

Identifikasi lapisan batubara dari segi geokimia anorganik

Darmawan Sumardi
Totok Darijanto

Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132; Telp. (022)-250 0989, Fax. (022)-250 1438

Masuk: Desember 1998; revisi masuk: Februari 1999; diterima: Juni 1999

Sari

Penentuan kelimpahan unsur kimia dalam percontoh lapisan batubara dilakukan melalui analisis unsur kimia pada abu batubara berupa V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, Sr, Ba, Cd, As, Ag, Al, Ca, Mg, Fe, Na, dan K serta melalui fraksi-fraksi batubara hasil pemisahan *sink and float* berupa Si, Al, Ca, Mg, Fe, Ni, Cu, Na, dan K. Jenis unsur tersebut dapat menjadi parameter identifikasi lapisan yang berguna dalam korelasi stratigrafi lapisan, dan gambaran kecenderungan asosiasi mineral dengan golongan maseral batubara yang dapat mendukung parameter tadi. Dari analisis *principal component* didapati bahwa Ni, Cr, dan V merupakan parameter yang baik untuk identifikasi lapisan; sebagai pembanding digunakan data lapisan batubara Bihar dari India dan Kanada. Unsur ini diperkirakan terikat pada molekul bahan organik sebelum diagenesis gambut, bersama terbentuknya kuarsa, kaolinit, gips dan cenderung berasosiasi dengan huminit/vitrinit. Mineral yang cenderung terbentuk selama diagenesis adalah siderit, kalsit, Mn-karbonat, serta illit/smektit yang lebih berasosiasi dengan inertinit.

Kata kunci: unsur jejak, afinitas organik, parameter identifikasi lapisan.

Abstract

Coal seam identification from the aspect of inorganic geochemistry

Elements abundance in the coal seam samples were determined by analyzing 1) the coal ash, namely V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, Sr, Ba, Cd, As, Ag, Al, Ca, Mg, Fe, Na, and K, and 2) maceral rich coal fractions by sink & float separation, namely Si, Al, Ca, Mg, Fe, Ni, Cu, Na, and K. The scope is to obtain certain elements as a parameter for coal seam identification which could be applied as a useful stratigraphic correlation tool and an inference on mineral occurrence associated with maceral groups within the coal seam. Ni, Cr, and V are shown to be the best parameter for seam identification by means of principal component analysis; for comparison purposes data from Bihar (India) and Canada were used. These elements are interpreted to be fixed to the organic molecules before peat diagenesis contemporaneously with the formation of quartz, kaolinite, and gypsum and tend to associate with huminite/vitrinite. Minerals tend to be formed during diagenesis are siderite, calcite, carbonate of Mn, and illite/smectite with the associated inertinite.

Key words: trace elements, organic affinity, seam identification parameter

1 Pendahuluan

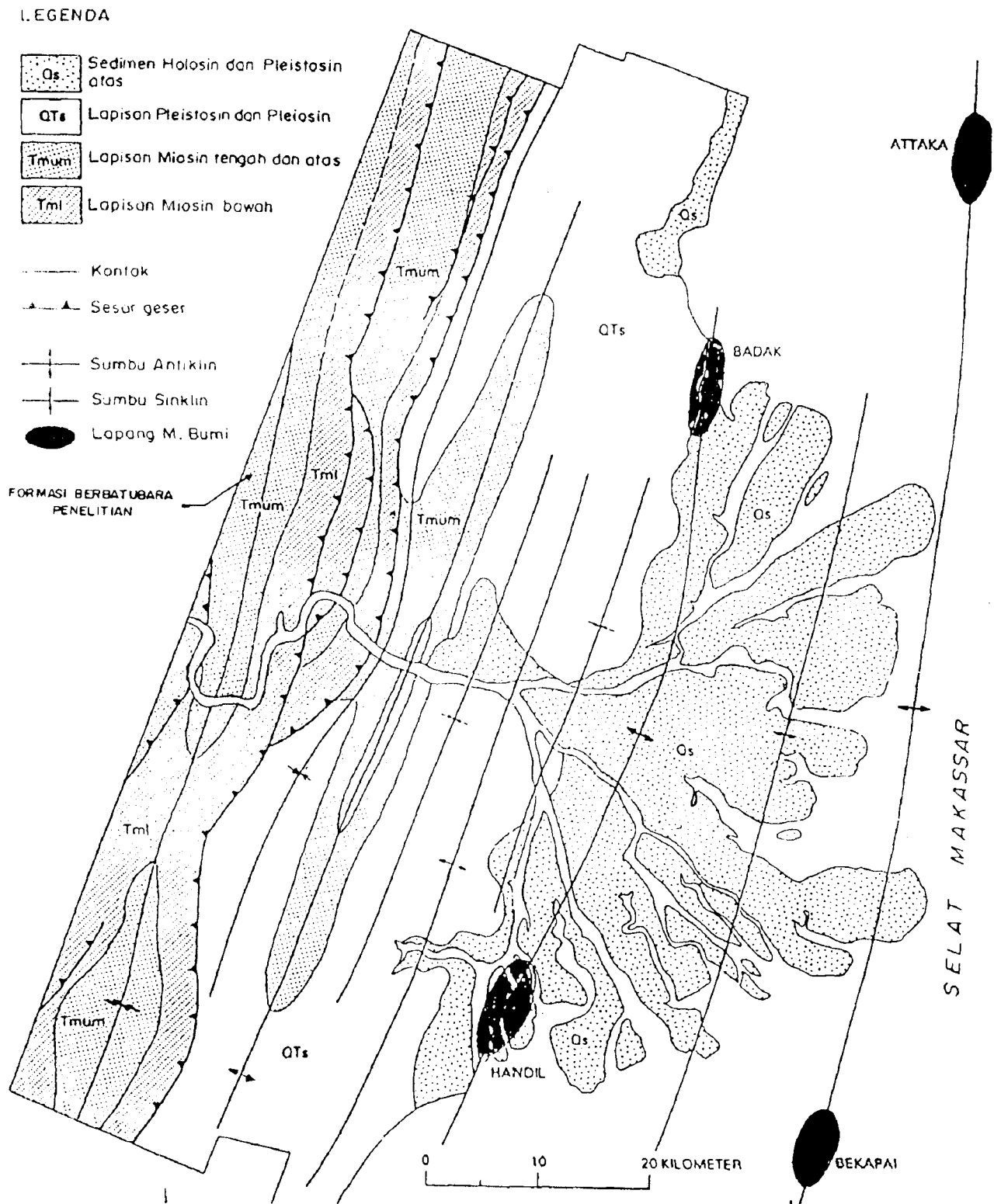
Beberapa jenis unsur dapat menjadi parameter identifikasi lapisan yang berguna dalam korelasi stratigrafi lapisan dan menunjukkan kecenderungan jenis mineral serta asosiasinya dengan golongan maseral. Kelimpahan unsur jejak V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, Zn, Pb, Mn, Sn, Sr, Ba, Cd, As, dan Ag (dari analisis kimia abu batubara) serta beberapa unsur yang ununnya bukan tergolong jejak, yaitu Si, Al, Ca, Mg, Fe, Na, dan K (dari analisis kimia fraksi batubara) dalam lapisan batubara, dapat digunakan sebagai parameter identifikasi lapisan batubara.

Penelitian ini dilakukan pada satu lapisan batubara tertentu yang terdapat pada urutan lapisan batubara (*coal measure*) dalam Formasi Balikpapan, cekungan Kutei, Kalimantan Timur (Gambar 1). Penentuan kelimpahan

unsur ditentukan pada 5 percontoh inti-bor, tersebar sepanjang 1300 m dalam arah jurus lapisan.

Untuk mengetahui kecenderungan asosiasi mineral dengan golongan maseral, percontoh ukuran -100 mesh dipisahkan menjadi fraksi dengan rapat massa < 1,25 g/cc, 1,25 g/cc - 1,35 g/cc, 1,35 - 1,45 g/cc, dan > 1,45 g/cc dengan menggunakan prosedur *sink and float*. Perbedaan kelimpahan unsur yang ditentukan pada abu dan batubara diharapkan dapat menunjukkan kecenderungan asal organik atau anorganik (dari mineral) dari unsur tersebut.

Asal organik atau anorganik dari unsur jejak yang ditentukan pada abu dilakukan dengan menggunakan analisis korelasi statistik, berdasarkan data umum peneliti terdahulu. Identifikasi lapisan memakai unsur jejak ini ditentukan dengan analisis *principal component*.



Gambar 1 Peta sketsa geologi dengan struktur daerah Delta Mahakam (Sumber: Hamilton, 1981)

golongan maseral hasil prosedur *sink and float* dilakukan dengan menggunakan korelasi statistik. Berbagai data hasil analisis statistik dapat menghasilkan suatu sintesis tentang kemungkinan lingkungan geokimia yang

mempengaruhi kelimpahan unsur jejak maupun yang umum terdapat sebagai bahan mineral serta asosiasinya dengan golongan maseral selama proses susut laut dan genang laut.

2 Metodologi penelitian

2.1 Tinjauan umum

Unsur kimia anorganik dalam batubara mencakup unsur dari tanaman asal, unsur yang terikat pada molekul organik sebelum tanaman mati, maupun unsur yang terikat dalam molekul organik atau mengisi lubang antarbahannya organik setelah tanaman mati menjadi gambut sampai dengan akhir diagenesis batubara (Bouska, 1981). Asal unsur dapat diketahui dari jenis mineral yang akan tampak dalam mikroskop untuk bahan bukan tanaman dan yang tidak terikat pada molekul organik. Unsur-unsur tersebut akan terdapat dalam abu batubara setelah penitakaran.

Kelimpahan unsur anorganik dalam batubara umumnya tergolong kecil sekali dan disebut unsur jejak (*trace element*). Menurut Cox, et al (1979) unsur tergolong unsur jejak apabila terkonsentrasi dalam batuan lebih kurang sebesar beberapa ribu ppm; menurut Rollason (1995) berjumlah < 0,1% (1000 ppm) berat; dan menurut Abernethy, & Gibson (1963) apabila konsentrasinya tidak lebih dari 0,01 % (100 ppm) berat

Kandungan unsur jejak dalam batubara pada umumnya dinyatakan dalam ppm atau % untuk keseluruhan tebal satu lapisan hasil rerata gabungan nilai ppm percontoh selang (misalnya per meter) tebal lapisan. Unsur itu disebut tersebar homogen apabila kelimpahannya dalam selang-selang tegak dari tebal lapisan sama besarnya, dan tidak homogen apabila bervariasi. Kehomogenan unsur tadi menunjukkan bahwa mineral yang terdiri dari unsur tadi telah terdeposisi sebelum diagenesis (pradiagenesis) gambut, dan variasi unsur menunjukkan bahwa pembentukan mineral terjadi selama diagenesis.

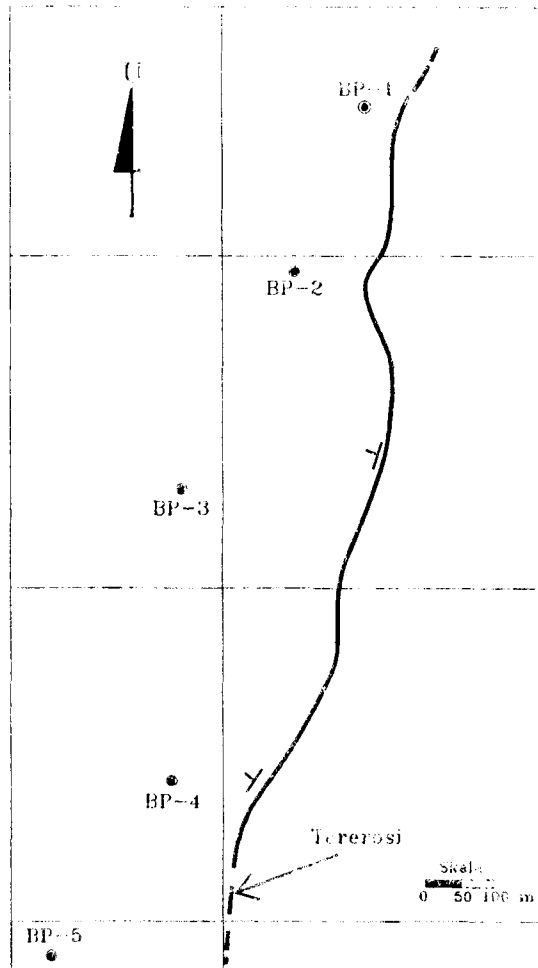
Analisis kimia cara basah pada batubara pada umumnya hanya mendeteksi unsur jejak dari padatan kristalin (mineral detritus) atau garam dalam air pori, serta yang terserap pada koloid lempung, karena unsur yang terikat pada molekul senyawa organik (yaitu kerogen) tidak larut dengan asam organik. Sementara itu, pada abu dapat sekaligus juga dideteksi unsur yang terikat pada molekul organik.

Perbedaan antara kandungan total unsur dengan kandungan yang berasal dari mineral tadi akan lebih nyata untuk batubara yang rendah peringkatnya (Ward, 1984), karena unsur dalam bentuk non-kristalin akan lebih banyak dalam batubara peringkat rendah. Nilai kandungan unsur dari analisis kimia pada batubara dapat cocok dengan yang ada pada abu batubara dengan memakai faktor koreksi/kalibrasi (Harris, et al 1981). Kandungan unsur pada abu batubara juga dipakai oleh Dorsey & Kopp (1985) untuk membuat studi banding antara unsur dalam batubara dengan sedimen klastik di atas batubara.

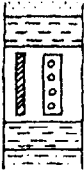
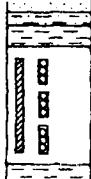
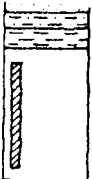










2.2 Prosedur penelitian

Percontoh inti bor (Gambar 2) satu lapisan tertentu pada bagian litotip cerah berpita dibagi menjadi 2 selang tebal, yaitu atas dan bawah untuk BP-1, BP-3, BP-4, dan BP-5 serta menjadi 3 (atas, tengah, dan bawah) untuk BP-2. Masing-masing diperkecil ukuran fragmennya menjadi -1 cm dengan menggunakan palu. Separuh dari masing-masing selang tebal itu disimpan untuk arsip. Ukuran butir percontoh selanjutnya diperkecil menjadi -100 mesh. Percontoh berasal dari satu lapisan yang sama didasarkan antara lain pada korelasi secara petologi antara batuan atas dan bawah batubara dan kesamaan tebal batubara

Untuk memisahkan menjadi fraksi kaya goyangan maseral digunakan 25-35 g dari masing-masing material selang tebal (atas dasar *coning* dan *quartering*), yaitu untuk BP-2 (3 selang tebal) dan BP-5 (2 selang tebal). Untuk mewakili tebal satu lapisan, percontoh selang tebal (-100 mesh) untuk semua kode bor atau lokasi dicampur sehomogen mungkin. Dari percontoh campuran ini diambil 25-35 g untuk pemisahan fraksi dan sisanya untuk diabukan. Jenis percontoh untuk tiap Bor Penelitian (kode BP) terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Penyebaran titik bor pemercontohan

KODE PERCONTOH DARI LUBANG BOR	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5
PERCONTOH UNTUK ANALIS ABU					
PERCONTOH UNTUK ANALIS FRAKSI KAYA MINERAL					
TANDA BATUAN	 B.PASIR	 B.LANAU	 B.LUMPUR		
KETINGGIAN (DARI ML.) PUNCAK LAPISAN	- 0,652	-29,800	- 66,08	- 30,74	-83,45
% ABU (odb) PENELITIAN INI (LAB.TA - ITB)	5,88	4,46	5,87	2,20	6,06
TEBAL SEBENARNYA (M)	1,35	2,20	2,35	2,30	2,15
KEDALAMAN PUNCAK LAPISAN (M)	42,20	60,80	109,50	55,74	110,02

Gambar 3 Jenis percontoh untuk tiap bor penelitian

Percontoh untuk analisis kimia pada abu digerus sampai -200 mesh, 50 g diabukan pada suhu 850°C sampai berat material abu dalam tungku pembakaran (*furnace*) menjadi konstan (bervariasi 5-24 jam). Pemisahan batubara menjadi fraksi kaya golongan maseral memakai prosedur *sink and float* dengan menggunakan larutan tetrakhlortilien (TCE) sebagai media pemisahan. Rapat massa larutan yang digunakan adalah 1,25 g/cc, 1,35 g/cc, dan 1,45 g/cc.

Kelimpahan unsur jejak As ditentukan dengan metode kromatografi (dengan tabung Gutzeit), untuk Mo dan V digunakan kolorimetri, dan untuk unsur lainnya digunakan alat AAS PU Unicam 9000. Kelimpahan unsur jejak pada fraksi kaya golongan maseral menggunakan metode fotometri emisi nyala (Na, K), spektrofotometri (Fe, Si, Mn, dan Al), dan titrasi (Ca, Mg, Cu, dan Ni). Filtrat untuk analisis kimia itu diperoleh dari pelarutan 1 g percontoh tiap fraksi dengan aqua regia 50 cc, dan dengan HCl. Residu yang tersaring oleh kertas penapis merupakan komponen organik batubara. Metodologi penelitian digambarkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Metodologi Penelitian

Percontoh keseluruhan Inti Bor	Percontoh keseluruhan dan selang ketebalan (rinci)			
1. Penggerusan sampai -200 mesh	1. Penggerusan sampai -100 mesh			
2. Pengabuan suhu tinggi	2. Pemisahan Golongan Maseral			
3. Kandungan unsur (AAS, Kolorimetri)	Fraksi I < 1,25 (g/cc)	Fraksi II 1,25-1,35 (g/cc)	Fraksi III 1,35-1,45 (g/cc)	Fraksi IV > 1,45 (g/cc)
	3. Pelarutan dengan asam			
	Filtrat		Residu	
	4. Kandungan unsur (Spektrofotometri)			
Analisis Hasil Data (Statistik)				

3 Geologi

Lapisan batubara dalam penelitian ini merupakan salah satu lapisan dalam urutan lapisan berbatubara (*coal measure*) dalam Formasi Balikpapan berumur Miosen Tengah-Atas yang terdapat di cekungan Kutei (Gambar 1). Jurus lapisan batubara dalam penelitian ini mengarah ke utara-timurlaut dengan kemiringan 21-25° ke barat. Pada cekungan ini terdapat lipatan antiklinal yang rapat, mengarah hampir sejajar garis-pantai Kalimantan Timur dan membentuk antiklinorium sebar

hampir 50 km (Antiklinorium Samarinda). Lipatan-lipatan di cekungan Kutei umumnya berarah utara-timurlaut, kecuali di Semenanjung Mangkalihat yang berarah timur-barat.

Lokasi percontoh batubara diperoleh dari sejumlah pemboran dalam yang tersebar memanjang baratdaya ke utara-timurlaut (lihat Gambar 2). Pada umumnya litotip batubara yang tampak pada semua lokasi berupa batubara kusam atau serpih batubaraan di bagian teratas dan terbawah dari tebal batubara, di bagian tengah merupakan batubara cerah berpita. Peringkat batubara pada bagian litotip yang cerah berpita termasuk subbitumin dan pada bagian litotip kusam mungkin termasuk lignit.

4 Hasil penelitian

4.1 Pemisahan fraksi

Pemisahan batubara dengan ukuran -100 mesh menjadi fraksi dengan rapat massa bervariasi itu menghasilkan fraksi I, II, dan III. Berat fraksi I ternyata jauh lebih sedikit daripada fraksi II. Karena komponen batubara di Kalimantan Timur khususnya dan di Indonesia pada umumnya dominan terdiri dari huminit (Ilyas S., 1997), maka:

- 1 Fraksi I dengan rapat massa 1,25-1,35 g/cc mungkin sekali terdiri dari sedikit huminit/vitrinit dan banyak liptinit/eksinit (kisar rapat massa vitrinit adalah 1,26-1,42 g/cc, Karas, et al., 1985).
- 2 Fraksi II dengan rapat massa 1,35-1,45 g/cc mungkin sekali terdiri dari banyak huminit/vitrinit dan sedikit inertinit.

- 3 Fraksi III dengan rapat massa lebih besar dari 1,45 g/cc mungkin sekali terdiri dari banyak inertinit (semifusinit) dan mineral

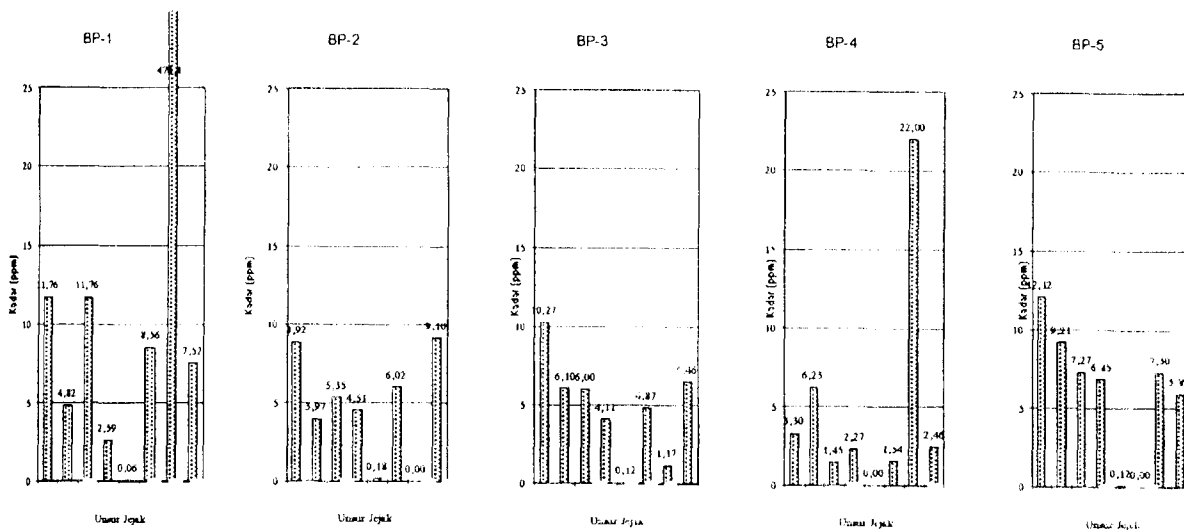
Pada pemisahan dengan cara *sink and float* ini tidak diperoleh fraksi dengan rapat massa < 1,25 g/cc, mungkin karena fraksi kaya liptinit/eksinit itu tenggelam masuk ke fraksi I.

4.2 Kelimpahan unsur jejak

Kelimpahan unsur dari analisis abu batubara ditransversikan ke kelimpahan dalam batubara memakai faktor % abu (selanjutnya nilai ini disebut L_1). Kelimpahan unsur dalam fraksi kaya maseral dikonversikan ke kelimpahan dalam batubara memakai perataan berbobot masing-masing berat fraksi yang diperoleh dari prosedur *sink and float* (selanjutnya nilai ini disebut L_2). Nilai kelimpahan unsur untuk L_1 dan pada fraksi (sebelum diolah menjadi nilai L_2) dapat dilihat pada Tabel 2.

Kelimpahan unsur yang dihasilkan dari prosedur pelarutan unsur pada fraksi kaya golongan maseral berbeda besarnya dengan hasil analisis pada abu. Nilai ppm pada L_1 menggambarkan total kandungan satu jenis unsur yang terdapat di dalam batubara, baik sebagai mineral yang terserap pada butir lempung, atau pada koloid bahan organik selama diagenesis, serta sebagai logam organik maupun bahan tanaman. Nilai L_2 lebih mencerminkan unsur dalam bentuk mineral (klastik dan autigenik) dan terserap pada butir mineral atau bahan lempung.

Nisbah L_1/L_2 yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3. Terlihat bahwa nilai L_1/L_2 untuk unsur dalam tabel ini lebih besar dari 1, menunjukkan adanya ikatan unsur ke molekul organik.



Gambar 4 Kelimpahan unsur diurut menurut atinitas organik yang menurun

Tabel 2 Kandungan unsur Jejak (ppm) pada percontoh satu lapisan batubara dari Kalimantan Timur

Percontoh	Ba	V	Ni	Cr	Co	Mo	Cu	Sn	Zn	Si	Al	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Pb	Ag	Sr	Cd	As	
1	Via abu BP-1	2,32	11,76	4,82	11,76	2,59	0,06	8,56	470,4	7,52	-	1287,2	148,12	911,40	1470	33,28	1058,4	993,72	14,86	0,35	33,69	0,30	0,44
	Fraksi I																						
	Fraksi II	-	-	2,00	-	-	-	3,20	-	-	5,43	3,60	132x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁵	135	k.s	10,25	0,16					
	Fraksi III	-	-	2,18	-	-	-	2,81	-	-	2,60	3,95	2,17	7,96	238,0	0,00	9,00	3,66					
2	Via abu BP-2	1,38	8,92	3,97	5,35	4,51	0,18	6,02	0,00	9,10	-	62,50	202	413,84	2408,4	17,53	269,47	535,2	15,16	0,04	50,67	0,21	1,34
a	Fraksi I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fraksi II	-	-	0,00	-	-	-	0,24	-	-	0,00	0,00	0,00	6,95	1,95	20,00	3,75	0,53					
	Fraksi III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b	Fraksi I	-	-	0,33	-	-	-	0,89	-	-	0,00	3,61	0,00	13,03	131,3	81,88	5,10	0,60					
	Fraksi II	-	-	2,40	-	-	-	0,44	-	-	0,00	0,00	112	0,00	110	0,00	5,00	0,37					
	Fraksi III	-	-	4,10	-	-	-	0,73	-	-	0,00	3,680	0,00	0,00	262,30	0,00	7,25	0,91					
c	Fraksi I	-	-	0,00	-	-	-	0,20	-	-	0,00	0,00	0,00	12,20	1,00	27,50	2,50	0,88					
	Fraksi II	-	-	3,30	-	-	-	0,44	-	-	0,00	0,11	0,11	0,00	95,0	0,00	4,50	0,11					
	Fraksi III	-	-	k.s	-	-	-	2,80	-	-	20,19	8,20	8,20	13,90	430,9	44,40	13,3	8,00					
3	Via abu BP-3	2,82	10,27	6,10	6,00	4,11	0,12	4,87	1,17	6,46	-	119,10	185	458,40	1937,1	13,27	1449,9	780,7	8,92	0,00	64,60	0,29	0,29
4	Via abu BP-4	1,41	3,30	6,23	1,45	2,27	0,00	1,54	22,00	2,46	-	24,99	244,90	313,37	1320	12,56	719,4	44,0	1,67	0,00	65,41	0,21	0,77
	Fraksi I	-	-	0,00	-	-	-	0,96	-	-	17,33	7,39	11,58	0,65	248,00	50,00	8054	21,84					
	Fraksi II	-	-	3,97	-	-	-	1,08	-	-	0,00	0,00	0,00	192,50	0,00	10,50	0,28						
	Fraksi III	-	-	0,00	-	-	-	3,40	-	-	10,94	10,94	40,10	6,80	564,50	47,50	11,45	5,05					
5	Via abu BP-5	3,21	12,12	9,21	7,27	6,85	0,12	7,30	0,00	5,89	-	90,9	317,97	557,04	2787,6	39,88	2339,6	469,90	5,09	0,00	64,17	0,14	1,52
a	Fraksi I	-	-	11,61	-	-	-	4,07	-	-	0,00	9,67	8,58	6,99	2,21	0,00	6,76	0,10					
	Fraksi II	-	-	6,30	-	-	-	2,75	-	-	22,95	5,03	15,93	6,08	105,64	16,54	17,89	1,50					
	Fraksi III	-	-	4,10	-	-	-	0,82	-	-	2,59	4,10	13,03	k.s	332,0	34,00	7,20	1,46					
b	Fraksi I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fraksi II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fraksi III	-	-	0,00	-	-	-	1,42	-	-	11,00	2,21	3,62	0,43	92,50	54,00	6,00	0,07					

Keterangan
 a. Percontoh bagian atas tebal lapisan
 b. Percontoh bagian tengah tebal lapisan
 a. Percontoh bagian bawah tebal lapisan
 (-) Tidak dilakukan analisis kimia
 k.s Kecil sekali

4.3 Petunjuk adanya afinitas organik

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tentang afinitas organik sebelumnya (Zubovic, et al., 1961 dalam Bouska, 1981), kecenderungan nilai kelimpahan (ppm) unsur-unsur diurut menurut afinitas organik yang menurun (Gambar 4). Secara kuantitatif hal ini didasarkan pada nilai koefisien korelasi Spearman (r) dengan cara mengkorelasikan nilai kelimpahan unsur (ppm) pada 5 percontoh dengan afinitas organik sebagai satu variabel yang diberi angka urut (Tabel 4).

Tabel 3 Nisbah nilai (ppm) kelimpahan unsur batubara (L_1/L_2) dari analisis pada abu terhadap Lahan fraksi kaya golongan Maserat

Percontoh	Unsur								
	Al	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Ni	Cu
1. BP-1	336	115	194	8	>>>	182	442	2,3	2,9
2. BP-2	176	5	133	32	1,8	58	991	2,3	15
3. BP-4	17	63	475	6	1,5	69	15	48	1,2
4. BP-5	19	22	108	24	2	151	382	3,5	2,8

Keterangan: Pada BP-3 tidak dilakukan pemisahan menjadi fraksi

Tabel 4 Matriks korelasi antara nilai pada percontoh dengan Derajat Afinitas Unsur (diolah dengan paket program Microstat)

Afin-Org	BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	
Afin-Org	1.00000					
BP-1	-.29196	1.00000				
BP-2	-.01260	.76438	1.00000			
BP-3	-.51044	.81323	.85716	1.00000		
BP-4	-.52311	.13958	.28321	.56815	1.00000	
BP-5	-.62664	.70505	.69817	.93236	.67928	1.00000

CRITICAL VALUE (1-TAIL, .05) = + Or -.67649
 CRITICAL VALUE (2-TAIL, .05) = +/- .75315
 N = 7

Dari matriks koefisien korelasi tersebut dapat dilihat

- 1 Yang terbaik yang menunjukkan afinitas organik menurun adalah kelimpahan jenis unsur yang dikandung oleh percontoh BP-5 ($r = -0,62$). Yang termasuk cukup baik adalah yang dikandung dalam percontoh BP-4 ($r = -0,52$) dan BP-3 ($r = -0,51$), sedangkan kelimpahan unsur dalam BP-1 dan BP-2 tidak sesuai dengan perilaku afinitas organik.
- 2 Koefisien korelasi antar percontoh termasuk baik sampai sangat baik ($r = 0,56-0,93$), kecuali antara BP-4 dengan BP-1 ($r = 0,14$) dan BP-2 ($r = 0,28$). Kelimpahan jenis unsur dapat dikatakan sama untuk semua percontoh, kecuali yang ada dalam BP-4.

5 Pembahasan

5.1 Kelimpahan unsur jejak

Dari 21 jenis unsur yang diteliti melalui analisis abu, kelimpahan unsur yang mencolok (intra variasi kelimpahan) terlihat untuk Sn, yaitu 1,17-470,00 ppm (koefisien variasi = 2,12, kesalahan *mean standard* = 93,00), dan Fe sebesar 1470-2788 ppm (koefisien variasi = 0,31, kesalahan *mean standard* = 276,9).

Unsur Sn dapat berasal dari bahan anorganik seperti mineral sphene, biotit dalam batuan pegmatit (Pareek & Banani, 1985), dan dapat berasosiasi dalam bahan organik (Bouska, 1981). Asosiasi Sn yang erat ($r = 0,79$) hanya dengan Cr, sedangkan dengan lainnya termasuk lemah serta berlawanan, sehingga Sn tidak berhubungan kuat dengan sifat afinitas organik. Sebaliknya, Sn dengan kelompok Al, K, dan Mg mempunyai hubungan cukup kuat sampai kuat sekali ($r = 0,63-0,99$). Kedua hal ini menunjukkan bahwa Sn berasal dari bahan mineral detritus, sebagai Sn-oksida (kasiterit).

Kelimpahan unsur Fe di daerah penelitian tergolong rendah dibandingkan dengan data daerah lain. Koefisien korelasi Fe terhadap abu termasuk rendah ($r = 0,49$) sehingga mungkin Fe bukan berasal dari bahan mineral. Nilai korelasi Fe dengan unsur berafinitas organik searah ($r =$ positif) dan relatif tinggi dengan Co ($r = 0,97$) dan Mo ($r = 0,80$), sehingga memperkuat dugaan bahwa Fe dapat berasal dari bahan organik.

Unsur Ba mempunyai nilai kelimpahan yang termasuk rendah (1,41-3,21 ppm), tetapi masih mendekati nilai minimum dalam selang nilai (1,5-300,0 ppm) pada lapisan batubara di New South Wales (Ward, C.R, 1984). Asosiasi Ba dengan unsur kelompok berafinitas organik (V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, dan Zn) searah dan termasuk cukup erat dengan V, Ni, Co ($r = 0,49-0,74$), dan termasuk sedang dengan Cu dan Cr ($r = 0,51-0,62$). Asosiasi dengan kelompok unsur Al, Ca, Mg, Na, K, Fe (pembentuk berbagai mineral lempung) tidak kuat ($r = 0,12-0,47$), kecuali dengan Na ($r = 0,94$). Analisis data lain untuk mendukung bahwa Ba bukan berasal dari mineral ialah dari segi substitusi Ba terhadap K. Apabila unsur Ba (radius ion = 1,44Å) mempunyai daya substitusi besar terhadap K (radius ion 1,46Å) dari felspar, maka seharusnya ada hubungan erat antara Ba dengan K pada saat mineral felspar terakumulasi pada gambut, atau sesudah teralterasi menjadi mineral lempung. Adanya Fe karbonat (siderit, terlihat visual pada tiap percontoh batuan atap batubara) menunjukkan bahwa lingkungan akumulasi gambut yang terpendam oleh batuan atap batubara adalah reduksi. Apabila lingkungan ini memungkinkan Ba terdapat sebagai karbonat, maka koefisien korelasinya dengan Fe akan kuat, tetapi data menunjukkan $r = 0,43$ sehingga kemungkinannya kecil.

Perilaku Mn (karbonat) serupa dengan Fe (karbonat) sehingga kalau Mn diketahui terdapat dalam bentuk karbonat (Pareek & Banani, 1985), maka seharusnya koefisien korelasi antara Fe-Mn-Ba sedang sampai kuat.

Koefisien korelasi yang cukup kuat ($r = 0,60$) hanya antara Mn-Ba, sedangkan antara Fe-Mn ($r = 0,43$) dan Fe-Ba $r = 0,43$ termasuk lemah. Sebaliknya nilai r antara Mn-V = 0,71, Mn-Cr = 0,70, Mn-Ce = 0,52, dan Mn-Ni = 0,50, suatu kecenderungan bahwa Mn lebih banyak terikat pada molekul organik. Hubungan yang kuat antara Mn, Fe, serta Ba dengan unsur jejak yang telah diketahui berafinitas organik menunjukkan bahwa unsur-unsur tadi lebih banyak berasal dari bahan organik daripada sebagai bahan mineral.

Dari nilai kelimpahan mencolok tinggi pada unsur Sn dan mencolok rendah pada Ba, maka Ba dapat dimasukkan dalam kelompok unsur yang dapat dipakai untuk mengidentifikasi lapisan batubara, yaitu bersama-sama dengan V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, Zn, Pb, Sr, Cd, As, dan Mo. Sebaliknya, Sn pada percontohan daerah penelitian kurang baik untuk identifikasi lapisan, karena yang mencolok tinggi (470 ppm) hanya terdapat pada satu percontohan dan ada dua percontohan yang mempunyai nilai kelimpahan 0 ppm.

5.2 Kelimpahan unsur fraksi kaya golongan maseral

Urutan kelimpahan hasil analisis kimia pada abu dan fraksi kaya golongan maseral menunjukkan kecenderungan sama seperti urutan pada bahan organik maupun partikel lempung seperti terlihat pada Gambar 5.

Unsur	Kisaran Kelimpahan (ppm)
Na	4,6 15,5
Na (Abu)	719 2339
K	0,54 2,84
K (Abu)	44 994
Mg	0,66 5,66
Mg (Abu)	313 311
Ca	1,3 38,2
Ca (Abu)	911 318
Al	0,35 5,2
Al (Abu)	25 1288

Gambar 5 Diagram nilai kelimpahan (skala relatif) unsur berdasarkan kapasitas tukar ion yang menurun

Kemiripan urutan nilai kelimpahan unsur seperti di atas menunjukkan bahwa unsur-unsur pada percontohan terserap pada bahan organik maupun bahan lempung (mineral). Penyerapan pada bahan koloid organik tampaknya jauh lebih kuat daripada daya ikat pada butir lempung, sehingga unsur pada bahan organik tidak larut oleh asam pada prosedur analisis kimia percontohan. Akibatnya, proporsi kelimpahan unsur di atas yang ada pada abu lebih besar daripada yang ada dalam fraksi kaya maseral.

5.3 Identifikasi lapisan

Identifikasi lapisan batubara di daerah penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan data unsur jejak pada abu batubara. Dari 21 unsur yang dianalisis, yang dapat memperlihatkan parameter unik untuk identifikasi lapisan adalah 12 unsur yang tergolong mempunyai

afinitas organik jelas, yaitu V, Ni, Cr, Co, Mo, Cu, Zn, Ba, Pb, Sr, Cd, dan As.

Dari 12 unsur yang dianalisis secara *principal component* dapat diketahui unsur yang menyebabkan variasi antara nilai yang menyebabkan analisis dapat lebih efisien. Dalam analisis *principal component* ini (menggunakan paket program MINROSTAT dan STAT dari Microsoft), data yang digunakan adalah 5 (percontohan BF-1, 2, 3, 4, dan 5).

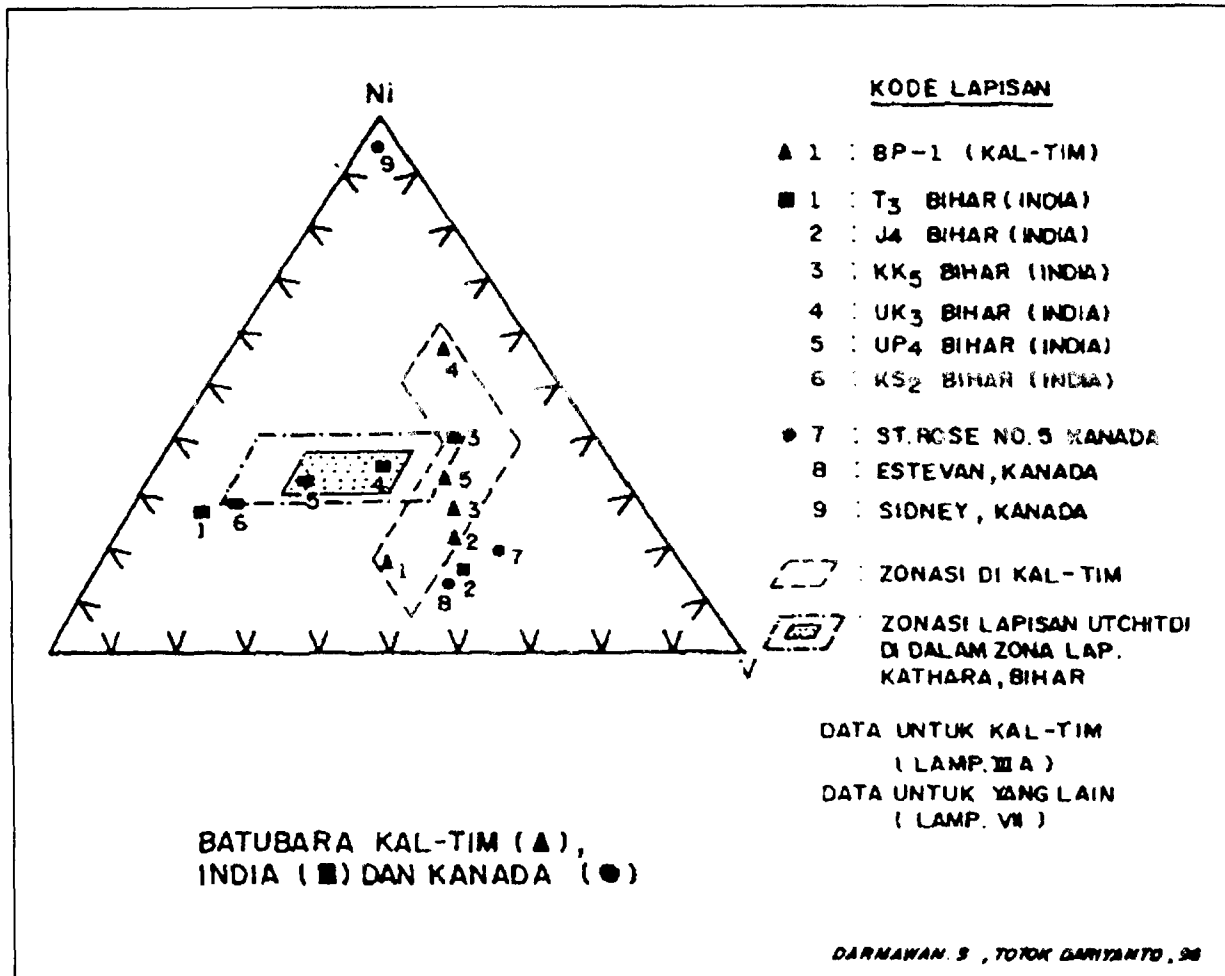
Untuk identifikasi lapisan digunakan DIAGRAM TURNER setelah dicoba-bandingkan dengan data lapisan lain (yaitu lapisan batubara India). Penggunaan parameter Sr-Co-Ni dalam kelompok eigen-vektor 1 yang mempunyai eigen value terbesar tidak dapat nilai ppm-nya dalam diagram Turner ternyata tak membedakan lapisan dari daerah Bihar, India (Paroek, dan Banari, 1985) dan Kanada (Beaton et al, 1993); demikian juga parameter Pb-V-Cr, Cr-Ni-V, maupun Sr-Pb-Ni-Co-Cr-V. Parameter unik yang dapat dengan lebih baik mengelompokkan nilai parameter percontohan lapisan batubara daerah penelitian, sambil juga dapat membuat perbedaan dengan nilai parameter untuk lapisan daerah lain, adalah unsur Ni, V, dan Cr (Gambar 5).

5.4 Lingkungan geokimia, mineral dan maseral

Daerah penelitian mencakup bagian dan tempat deposisi di lingkungan paralik selama Miosen Tengah-Pliosen (Samudri, Luki & Muchsin, 1975). Progradasi endapan fase susut-laut berlanjut dan Miosen Akhir-Pliosen ke arah timur (Selat Makasar) akibat adanya masukan bahan terigen dari Tenggian Kuching di sebelah barat. Lapisan batubara daerah penelitian terbentuk di tempat-tempa yang secara fisiografi adalah delta proksimal dan distal (Edwards, 1977 (dikutip oleh Tiernan & Zaina, 1994; dan Hamilton, 1981), sebagai bagian dari deposisi batuan mulai Miosen Akhir yang dinamakan Formasi Balikpapan. Meskipun secara umum deposisi sejat Miosen Akhir ini adalah susut laut, dapat pula terjadi masa genang-laut relatif singkat seperti yang terlihat pada batuan lantai lapisan batubara di daerah penelitian (gejala menghalus ke atas, kecuali di lokasi BP-4). Gejala susut-laut terulang lagi bersamaan atau sesudah gambut terpendam.

Lingkungan geokimia saat terdeposisi batuan lantai (pada mudstone) ditafsirkan mempunyai pH = 8-9 dan Eh = 0,05-0,30 dari adanya siderit pada batuan ini. Bahan terigen yang mengandung ion Fe yang masuk ke daerah delta proksimal atau distal ini tergenang air payau sehingga memungkinan siderit mengendap. Bersama dengan masukan bahan terigen terjadi pula penampukan bahan organik secara lokal dalam jumlah sedikit. Batuan ini mungkin sekali adalah gambut yang tererosi oleh air banjir (*reworked*) dan berasal dari lokasi lain, tertransportasi jarak pendek dan kemudian terbenam dalam mas lumpur di lokasi penelitian seperti terlihat dari lempung lempung terpisah batubara pada mudstone.

Humif
berlan
mikro
adany
tumpu
(Teic
humif
denga
yang
masuk
diager
Pada
humif
ke ra
kedua
terlan
Bersa
gambu
terjadi
menja
Humif
larutan
netral



Gambar 6 Diagram terner Ni, Cr, dan V (ppm) batubara Kaltim, India, dan Kanada

Humifikasi sebagai awal proses penggabungan berlangsung pada tumpukan bahan kayu oleh aktivitas mikrobial, dan oksidasi lemah yang dipercepat oleh adanya oksigen, muka airtanah menurun, dan muka tumpukan bahan kayu lebih tinggi daripada muka air (Teichmüller & Teichmüller, 1982). Di samping asam humik dan humin, proses ini akan menghasilkan humat dengan kation Ca, Na, K yang terdapat dalam air laut yang masuk ke rawa paralik. Sulfat dalam air laut yang masuk ke rawa dapat mengendap sebagai gips pra-diagenesis.

Pada kondisi gelifikasi biokimia sebagai lanjutan humifikasi, bahan aluminosilikat asal terigen yang masuk ke rawa dapat menghasilkan kuarsa, dan kaolinit, keduanya pra-diagenesis yang dimungkinkan apabila Si terlarut makin berkurang.

Bersamaan dengan pемendaman sedimen di atas gambut, masukan terigen intensif lagi dan deposisi terjadi pada susut-laut, lingkungan geokimia berubah lagi menjadi oksidasi akibat penirisan yang lancar. Humifikasi dapat terhenti selama diagenesis, sehingga larutan dalam masa gel kehilangan sifat asam menjadi netral atau alkalin. Pada lingkungan alkalin dan oksidasi

pada bahan organik yang terpendam akan terendapkan siderit, kalsit, Mn-karbonat (selama diagenesis), pirit, dan juga mineral lempung illit/smektit selama diagenesis (seperti yang terlihat pada koefisien korelasi cukup kuat sampai kuat antara K-Si, K-Al, K-Mg, sangat kuat antara Na-K dalam fraksi III). Adanya kuarsa dan kalsit terlihat pada koefisien korelasi Si dengan Ca searah kuat pada fraksi I ($r = 0,73$) dan III ($r = 0,80$).

7 Kesimpulan

- 1 Dari 22 unsur yang terdapat pada lapisan batubara tertentu di daerah penelitian, maka unsur jejak *V, Cr, Co, Mo, Zn, Ba, Pb, Sr, Cd, dan As* cenderung berasal dari bahan organik; unsur *Si, Al, Ca, Mg, Fe, Na, K, Ni, Cu, dan Mn* berasal dari bahan organik dan mineral, sedangkan *Sn* hanya dari bahan mineral, sedangkan *Ag* tidak diketahui asalnya.
- 2 Identifikasi lapisan berdasarkan unsur asal organik yang efisien dapat dilakukan dengan parameter unsur Ni-Cr-V.

- 3 Golongan maseral huminit/vitrinit yang terdapat dominan dalam batubara mungkin sekali adalah yang mempunyai rapat massa 1,35-1,43 g/cc. Golongan maseral ini mungkin berasosiasi dengan kuarsa dan kaolinit.
- 4 Golongan maseral yang ada dalam jumlah lebih sedikit adalah inertinit, dan berasosiasi secara lebih pasti dengan siderit, kalsit, dan illit/smektit.
- 5 Mineral-mineral yang ada, dari kehadiran unsumnya dalam lapisan batubara, serta terbentuknya sebelum atau selama pembedaman sedimen adalah sebagai berikut:
 - gips, dari (Ca) ; tahap pradiagenesis
 - kuarsa, Kaolinit, dari (Si-Al); tahap pradiagenesis
 - siderit, Pirit, dari (Fe); tahap diagenesis
 - kalsit, dari (Ca); tahap diagenesis
 - illit/smektit, dari (K-Na-Mg); tahap diagenesis
 - rhodokrosit , dari (Mn); tahap diagenesis.
7. Dorsey, A.E. & O.C. Kopp, Distribution of Elements and Minerals between A Coal and its Overlying Sedimentary Rocks in a Limnic Environment, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 5, Elsevier Science Publishing Co., h. 262-274 (1985).
8. Ilyas S., Potensi Batubara Wahau dan Sekitarnya, Kabupaten Kutai, Propinsi Kalimantan Timur, kolokium No.13, Direktorat Sumberdaya Mineral, h. 14-1 s/d 14-17 (1997).
9. Karas, J., et.al., Comparison of Physical and Chemical Properties of Maceral Groups Separated by Density Gradient Centrifugation, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 5, Elsevier Science Publishing Co., h. 315-338 (1985).
10. Pareek, H.S. & Banani Bardhan, Trace Elements and Their Variation along Seam Profiles of Certain Coal Seams of Middle and Upper Barakar Formation (Lower Permian) in East Bakaro Coalfield, District Hazaribagh, Bihar, India, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 5, Elsevier Science Publishing Co., h. 281-314 (1985).
11. Beaton, A.P., Kaikreuth, W. & MacNeil D., The Geology, Petrology, and Geochemistry of Coal Seams from St. Rose and Chimney Corner Coalfields, Cape Breton, Nove Scotia, Canada, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 24, h. 47-73 (1993).
12. Samuel, Luki & Muchsin, S., Stratigraphy and Sedimentation in the Kutai Basin, Kalimantan, Proceeding of the 4th Anniversary Convention Indonesian Petroleum Association, June 1975 hal. 27-39.
13. Darman, Herman & Yaldi Zaim, Sedimentologi Endapan Konglomerat Batubara pada Fasies Sungai di Daerah Samarinda, Kalimantan Timur, *Buletin geologi*, Jurusan Geologi ITB, Vol. 24 No.1/2, 94, h. 27-42 (1994).
14. Hamilton, W., Cenozoic Strata of the South East Kalimantan, dalam *The tectonic of the indonesian region*, United States Geological Survey, h. 96-97 (1979).
15. Teichmuller, M. & Teichmuller, R. Diagenesis of Peat and Coalification and Origin of Macerals, dalam *Textbook of coal petrology*, Borntrater, Stuttgart, h. 30-46 & 220-228 (1982).

8 Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LP-ITB yang mendanai penelitian SPP/DPP 1995/1996 dan para pakar yang mengoreksi isi makalah, serta Syafrizal, ST dan Sontan L. Sihite, ST di Jurusan Teknik Pertambangan ITB.

9 Daftar pustaka

1. Bouska, V., *Geochemistry of Coal*, Coal Science and Technology 1, Elsevier Science Publishing Co., h. 189-216 (1981).
2. Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J. *The Interpretation of Igneous Rock*, George Allen & Unwin London, h. 332-358 (1981).
3. Rollinson, H.R., *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, and Interpretation*, Longman Group, United Kingdom (1995).
4. Abernethy, R.F. & Gibson, F.H. Rare Elements in Coal, Information Circular 8163, Bureau of Mines, United States Department of Interior (1963).
5. Ward, C.R., "Mineral Matter in Coal", dalam *Coal geology and coal technology*, Blackwell Science Publishing, Melbourne, h. 60-66 (1984).
6. Harris, L.A., et.al., Elemental Concentration and their Distribution in Two Bituminous Coals of Different Paleoenvironment, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 1, Elsevier Science Publishing Co., h. 175-193 (1981)