. Dr. Habil. Wilhem Puettmann dari Goethe University Frankfurt, Jerman sebagai Guru Besar di luar ITB yang telah memberikan rekomendasi.
5. Dr. Agus Haris Widayat ST. MT. yang telah membantu selama proses, menyiapkan dokumen, mengoreksi, menemani saya sehingga semua

proses bisa berjalan dengan baik.

6. Dekan, Wakil Dekan Akademik, Wakil Dekan Sumberdaya, Senat Fakultas, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan yang telah membantu dalam proses.
7. Para Mantan Mahasiswa Doktoral bimbingan saya: Dr. Sri Widodo ST. MT.; Dr. Ir. Bambang Kuncoro MT.; Dr. Ir. Basuki Rahmad MT.; Dr. Ir. Mulyono ST. MT. yang telah banyak membantu dalam penyusunan berkas, dokumen untuk kenaikan jabatan serta bersama-sama dalam mempublikasikan hasil penelitian.
8. Sahabat dalam rumpun keilmuan yang sama: Prof. Dr. Ir. Eddy A. Subroto.; Dr. Ir. Hermes Panggabean MSc.; Dr. rer. nat. Ir. Hendra Amijaya.; yang telah banyak membantu dalam mereview publikasi.
9. KK Tambang (KK TA) dan KK Metalurgi (KK MG) yang telah banyak mendukung secara moril sehingga proses kenaikan jabatan saya bisa berjalan dengan baik.
10. Instansi/perusahaan: Pusat Sumberdaya Geologi (PSDG) Bandung, PT Tambang Batubara Bukit Asam (PT BA), PT Anugrah Bara Kaltim (PT ABK), PT. Marunda Graha Mineral, PT Geoservices, Geoforschung Zentrum Potsdam Jerman dan University Frankfurt Jerman yang telah membantu menyediakan sampel untuk penelitian serta menyediakan fasilitas untuk melakukan analisis.

Ucapan Terimakasih yang sangat khusus saya sampaikan kepada:

1. Ir. Lilis Yuliasetawati MT.; Istri yang penuh pengertian dan setia mendampingi saya dalam perjuangan, Dr.-Ing. Justin Pradipta ST. MT.

dan Ophilia Larasati ST. MT. anak-anak yang penuh dedikasi dan memberikan dukungan untuk orang tuanya.

2. Orang Tua saya: I Nengah Teken (alm) dan Ni Wayan Menri serta saudara saudara saya: Ni Wayan Kariasih, Ni Made Weti Ardani, I Ketut Juliada, Ni Putu Suryaeni, I Made Suradana dan Ni Nyoman Sutariani yang telah memberikan semangat yang tidak ada henti-hentinya hingga saya bisa dipercaya untuk memegang jabatan Guru Besar.

CURRICULUM VITAE



Nama : **KOMANG ANGGAYANA**
Tmpt. & tgl. lhr. : Tabanan- Bali, 7 Januari 1958
Kel. Keahlian : Eksplorasi Batubara
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
Nama Istri : Ir. Lilis Yuliasetiawati MT.
Nama Anak ke-1: Dr.-Ing. Justin Pradipta ST. MT.
Nama Anak ke-2: Ophilia Larasati ST. MT.

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri X Tabanan Bali (1970)
2. SMP Negeri Tabanan Bali (1973)
3. SMA Negeri Tabanan Bali (1976)
4. Sarjana Teknik Pertambangan (Ir): ITB, 1982
5. Magister Sain: Prodi Geofisika Terapan, ITB, 1991
6. Doktor rer. nat.: Lehrstuhl fuer Geologie, Geochemie und Lagerstaetten der Erdoels und der Kohle, RWTH, Aachen-Jerman, 1996.

RIWAYAT KERJA DI ITB

1. Tahun 1983 s.d. skrg. : Staf Pengajar pada Jurusan / Prodi Teknik Pertambangan - ITB.
2. Tahun 1996 s.d 2000 : Sek. Bidang Kemahasiswaan Jurusan Teknik Pertambangan - ITB.
3. Tahun 2000 s.d. 2001 : Sek. Jurusan Teknik Pertambangan – ITB.
4. Tahun 2001 s.d. 2003 : Ketua Dept. Teknik Pertambangan ITB

dan Kaprodi Magister Rekayasa Pertambangan - ITB.

5. Thn. 2003 s.d. Mei 2005 : Direktur Sarana dan Prasarana - ITB.
6. Tahun 2006 s.d. 2011 : Ketua KK ESDB FTTM - ITB.
7. Tahun 2006 s.d. 2018 : Direktur/Direktur Utama / Ketua LAPI - ITB.
8. Mei 2018 s.d. skrg : Ketua Badan Pengelola Usaha dan Dana Lestari (BPUDL) - ITB.
9. April 2018 - skrg. : Ketua KK ESDB.

PENGHARGAAN

1. Penghargaan Satyalancana karya Satya X tahun No. 56/TK/Tahun 1998, Presiden, 1998.
2. Penghargaan Satyalancana Karya Satya 20 tahun, KEPPRES RI No. 033/TK/Tahun 2009, Presiden, 2009.
3. Penganugrahan Penghargaan Pengabdian 25, Rektor ITB, 2009.
4. Penghargaan Satyalancana Karya Satya XXX Tahun, No. 96/TK/Tahun 2015, Presiden, 11 Agustus 2015.

KEANGGOTAAN DALAM ORGANISASI PROFESI

1. Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (PERHAPI).
2. Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI).
3. Persatuan Insinyur Indonesia (PII).