

ISSN 1907-5367

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 No. 2, Agustus 2015



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Geologi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 10	No. 2	Halaman 71 - 140	Bandung Agustus 2015	Terakreditasi LIPI sebagai Majalah Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Identifikasi manifestasi panas bumi, pengukuran temperatur dan pengambilan conto gas pada Fumarola di Kawah Candradimuka, Gunung Lawu (Nurhadi, 2012)

Alamat Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi, Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263,
Website : <http://psdg.bgl.esdm.go.id/>
Email: buletinpsdg@gmail.com





LEMBAGA
ILMU PENGETAHUAN
INDONESIA

**P2
MI**

Panitia
Penilai
Majalah
Ilmiah



SERTIFIKAT

Nomor: 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Akreditasi Majalah Ilmiah

Kutipan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Nomor 335/E/2015 Tanggal 15 April 2015

Nama Majalah : Buletin Sumber Daya Geologi

ISSN : 1907-5367

Redaksi : Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM,
Jl. Soekarno-Hatta No. 444 Bandung 40254

Ditetapkan sebagai Majalah Ilmiah

TERAKREDITASI

Akreditasi sebagaimana tersebut di atas berlaku selama 3 (tiga) tahun

Cibinong, 15 April 2015

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Ketua Panitia Penilai Majalah Ilmiah-LIPI

Prof. Dr. Rochadi,
NIP 195007281978031001

Buletin **SUMBER DAYA GEOLOGI** Volume Nomor 2, Agustus 2015 Hal 71 - 140
Pusat Sumber Daya Geologi

buletin SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 No. 2, Agustus 2015



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Badan Geologi
Pusat Sumber Daya Geologi

Alamat Redaksi

Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi, Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263,
Website : <http://psdg.bgl.esdm.go.id/>
Email: buletinpsdg@gmail.com



buletin SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 10 Nomor 2, Agustus 2015 Hal 71 - 140

Pusat Sumber Daya Geologi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 10	No. 2	Halaman 71 - 140	Bandung Agustus 2015	Terakreditasi LIPI sebagai Majalah Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015
--------------------------------	---------	-------	---------------------	-------------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Identifikasi manifestasi panas bumi, pengukuran temperatur dan pengambilan conto gas pada Fumarola di Kawah Candradimuka, Gunung Lawu (Nurhadi, 2012)



LEMBAGA
ILMU PENGETAHUAN
INDONESIA

**P2
MI**

Panitia
Penilai
Majalah
Ilmiah



SERTIFIKAT

Nomor: 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Akreditasi Majalah Ilmiah

Kutipan Keputusan Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Nomor 335/E/2015 Tanggal 15 April 2015

Nama Majalah : Buletin Sumber Daya Geologi
ISSN : 1907-5367
Redaksi : Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM,
Jl. Soekarno-Hatta No. 444 Bandung 40254

Ditetapkan sebagai Majalah Ilmiah

TERAKREDITASI

Akreditasi sebagaimana tersebut di atas berlaku selama 3 (tiga) tahun

Cibinong, 15 April 2015

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Ketua Panitia Penilai Majalah Ilmiah-LIPI

Prof. Dr. Rochadi,

NIP 195007281978031001₄

Terakreditasi sebagai Majalah Berkala Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan Makalah berkala ilmiah terakreditasi LIPI bidang geologi, geofisika, geokimia, pertambangan dan bidang ilmu kebumihan lainnya yang terkait. Makalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

DEWAN REDAKSI

Penasihat	Kepala Pusat Sumber Daya Geologi
Penanggungjawab	Kepala Bidang Informasi
Editor	Ir. Prima Muharam Hilman, M.Sc (<i>Remote Sensing/GIS</i>) Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi (<i>Mineralogi</i>) Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si (<i>Mineral Bukan Logam</i>) Ir. Sabtanto Joko Suprpto, MT (<i>Geologi/Geokimia</i>) Edi Suhanto, S.Si, MT (<i>Panas Bumi</i>) Ir. Kusdarto (<i>Mineral Bukan Logam</i>) Ir. Rina Wahyuningsih (<i>Panas Bumi</i>) Ir. Deddy Amarullah (<i>Batubara</i>) Ir. Teuku Ishlah (<i>Mineral Logam</i>) Ir. Bambang Pardiarto (<i>Mineral Logam</i>) Ir. Arif Munandar (<i>Panas Bumi</i>)
Desain Grafis	Candra, ST Eko Suryanto, S.Kom
Sekretariat	Dra. Ella Dewi Laraswati Retno Rahmawati Lestari, S.Si Dwi Asmoro Susanto, A.Md
Mitra Bestari	Prof. Ris. Bhakti Hamonangan, M.Sc (<i>Mineral Logam</i>) Prof. Dr. Ir. Bukin Daulay, M.Sc (<i>Batubara/CBM</i>) Dr. Eng. Suryantini, ST, M.Sc (<i>Panas Bumi</i>) Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc (<i>Geoteknik</i>) Ir. Frank Edwin, MT (<i>Mineral Bukan Logam/Keramik</i>) Dr. Ir. Rukmana NA, M.Sc (<i>Geologi/Geostatistik</i>) Dr. Eng. Imam A. Sadisun (<i>Geologi Teknik</i>)

Alamat sekretariat dan pengiriman naskah

Pusat Sumber Daya Geologi, Bidang Informasi, Gd. A.
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270
Fax : (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Kami bersyukur kepada Yang Kuasa atas penerbitan edisi kedua dari Buletin Sumber Daya Geologi untuk tahun 2015 ke tangan pembaca. Pada edisi kali ini kami hadirkan lima makalah yang memuat topik energi fosil, mineral bukan logam dan panas bumi.

Pada topik energi fosil, kami tampilkan mengenai *non-mineral inorganic* dalam batubara dan pemanfaatan lignit sebagai bahan adsorben pada industri. Tulisan mengenai *non-mineral inorganic* merupakan suatu ulasan mengenai kandungan non-mineral dalam batubara, yang kaitannya dengan keberadaan batubara kalori tinggi di Bukit Asam dan pengaruh batuan intrusi. Pada tulisan kedua dibahas mengenai potensi lignit, bukan sebagai sumber energi, namun untuk bahan adsorben pada industri, suatu kajian menarik yang pada penerbitan-penerbitan terdahulu belum pernah dimuat.

Pada topik mineral, kami menampilkan tulisan mengenai potensi andesit di suatu wilayah Jawa barat, baik dari sisi karakteristik maupun kualitasnya. Sementara itu, pada topik panas bumi, kami hadirkan dua tulisan. Tulisan pertama mengenai pemodelan tiga-dimensi gaya berat dan interpretasi strukturalnya terkait dengan keprospekan panas bumi. Tulisan kedua merupakan kajian geokimia untuk mendeskripsi persamaan dan perbedaan dari dua wilayah prospek yang berdekataan, untuk mendapatkan gambaran sistemik dari keduanya.

Dewan redaksi, pada kesempatan ini, ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pemakalah, editor dan mitra bestari yang telah bekerja keras untuk menghadirkan edisi ini. Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga kami sampaikan kepada semua pihak yang terus menjaga komitmen agar buletin ini terus bisa menyapa para pembaca. Tak henti kami serukan: mari menulis untuk berbagi.

Salam hangat

Dewan Redaksi.

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 71 - 87 **NON-MINERAL INORGANIC CONSTITUENTS OF BUKIT ASAM
COAL NATURE AND MODE OF OCCURRENCE**
*KONDISI ALAM DAN KEBERADAAN KOMPONEN NON-MINERAL INORGANIK DARI
BATUBARA BUKIT ASAM*
Oleh : Rita Susilawati
- 89 - 102 **PEMODELAN GAYA BERAT 3D DAERAH PANAS BUMI DOLOK MARAWA
KABUPATEN SIMALUNGUN, SUMATERA UTARA**
*3D GRAVITY MODELING OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL FIELD IN SIMALUNGUN
REGENCY, NORTH SUMATERA*
Oleh : Asep Sugianto dan Tony Rahadinata
- 103 - 110 **POTENTIAL APPLICATION OF LIGNITE AS ADSORBENTS IN INDUSTRIAL
WASTEWATER TREATMENT: A MINI REVIEW**
*POTENSI PEMANFAATAN LIGNITE SEBAGAI ADSORBEN PADA INDUSTRI
PENGOLAHAN LIMBAH: SEBUAH MINI REVIEW*
Oleh : Galuh Yuliani
- 111 - 127 **PENENTUAN KESAMAAN RESERVOAR SISTEM PANAS BUMI KADIDIA DAN KADIDIA
SELATAN KABUPATEN SIGI, PROVINSI SULAWESI TENGAH BERDASARKAN
METODA GEOKIMIA**
*DETERMINATION OF RESERVOIR SIMILARITY OF KADIDIA AND KADIDIA SELATAN
GEOTHERMAL SYSTEMS BASED ON GEOCHEMICAL METHOD IN SIGI REGENCY,
CENTRAL SULAWESI PROVINCE*
Oleh : Andri Eko Ari Wibowo, Mochamad Nurhadi, Yuanno Rezky, Dudi Hermawan, Dede lim
Setiawan
- 129 - 140 **KARAKTERISTIK DAN KUALITAS POTENSI ANDESIT DI DAERAH KECAMATAN
SOREANG DAN SEKITARNYA, KABUPATEN BANDUNG, PROVINSI JAWA BARAT**
*THE CHARACTERISTICS AND QUALITY OF ANDESITE IN SOREANG DISTRICT,
BANDUNG REGENCY, WEST JAVA PROVINCE*
Oleh : Arif R. Darana, Dicky Muslim

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**NON-MINERAL INORGANIC CONSTITUENTS OF BUKIT ASAM COAL
NATURE AND MODE OF OCCURRENCE****KONDISI ALAMI DAN KEBERADAAN KOMPONEN NON-MINERAL INORGANIK DARI
BATUBARA BUKIT ASAM****Rita Susilawati**

Centre for Geological Resources
Jl. Soekarno-Hatta No. 444 Bandung, Indonesia
Email: wink2proud@gmail.com

ABSTRACT

The nature and mode of occurrence of the non-mineral inorganic fractions in coal from the Bukit Asam coalfield South Sumatra Basin Indonesia were analysed using a combination of selective leaching, low temperature ashing, XRD, XRF and electron microprobe techniques. Geologically the rank of coal at Bukit Asam was influenced by igneous intrusion. Fourteen coal samples were used in this study. Samples are chosen to represent different rank levels as well as seam horizons. The inorganic elements, in the form of dissolved salts, exchangeable ions and organometallic complexes, although present in small proportions, contribute significantly to the mineral matter components of Bukit Asam low rank coal. Electron microprobe analysis showed small but significant concentrations of inorganic elements (Al, Ca and Fe) occurring in the individual macerals in two sub bituminous and two-semi anthracite samples. There is a tendency for some of the elements, particularly Ca and Al to be lost from the organic matter with rank advance. The concentrations of elements indicated by the microprobe are relatively in good agreement with the levels of element mobility indicated by selective leaching of the same whole-coal samples. The results of this study also suggest that non-mineral inorganic was likely act as a precursor for the reactions resulting in the formation of new minerals in the high rank coals at Bukit Asam.

Keywords : non-mineral inorganic, coal, Bukit Asam

SARI

Tulisan ini membahas keberadaan non-mineral inorganic komponen pada batubara Bukit Asam di cekungan Sumatra Selatan. Secara geologi, peringkat batubara Bukit Asam dipengaruhi oleh intrusi batuan beku. Penelitian dilakukan terhadap 14 conto batubara Bukit Asam dengan menggunakan gabungan metoda selective leaching, low temperature ashing, XRF, XRD dan electron microprobe. Conto batubara diambil dari beberapa lapisan dan dipilih untuk mewakili berbagai peringkat batubara yang terdapat di Bukit Asam. Non-mineral inorganic pada batubara Bukit Asam ditemukan dalam bentuk garam terlarut (dissolved salts), ion yang bisa berpindah (exchangeable ions) dan senyawa logam organik (organometallic complexes). Walaupun hadir dalam prosentasi yang kecil, non-mineral inorganic merupakan komponen mineral matter yang cukup signifikan pada batubara sub bituminus yang diteliti. Hasil studi juga menunjukkan keberadaan unsur inorganik (Al, Ca dan Fe) yang berasosiasi dengan komponen organik batubara (maseral). Beberapa unsur terutama Ca dan Al memiliki kecenderungan untuk menghilang dari maseral seiring dengan bertambahnya peringkat batubara. Secara umum hasil studi ini menunjukkan kesesuaian antara hasil analisa microprobe dan selective leaching. Disamping itu hasil studi ini juga mengindikasikan peranan non-mineral inorganic pada pembentukan mineral-mineral baru pada batubara Bukit Asam peringkat tinggi.

Kata kunci : non-mineral inorganic, batubara, Bukit Asam

INTRODUCTION

The mineral matter present in coal is a result of the combination of geological processes that occur during coal formation. The term "mineral matter" covers three types of inorganic material present in coal (Ward, 2002), which are: (i) discrete crystalline mineral particles, (ii) dissolved ions and other inorganic components in the pore water or surface water of the coal, and (iii) inorganic elements combined within the organic compounds of the coal macerals. While crystalline mineral particles make up almost the entire mineral matter in higher rank coals, inorganic elements in the form of dissolved salts, exchangeable ions and organometallic complexes contribute significantly to the mineral matter components and ash formation of lower rank coals (Kiss and King, 1977; Miller and Given, 1978; Benson and Holm, 1985; Ward, 1991, 1992)

Apart from the high rank coal, which occurs locally due to the presence of igneous intrusions, most of the coal at Bukit Asam can be categorized as a low rank coal. The mineral matter of coal at Bukit Asam has been discussed in Susilawati and Ward (2002). This paper focuses on the nature and mode of occurrence of the non-mineral inorganic fractions in the lower rank coals of the Bukit Asam coalfield South Sumatra Basin Indonesia, as indicated by selective leaching tests combined with chemical analysis of the different leachates.

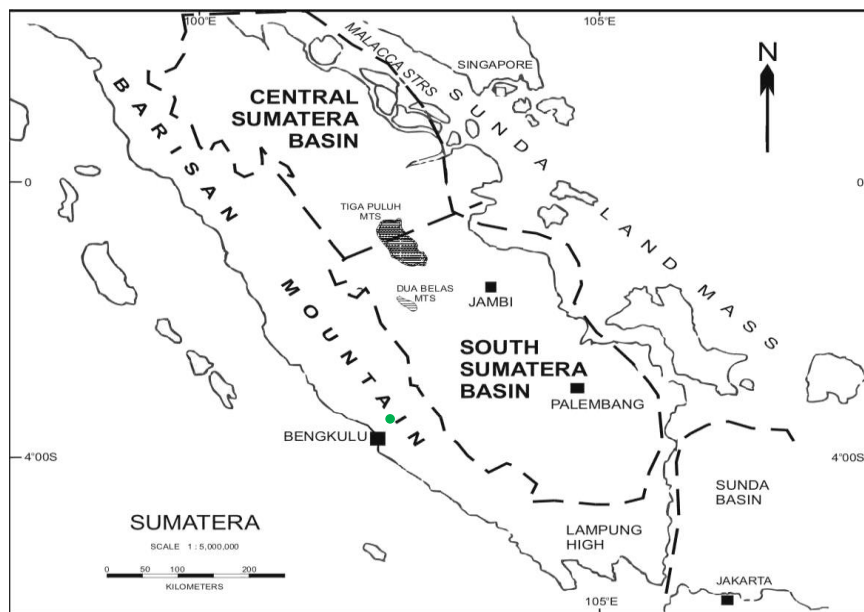
COAL IN BUKIT ASAM AREA

The Bukit Asam coalfield is part of the South Sumatra Basin. This basin is one of several Tertiary coal basins of Indonesia

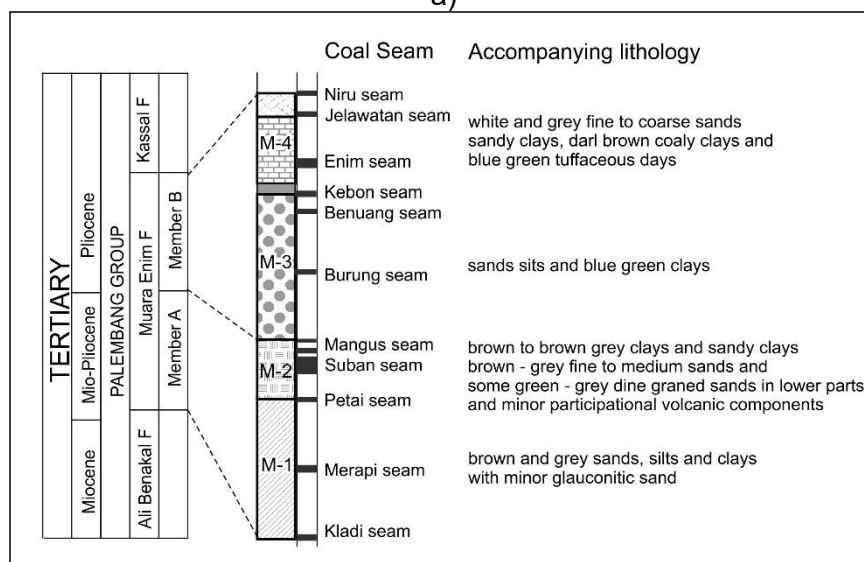
that form a major coal and hydrocarbon producing area situated in South Sumatra Province. The coal geology of the South Sumatra Basin has been discussed in some detail by several authors, such as de Coster (1974), Koesoemadinata (1978), Matasak and Kendarsi (1980) and Hutchison (1996). Authors such as Stalder (1976) and Pujobroto (1997) have discussed the geology of Bukit Asam, with particular emphasis on the occurrence of coal in the area.

Coal at Bukit Asam belongs to Muaraenim formation. The coal is formed in the regressive phase of the Neogene depositional cycle (de Coster, 1974). During deposition of the Muara Enim Formation, the tectonic setting of the South Sumatra Basin produced a quite regular pattern of coal deposition in respect of thickness, ash and split pattern, caused by exceptionally regular subsidence coupled with the right type of climate (Stalder, 1976). Coalification in Muara Enim Formation was controlled much more by burial depth variations, with a geothermal gradient of constant value throughout the basin, than by variations in the value of geothermal gradient (Stalder, 1976). As such, on a regional scale, the coal rank distribution was controlled by the burial variations during the basinal stage (Stalder, 1976). The large gradient encountered in some areas is due to the effect of the igneous intrusions (Stalder, 1976; Susilawati and Ward, 2002). The stratigraphy of coal at Bukit Asam area is appeared in Figure 1.

Three economic coal-bearing intervals are identified in the study area, which are from top to bottom: the Mangus (A seam), the Suban (B seam) and the Petai (C seam). This study will only focus on B and C seams.



a)



b)

Figure 1. Location of the study area: a) Coal sampling (green dot) at Bukit Asam coalfield; b) Coal stratigraphy of Bukit Asam area. Stratigraphy of the coal seam is modified from Amijaya and Littke (2006)

METHODS

Sampling

Fourteen coal samples were used in this study (Table 1). Ten samples were sub-bituminous coal that have been collected from exposures of the open cut mine workings of Air layu pit in the Bukit Asam

different rank levels and different seam horizons. Those samples were examined

coal field and collected on a ply-by-ply basis (Table 1, Figure 2). Those samples were representing part of the vertical section through the B and C seam. Selective leaching analysis was used to investigate the elements occurring in different ways within the non-mineral inorganic fraction in those samples. The other four coals were grab samples (Table 1, Figure 2) and chosen to represent to evaluate the inorganic elements occurring in the individual macerals both in

lower and higher rank coals, using electron microprobe techniques.

Table 1. Coal samples used in this study(For sampling location, see Figure 2)

No	Samples number	Thickness (m)	Rank (Rv max)
Station 4			
1	B1-1	1.5	0.45
2	B3-1	1.2	
3	B4-1	1.1	
4	B5-1	1.3	
5	B6-1	1	
Station 12			
6	C39-1	1	0.49
7	C40-1	1	
8	C41-1	1	
9	C42-1	1	
10	C43-1	1	
Grab samples			
11	Frid 1	na	0.49
12	Frid 3	na	2.3
13	Frid 4	na	0.54
14	Frid 5	na	2.45

Notes: Chemical analysis of samples from station 4 and 12 showed that coals are sub bituminous in rank. Assuming all samples from the same plies have similar rank, reflectance analysis were only done to the first samples from the top of the plies (B1-1 and C39-1).

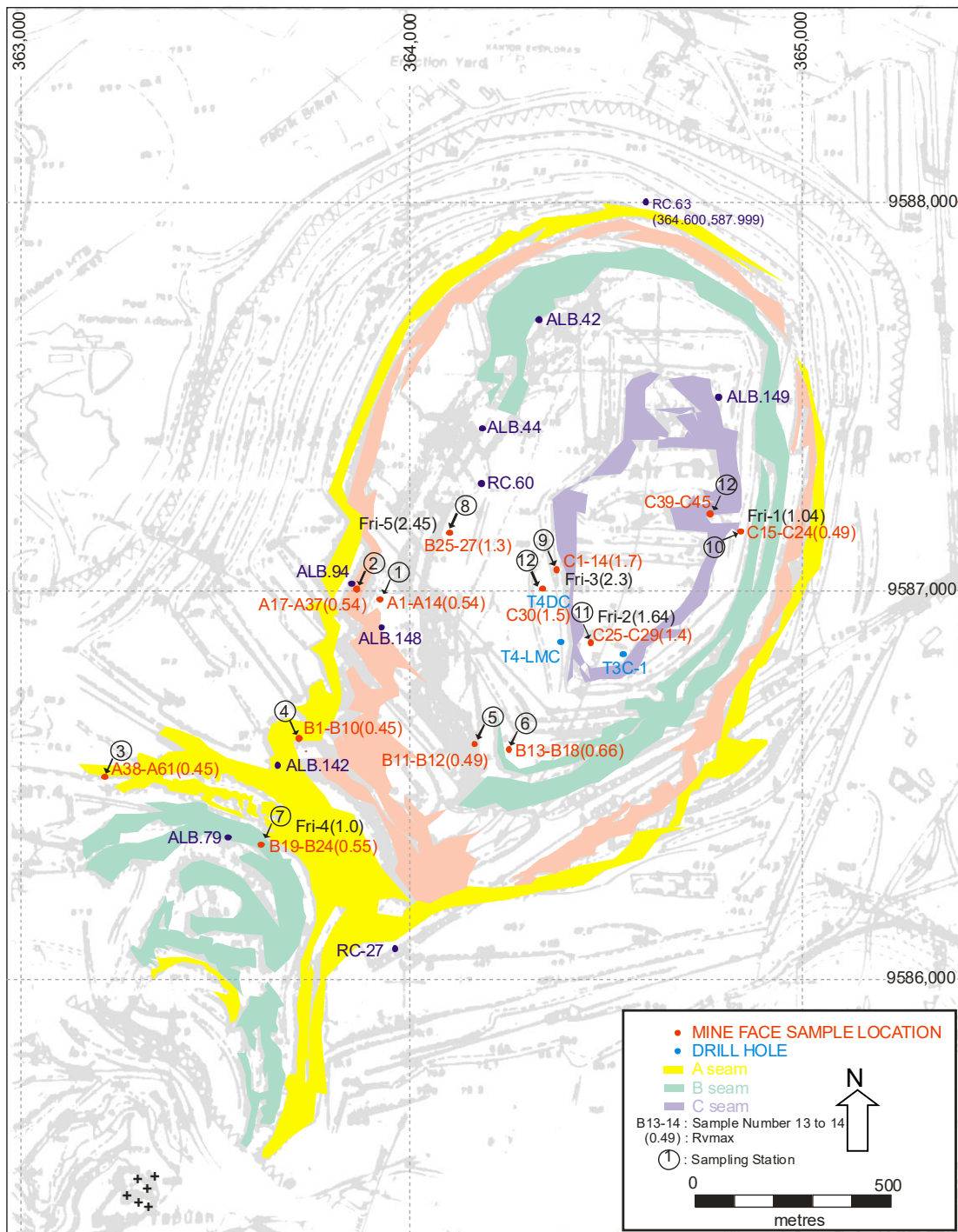


Figure 2. Sampling location at Airlaya pit Bukit Asam coalfield South Sumatra Basin

Analysis

In this study, a selective leaching process was used to investigate the elements occurring in different ways within the non-mineral inorganic fraction. The selective leaching process was based on immersing the coal successively in water, ammonium

acetate and hydrochloric acid (figure 3). Detailed of the analysis procedures can be found in Susilawati (2002). The elements present in the three leachate solutions from each coal sample were analysed using inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometry (ICP-AES), after all of the solutions had been diluted

to a constant volume. The results were processed to determine the total amount of each element leached from each coal sample as a proportion of the total amount

of that element in the same sample, determined by XRF analysis of the raw (untreated) coal.

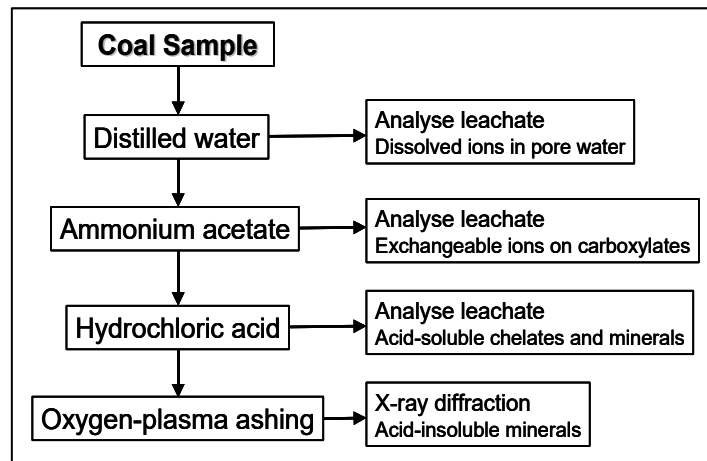


Figure 3. Flow sheet showing selective leaching process

Low temperature oxygen-plasma ashing (LTA), as described in Susilawati and Ward (2002) was used to remove the organic fraction of coal samples in order to facilitate analyses of the minerals associated with the coal. The mineralogy of the residue from each coal sample was then analysed using X-ray diffraction (XRD) methods, while the bulk mineralogy from the resulting diffractograms was quantified using the Rietveld based Siroquant data processing system (Taylor, 1991; Ward et al., 1999).

Chemical analysis of major elements in coal samples was carried out by X-ray fluorescence (XRF) method. Since insufficient ash was available from each coal sample, the fused borosilicate disk techniques (Norrish and Chappell., 1977) could not be used. As such, pressed powder pellets were prepared. Detailed of XRF analysis can be found in Susilawati and Ward (2002).

The elemental composition of the organic components in Bukit Asam coal was analysed using electron microprobe technique following method described in Ward and Gurba (1999). The analysis focused to the variations associated with

rank advance. A total of four coal samples were analysed by this method.

RESULTS AND DISCUSSION

Element Mobility

Six significant elements were released from the samples studied by the combination of water washing, ammonium acetate and hydrochloric acid. The proportions of those elements in the different leachates were recalculated to determine the percentage of each element leached as a fraction of the total that originally present in each coal sample based on raw coal XRF analysis (Table 2 and 3). Although the concentration of mobile elements in Bukit Asam coal is very low, their modes of occurrence can be seen clearly which will be discussed more fully in the explanation below.

Al and Si are the major constituents of the mineral matter in the coals studied, occurring mainly in clay minerals and quartz (Susilawati and Ward, 2002). XRF analysis of the raw coal showed that Al₂O₃ and SiO₂ together account for about 30-50% (Table 2). The analytical results suggest that only a small proportion of the

aluminium in the Bukit Asam coal samples is present in mobile form (Figure 3). This element is almost insoluble in water and ammonium acetate. Small but significant concentrations of aluminium, however are also soluble in hydrochloric acid. Other occurrences of significant acid soluble aluminium have been reported in Victorian

brown coals by Kiss and King (1979), and in Northern Thailand coals by Ward (1991). Si in the Bukit Asam coals was essentially insoluble in all of the leaching solutions with only very small concentration of mobile Si was released from the coals by the different leaching processes (Figure 3)

Table 2. Element concentrations released from coal samples of the B seam treated by different leaching solutions

Sample Code	Major oxide by XRF analysis	Element concentration released from coal treated by different leaching solution (ppm)			Element released from coal treated by different leaching solution (%)			Total Mobile (%)
		Water	Acetate	Acid	Water	Acetate	Acid	
Aluminum								
B1-1	0.68	0.53	0.04	21.82	0.29	0.02	12.13	12.45
B3-1	0.84	0.33	0.03	13.92	0.15	0.02	6.29	6.45
B4-1	0.32	0.52	0.04	16.32	0.61	0.05	19.28	19.94
B5-1	0.69	0.54	0.03	15.24	0.29	0.02	8.3	8.61
B6-1	0.47	0.55	0.03	13.19	0.44	0.02	10.52	10.98
Calcium								
B1-1	0.28	0.64	32.55	26.38	0.65	32.99	26.74	60.37
B3-1	0.23	0.33	31.69	23.67	0.4	38.54	28.79	67.73
B4-1	0.19	1	40.75	26.33	1.45	59.06	38.16	98.67
B5-1	0.25	0.54	30.98	22.93	0.6	34.66	25.66	60.92
B6-1	0.22	1.34	36.7	43.51	1.68	46.03	54.58	102.29
Iron-1								
B1-1	0.07	0.02	Bdl	14.19	0.08	0	56.39	56.47
B3-1	0.09	0.01	Bdl	14.94	0.02	0	49.71	49.73
B4-1	0.07	0.06	Bdl	15.63	0.26	0	66.75	67
B5-1	0.09	0.02	Bdl	21.11	0.06	0	68.64	68.7
B6-1	0.1	0.06	Bdl	19.24	0.17	0	55.05	55.22
Sodium								
B1-1	0.09	16.18	20.89	2.13	50.58	65.3	6.66	122.53
B3-1	0.08	16.57	21.08	2.31	53.03	67.46	7.39	127.88
B4-1	0.07	15.84	15.92	1.77	63.55	63.87	7.1	134.53
B5-1	0.07	16.21	14.62	1.12	61.37	55.35	4.24	120.97
B6-1	0.11	13.75	10.11	1.04	35.2	25.88	2.65	63.74
Magnesium								
B1-1	0.03	0.34	16.98	5.19	3.58	181.67	55.53	240.79
B3-1	0.03	0.31	15.75	5.31	3.48	174.13	58.71	236.31
B4-1	0.04	0.75	19.07	5.87	7.11	158.11	48.67	213.89
B5-1	0.04	0.72	16.64	6.03	6	137.95	50.03	193.98
B6-1	0.08	0.87	18.13	5.82	3.48	72.44	23.25	99.17
Silicon								
B1-1	0.59	0.44	0.13	0.55	0.32	0.09	0.4	0.81
B3-1	0.73	0.28	0.08	0.48	0.17	0.05	0.28	0.5
B4-1	0.35	0.45	0.21	0.54	0.55	0.26	0.66	1.46

B5-1	0.6	0.5	0.19	0.71	0.36	0.14	0.51	1
B6-1	0.36	0.39	0.2	0.13	0.46	0.24	0.15	0.85

Notes: Concentrations released are expressed as percentages of the total element in the dry coal, as indicated in oxide terms by whole coal XRF analysis in the B seam.

Table 3. Element concentrations released from coal samples of the C seam treated by different leaching solutions

Sample Code	Major oxide By XRF analysis	Element concentration in leaching solution (ppm)			Percent of element leached from coal			Total mobile (%)
		Water	Acetate	Acid	Water	Acetate	Acid	
Aluminum								
C39-1	1.27	0.84	Bdl	2.65	0.25	0	0.79	1.04
C40-1	1.36	0	Bdl	1.57	0	0	0.44	0.44
C41-1	0.96	0.07	Bdl	3.23	0	0	1.27	1.27
C42-1	0.74	bdl	Bdl	1.98	0	0	1.01	1.01
C43-1	0.69	0.39	Bdl	4.65	0.21	0	2.53	2.74
Calcium								
C39-1	0.14	0.47	16.85	8.94	0.94	33.66	17.86	52.46
C40-1	0.15	11.15	8.29	3.73	20.52	15.26	6.86	42.64
C41-1	0.18	11.66	5.54	3.94	18.01	8.56	6.09	32.66
C42-1	0.14	6.88	7.64	3.39	13.75	15.26	6.77	35.78
C43-1	0.17	0.69	13.65	8.64	1.15	22.86	14.46	38.47
Iron								
C39-1	0.05	bdl	Bdl	7.68	0	0	46.75	46.75
C40-1	0.17	bdl	Bdl	25.67	0	0	43.71	43.71
C41-1	0.24	1.4	Bdl	40.3	1.64	0	47.25	48.89
C42-1	0.18	bdl	Bdl	23.06	0	0	37.07	37.07
C43-1	0.09	bdl	Bdl	15.12	0	0	50.9	50.9
Sodium								
C39-1	0.05	5.43	5.94	2.55	29.79	32.59	13.99	76.37
C40-1	0.06	8.89	3.52	2.25	40.48	16.04	10.25	66.77
C41-1	0.07	9.13	3.38	2.34	36.63	13.56	9.37	59.56
C42-1	0.07	9.73	4.03	2.25	35.83	14.82	8.29	58.94
C43-1	0.07	8.85	6.58	2.6	33.51	24.91	9.84	68.26
Magnesium								
C39-1	0.02	0.19	5.79	2.02	3.15	96.02	33.42	132.59
C40-1	0.02	4.1	2.21	0.69	71.57	38.58	11.96	122.11
C41-1	0.01	4.21	1.48	0.48	77.58	49.09	15.75	142.42
C42-1	0.01	3.01	2.07	0.58	58.73	40.29	11.26	110.27
C43-1	0.01	0.34	4.87	1.88	7.52	107.57	41.57	156.66
Silicon								
C39-1	1.35	1.2	0.44	0.49	0.38	0.14	0.16	0.68
C40-1	1.59	0.16	0.2	0.57	0.04	0.05	0.15	0.25
C41-1	0.86	0.1	0.1	0.27	0.05	0.05	0.13	0.23
C42-1	0.74	0.04	0.12	0.22	0.03	0.07	0.13	0.22
C43-1	0.65	0.59	0.14	0.4	0.39	0.09	0.26	0.75

Notes: Concentrations released are expressed as percentages of the total element in the dry coal, as indicated in oxide terms by whole coal XRF analysis in the C seam

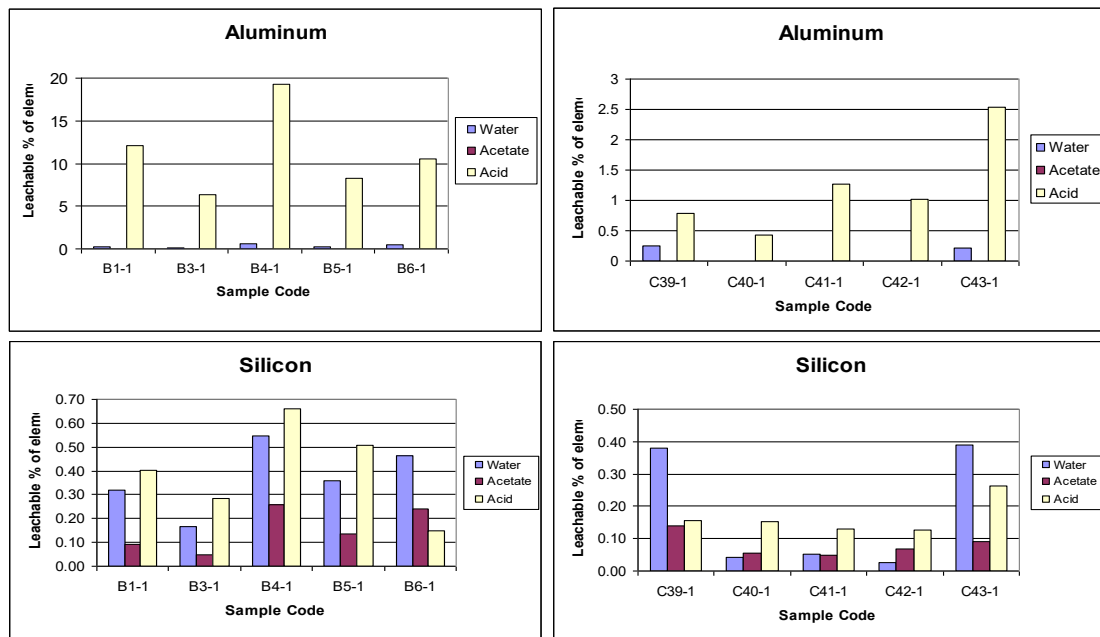


Figure 3. Proportions Al and Si released from the B and C seams by the different leaching processes.

Most of the Ca in the Bukit Asam coals also appears to be mobile (Table 2 and 3). In the B seam, Ca is mostly soluble in acid and exchangeable with the acetate. Only minor proportion of the total Ca present in the coal samples is removed by the water-washing process (Figure 4). For Ca, similar mode of occurrence was observed throughout the vertical section of the B seam while a range of behavior patterns are noticed in the vertical section of the C seam (Figure 4). In general, most of the mobile Ca in the C seam at Bukit Asam is removed by water washing and acetate solution, with only a small proportion was acid-soluble. Ca released into the acetate solution was likely represents material retained mainly in an exchangeable

association with the organic matter, while the acid-soluble Ca may represent material present in carbonate form (Ward, 1992). Nevertheless, ammonium acetate solutions, may also release Ca held in carbonate form (Ward, 1992). In the absence of significant carbonate minerals, acid soluble calcium may be liberated from gypsum as it dehydrates to bassanite on plasma ashing. Ca can also be derived from calcium bound in an acid-soluble chelate form (Ward, 1992). Alternately, it may derived from calcite found in the raw coal mineral matter, or from mineral artifacts that formed from the interaction of organically associated Ca and S during the ashing process.

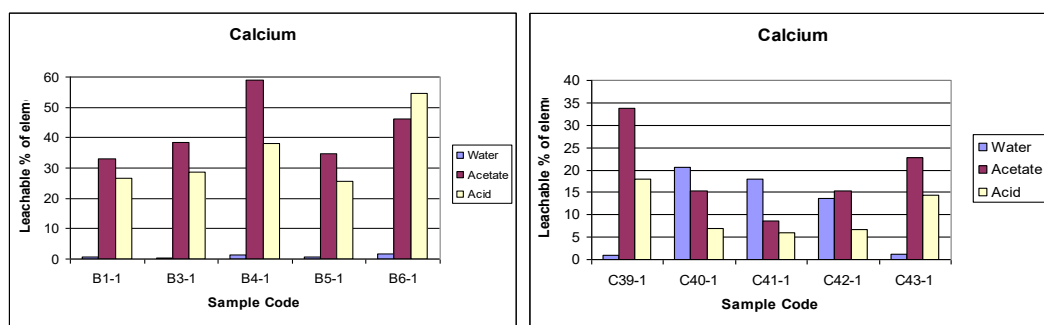


Figure 4. Proportions of Ca released from the B and C seams by the different leaching processes.

Almost all of the mobile Fe observed in this study, occurred in acid-soluble form (Figure 5). A very small amount of Fe was also released from the Bukit Asam coals with water washing. It has been suggested that the increasing mobility of Fe observed in water washing may relate to pyrite oxidation due to exposure during mining or

storage (Ward, 1991), while the mobile Fe liberated by the subsequent acid treatment, without any accompanying S, was likely represents removal of Fe held in organometallic complexes (chelates) within the organic matter (Miller and Given, 1978, Ward (1991).

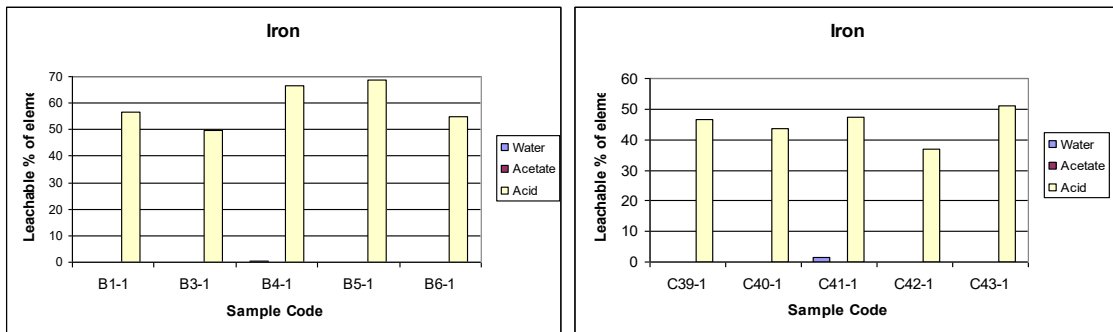


Figure 5. Proportions of Fe released from the B and C seams by the different leaching processes.

Na also appears to be mobile (Figure 6). Water washing and ammonium acetate treatment were found to remove almost all of the Na in the B seam, whereas in the C seam, water washing alone was sufficient to release most of the mobile Na present. The water-soluble sodium is presumably associated with colloidal suspensions of humic material, suggesting the occurrence of organically bound Na (Durie, 1961). In this study, the total quantity of mobile Na

in some samples appeared to be greater than that originally present in the respective raw coal materials indicated by XRF analysis. It was likely that the whole-coal XRF method used in this study, was under-estimated the Na content of the coal samples. However the Na mobility pattern observed in this study is still consistent with the forms of Na mobility indicated by other similar studies (eg. Ward, 1991 and 1992).

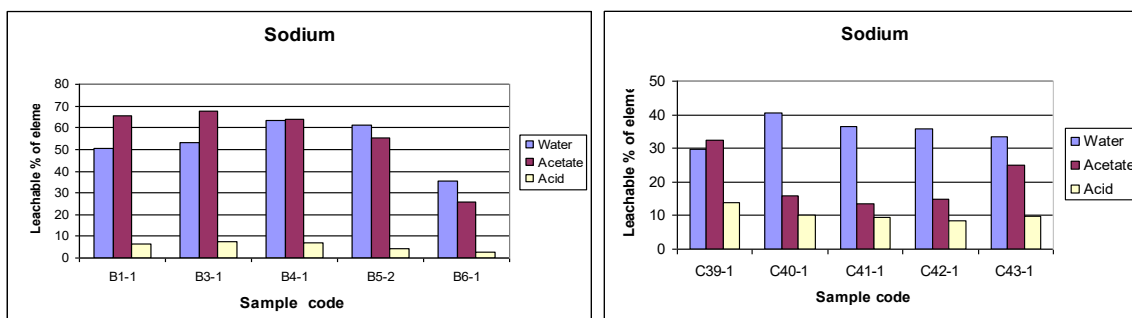


Figure 6. Proportions of Na released from the B and C seams by the different leaching processes.

The total quantity of Mg extracted by different leaching treatment is also higher than that indicated by whole-coal XRF analysis (Table 2 and 3). Despite the probable error involved, the results of the leaching tests still provide useful

information about the mode of occurrence of Mg in the Bukit Asam coals. Most of the mobile Mg in B seam is present as exchangeable ions released by the ammonium acetate solution, with some also being in acid soluble form (Figure 7).

Mg in the B seam is also insoluble in water, with only a very small quantity being released by the water-washing process. In C seam samples, a large proportion of the Mg was released by the ammonium acetate treatment, which

suggests that the Mg is mostly present in ion-exchangeable form. A significant quantity of acid soluble Mg may suggest the occurrence of a Mg-bearing carbonate mineral (Ward, 1992).

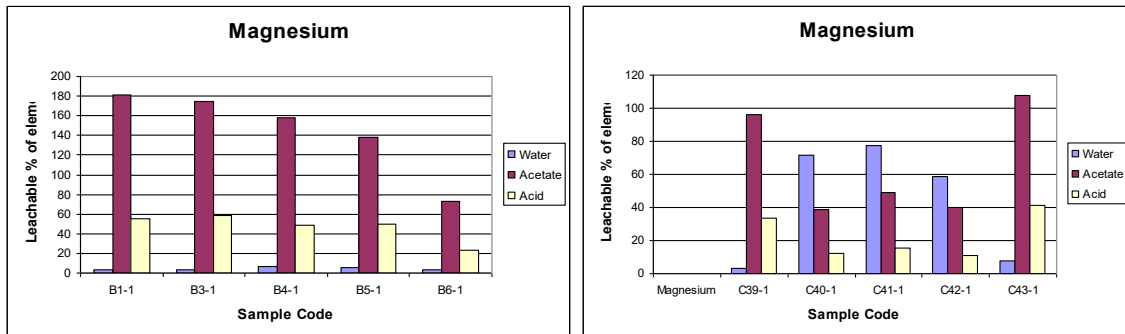


Figure 7. Proportions of Mg released from the B and C seams by the different leaching processes.

MINERALS IN LEACHED COAL RESIDUES

The minerals identified by X-ray diffraction in the LTA of the raw and leached coal samples are summarized in Table 4. Overall, the LTA percentages of the leached coals are slightly lower than those of the equivalent un-leached coal samples. While significant amount of the sulphate minerals (bassanite, coquimbite, hexahydrite, jarosite and alunogen) present in the raw coal LTAs, the LTAs of the leached coals, contain only insignificant proportions of bassanite and coquimbite.

The bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) and coquimbite ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) in the LTAs of the leached coal samples are thought, to be artifacts of the plasma ashing process (eg.. Ward, 1991, 1992). The elements involved were probably combined in the coal in an organic association that was not affected by water washing, ion exchange or acid solution (Ward, 1991). As bassanite in coal is believed to be derived from interaction between organically-bound (or mobile Ca)

and the organic sulfur in the course of the ashing process, the small amount of this mineral in the LTA of the treated coal samples was likely a result of removal of most Ca by the leaching treatments.

Pyrite is present in all of the raw coal LTAs from the C seam, but is only present in the LTA of one leached coal sample (C41), with the concentration being less than in the equivalent untreated sample. The decreased concentration or absence of this mineral in the coal samples studied is thought to be related to pyrite oxidation during storage prior to the leaching study. Pyrite is insoluble in HCl, as such it was unlikely to be dissolved by the acid treatment.

Calcite is only identified in one leached coal sample (C43), and at a concentration less than that in the LTA of the corresponding untreated sample. Since the bulk of the Ca in the Bukit Asam coal samples is mobile, it was likely that calcite crystals deeply embedded in the coal pores which hardly reached by the leaching solutions.

Table 4. The XRD analysis of raw coal and treated coal LTAs.

B seam Minerals in raw coal LTAs															
No sample	Lta%	Quartz	Kaolinite	Calcite	siderite	pyrite	Bassanite	gypsum	Jarosite	Coquimbite	Hexahydrite	Bohmite	Alunogen	Hematite	Total
B1-1	7,2	11.0	80.4				2.6				6.4				100.0
B3-1	5.2	3.3	62.1				10.1				9.1		12.0	3.7	100.3
B4-1	6.6	3.5	67.5	0.5			4.3				17.6	0.5	6.5		100.4
B5-1	4.9	6.6	69.3				13.0				9.4				100.0
B6-1	3.9	1.3	49.7	5.1			11.8			3.5	23.7	5.0			100.0

B seam Minerals in leached coal LTAs															
Sample No	LTA	Quartz	Kaolin wo	Calcite	Siderite	Pyrite	Bassanite	Gypsum	Jarosite	Coquimbite	Hexahydrite	Boehmite	Alunogen	Sanidine	Total
B4-1	3.6	7.4	88.9				3.7								100.0
B5-1	3.6	2.8	92.9				4.3								100.0
B6-1	1.8	3.9	92.1	1.4			2.6								100.0

C seam Minerals in raw coal LTAs															
Sample No	LTA	Quartz	Kaolin wo	Calcite	Siderite	Pyrite	Bassanite	Gypsum	Jarosite	Coquimbite	Hexahydrite	Boehmite	Alunogen	Sanidine	Total
C39-1	5.1	8.3	77.2	1.1	2.7	2.5	4.7				2.7				99.2
C40-1	9.2	6.6	77.6	1.9	2.5	0.2	3.6			0.8	7.0				100.2
C41-1	5.6	1.8	65.0	1.8		2.8	5.4				9.1		14.0		99.9
C42-1	6.0	4.1	70.2	1.4	2.2	1.7	5.9			1.0	2.5		10.9		99.9
C43-1	5.4	4.5	69.4	2.4	2.9	0.2	6.2				14.6				100.2

C seam Minerals in leached coal LTAs															
Sample No	LTA	Quartz	Kaolin wo	Calcite	Siderite	Pyrite	Bassanite	Gypsum	Jarosite	Coquimbite	Hexahydrite	Boehmite	Alunogen	Sanidine	Total
C39-1	3.7														
C40-1	7.0	6.1	90.8		1.9		0.5			0.6					99.9
C41-1	6.8	2.0	95.0			1.7	1.5								100.0
C42-1	4.3	4.3	89.1		2.2		2.5			2.0					100.1
C43-1	4.4	4.7	88.3	1.0	2.4		2.1		1.6						100.1

OCCURRENCE OF INORGANIC ELEMENTS IN MACERALS OF BUKIT ASAM COALS

The result of electron microprobe analysis appears in Table 5 and 6. Overall, the macerals in low rank coals were found to have low but significant proportions of Al, Ca and Fe which is in agreement with the result of selective leaching study. Both

analysis showed lower concentrations of Al, Ca and Fe in the high rank samples in comparison to low rank samples. However, the behavior of those elements in the high rank coals is somewhat similar to that of the low rank coals. Al and Fe were only removed from all of the coals by acid treatment, whereas Ca was liberated by all of the three treatments.

Table 5. Elemental composition of macerals by electron microprobe analysis

Sam ple	Seam	Rank	Points	C%	N%	O%	Al%	Si%	S%	Ca%	Fe%
Frid1-Tc	C	0.49	20	72.71	2.6	18.08	0.11	0.04	0.96	0.1	0.05
Frid3-Tc	C	2.30	2	88.99	0.72	5.02	0.12	0.01	1.66	0	0.04
Frid3-Sf			5	89.25	1.65	4.44	0.01	0.01	1.57	0.01	0.03
Frid4-Tc	B	0.54	9	71.04	1.57	19.78	0.11	0.02	0.73	0.22	0.06
Frid4-Dsc			3	75.52	1.46	14.65	0.08	0.03	0.88	0.21	0.06
Frid4-Glv			2	70.64	1.92	19.76	0.06	0.01	0.69	0.14	0.06
Frid4-Sub			3	72.61	0.93	18.46	0.08	0.01	0.71	0.07	0.11
Frid4-Sf			11	75.26	1.4	16.16	0.06	0.05	0.74	0.1	0.02
Frid5-Tc	B	2.45	8	87.93	1.48	6.18	0.01	0.01	1.56	0.01	0.01
Frid5-Sf			4	88.9	1.49	5.09	0	0.01	1.58	0.03	0.05
Frid5-Sc			2	85.8	1.54	5.14	0	0.11	1.41	0.05	0.06

Table 6. Comparison of electron microprobe data with results of selective leaching analysis

Seam	Frid1	Frid3	Frid4	Frid5
	C seam	C seam	B seam	B seam
Rank (Rvmax)	0.68%	2.3%	0.64%	2.45%
Aluminum – H2O	2.00	Bld	3.00	Bld
Aluminum - NH4Ac	Bld	Bld	bld	Bld
Aluminum – HCl	199.00	28.00	160.00	19.00
Mobile Al (ppm)	202.00	28.00	163.00	19.00
Mobile Al (%)	0.02	0.00	0.02	0.00
Aluminum minerals				
Aluminum in Tellocolinite	0.11	0.12	0.11	0.01

Calcium - H ₂ O	57.00	84.00	51.00	179.00
Calcium - NH ₄ Ac	85.00	49.00	535.00	26.00
Calcium – HCl	84.00	24.00	392.00	13.00
Mobile Ca (ppm)	226.00	156.00	978.00	217.00
Mobile Ca (%)	0.02	0.02	0.10	0.02
Calcium minerals				
Calcium in Tellocolinite	0.10	0.00	0.22	0.01
Iron - H ₂ O	Bld	Bld	bld	Bld
Iron - NH ₄ Ac	Bld	Bld	bld	Bld
Iron – HCl	255.00	155.00	265.00	270.00
Mobile Fe (ppm)	255.00	155.00	265.00	270.00
Mobile Fe (%)	0.03	0.02	0.03	0.03
Iron Minerals				
Iron in Tellocollinite	0.05	0.04	0.06	0.01

Very small concentrations of Al, Ca and Fe are also present in high rank coal. Overall the concentration of those element are less than in the macerals of the equivalent low rank coal samples. The microprobe study also indicates a decrease in the proportion of Ca and Al in the macerals of corresponding coals from low rank to high rank. In contrast, the increasing sulphur contents were observed in all of the macerals in the high rank coals, compared to the corresponding low rank samples, suggesting the retention of S present in the organic matter.

ROLE OF NON-MINERAL INORGANIC ELEMENTS IN METAMORPHISM OF COAL MINERALS

It has been suggested that the the non-mineral inorganics from coal will decreased in proportion with rank advance (Ward, 2002). Thus, if these constituents still persist in higher rank coals, they are typically present in relatively low proportions. However, the artifact minerals still present in significant concentrations (average 10.3%) in the LTA of the high-rank coals at Bukit Asam (Susilawati and Ward, 2002). As such it was likely that the inorganic elements are still relatively abundant in the mineral matter of the higher-rank coals of Bukit Asam. Since the mineral forming reactions in the heated coals at Bukit Asam required the presence of such particular elements (see Susilawati and Ward., 2002), it is likely

that the source of that elements are from non-mineral inorganic elements originally present in the high rank coal. Further study, however, is needed to investigate more fully the role of inorganic elements in metamorphism of the Bukit Asam coal seams.

COMPARISON BETWEEN SEAMS

Although present in very small concentrations, the inorganic constituents of Bukit Asam coal respond to the various leaching treatments and exhibit similar behaviour to the inorganic elements in the low rank coal of South Australia (Ward, 1992) and the lignites of northern Thailand (Ward, 1991). In general, the B seam has more mobile elements than the C seam coal. Over half of the Ca and Fe in the B seam samples studied are mobilized by a combination of acetate and acid treatment. By contrast, less than 50% of the Ca and Fe are mobile in the C seam samples studied. The Ca in the C seam also appears to occur mainly in solution in the pore water instead of as exchangeable components of the carboxylates in the organic matter. Moreover, whereas all Na was removed from the B seam coal by water and acetate treatment, only 60-70% of the Na was liberated from the C seam coal. Na in the C seam mostly occurs as a water-soluble component, suggesting that most of the Na in the C seam coal probably occurs as dissolved ions in the pore water.

The difference between the two seams may reflect differences in the composition of the water permeating the respective seams during their geological history (Ward, 1992). The actual concentrations of the elements in in-situ coal samples, may depend partly on the composition of the water that in contact with the coal bed (Ward., 1992). Upward flow of saline water, for instance, may introduce some inorganic elements to the coal, some of which possibly migrated higher into the coal seam than others, leading to isolation of different elements at different levels within the seam section (Brockway and Borsaru, 1985).

CONCLUSIONS

Selective leaching studies, combined with low temperature ashing, can be used to identify both the minerals and the non-mineral inorganics in the low and high rank coals from Bukit Asam. The inorganic elements in the low rank coals of the B and C seams at Bukit Asam comprise three different inorganic fractions; water soluble, ion-exchangeable and acid soluble elements.

Small but significant concentrations of inorganic elements (Al, Ca and Fe) occur in the individual macerals of Bukit Asam coal, including both sub-bituminous and semi-anthracite materials. There is an indication that some of the elements, particularly the Ca and Al present in the low rank coals, are lost from the organic matter with increases in the rank of the coals concerned.

The inorganic elements in Bukit Asam coal may also provide a significant contribution to the formation of new minerals in the coal, due to localized heat flow from igneous intrusive bodies.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks are expressed to Australian Development Scholarship 2001 for funding to this study and PT Bukit Asam for their generous assistance with the field work.

The author is gratefully acknowledged Prof Colin Ward for his supervision and guidance during the completion of this study. The author also thank Irine Wainwright for her assistance in Xrf analysis and Zong Seng Li for his assistance in selective leaching and electron microprobe analysis.

References:

- Benson, S.A., Holm, P.L., 1985. Composition of inorganic constituents in three low-rank coals. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals Product Research and Development* 24, 145–149.
- Bohor, B.F., Triplehorn, D.M., 1993. Tonsteins: altered volcanic-ash layers in coal-bearing sequences., *Geological Society of America Special Paper*, p44.
- Bustin, R.M., Mastalerz, M., Wilks, K.R., 1993. Direct determination of carbon, oxygen and nitrogen content in coal using the electron microprobe. *Fuel* 72, 181 – 185.
- De Coster, G.L., 1974. The geology of the Central and South Sumatra Basins, *Indonesian Petroleum Association*, 3th Annual Convention, pp. 77-110.
- Finkelman, R.B., 1994. Abundance, source and mode of occurrence of the inorganic constituents in coal, in: Kural, O. (Ed.), *Coal*. Istanbul Technical University, Istanbul, 115-125.
- Finkelman, R.B., Bostick, N.H., Dulong, F.T., Senftle, F.E., Thorpe, A.N., 1998. Influence of an igneous intrusion on the inorganic geochemistry of a bituminous coal from Pitkin County, Colorado. *Int.J. Coal Geol* 36, 223-241.
- Gluskoster, H.J., 1965. Electronic low temperature ashing of bituminous coal. *Fuel*, 44: 285-291.
- Gurba, L.W. and Colin, R.W., 2000. Elemental composition of coal macerals in

relation to vitrinite reflectance, Gunedah Basin, Australia, as determined by electron microprobe analysis. *International Journal of Coal Geology*, 44: 127-147.

Harvey, R., D. , Ruch, R., R. , 1986. Mineral Matter in Illinois and Other U.S. Coals, Mineral Matter and Ash in Coal. American Chemical Society, 10-40.

Hutchison, C.S., 1989. Geological evolution of Southeast Asia. Oxford University Press, New York, 333 pp.

Kemezys, M., Taylor, G.H., 1964. Occurrence and distribution of minerals in some Australian coals. *J. Inst. Fuel* 37, 389-397.

Kiss, L.T., King, T.N., 1977. The expression of results of coal analysis: the case for brown coals. *Fuel* 56, 340-341.

Kiss, L.T., King, T.N., 1979. Reporting of low-rank coal analysis — the distinction between minerals and inorganics. *Fuel* 58, 547-549.

Koesoemadinata, R.P., 1978. Sedimentary framework of Tertiary coal basins in Indonesia, 3rd Regional Conference on Geology and Mineral Resources of South East Asia, Bangkok, Thailand, pp. 621-639.

Li, Z., Moore, T.A., Weaver, S.D., 2001. Leaching of inorganics in the Cretaceous Greymouth coal beds, South Island, New Zealand. *Int.J. Coal Geol* 47, 235-253.

Li, Z., Ward, C.R., Gurba, L.W., 2010. Occurrence of non-mineral inorganic elements in macerals of low-rank coals. *Int.J. Coal Geol* 81, 242-250.

Matasak, Th., Kendarsi, R., 1980. Geologi endapan batubara di Bukit Asam — Sumatra Selatan, Buletin Departemen Geologi. Institut Teknologi Bandung 1, 11-33

Mastalerz, M., Gurba, L.W., 2001. Determination of nitrogen in coal macerals

using electron microprobe technique— experimental procedure. *International Journal of Coal Geology* 47, 23 – 30

Norrish, K. and Chappell, B. W. (1977) X-ray fluorescence spectrography: in *Physical Methods in Determinative Mineralogy*, J. Zussman, ed., Academic Press, New York, 720p.

Pujobroto, A., 1997. Organic petrology and geochemistry of Bukit Asam coal, South Sumatra, Indonesia. Ph.D Thesis, The University of Wollongong, Wollongong.

Stalder, P., 1976. A review of the South Sumatra Coal Basin, Shell Minjbuow, N.V, (unpublished), Jakarta.

Susilawati, R., Ward, C.R., 2006. Metamorphism of mineral matter in coal from the Bukit Asam deposit, South Sumatra, Indonesia. *Int.J. Coal Geol* 68, 171-195.

Taylor, J.C., 1991. Computer programs for standardless quantitative analysis of minerals using the full powder diffraction profile. *Powder Diffraction* 6, 2 – 9.

Ward, C.R., 1989. Minerals in bituminous coals of the Sydney basin (Australia) and the Illinois basin (U.S.A.). *Int.J. Coal Geol* 13, 455-479.

Ward, C.R., 1991. Mineral Matter in Low-Rank Coals and Associated Strata of the Mae Moh Basin, Northern Thailand. *Int.J. Coal Geol* 17, 69-93.

Ward, C.R., 1992. Mineral Matter in Triassic and Tertiary Low-Rank Coals from South-Australia. *Int.J. Coal Geol* 20, 185-208.

Ward, C.R., 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams. *Int.J. Coal Geol* 50, 135-168.

Ward, C.R., Gurba, L.W., 1999. Chemical composition of macerals in bituminous coals of the Gunedah Basin, Australia, using electron microprobe analysis

techniques. Int.J. Coal Geol 39, 279-300.

Ward, C.R., Warbrooke, P.R., Ivor Roberts, F., 1989. Geochemical and mineralogical changes in a coal seam due to contact metamorphism, Sydney Basin, New South Wales, Australia. Int.J. Coal

Geol 11, 105-125.

Ward, C.R., Taylor, J.C., Cohen, D.R., 1999. Quantitative mineralogy of sandstones by X-ray diffractometry and normative analysis. Journal of Sedimentary Research 69, 1050 – 1062.

Diterima	: 3 Juni 2015
Direvisi	: 29 Juli 2015
Disetujui	: 20 Agustus 2015

**PEMODELAN GAYA BERAT 3D DAERAH PANAS BUMI DOLOK MARAWA
KABUPATEN SIMALUNGUN, SUMATERA UTARA
3D GRAVITY MODELING OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL FIELD IN SIMALUNGUN
REGENCY, NORTH SUMATERA**

Asep Sugianto dan Tony Rahadinata

Pusat Sumber Daya Geologi
Jl. Soekarno-Hatta No.444 Bandung
Email: asepsogeg@gmail.com

SARI

Daerah panas bumi Dolok Marawa merupakan salah satu daerah prospek panas bumi di Sumatera bagian utara. Daerah panas bumi tersebut berada pada zona patahan Sumatera dengan manifestasi permukaan berupa sekelompok mata air panas yang memiliki temperatur antara 37°C hingga 65°C. Serangkaian survei gaya berat telah dilakukan di daerah ini pada tahun 2006 dan 2015. Sebanyak 257 data gaya berat telah diukur dari daerah ini, dengan cakupan luas pengukuran sekitar 16 km x 13 km. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi densitas batuan melalui pemodelan 3D pada data gaya berat dengan menggunakan perangkat lunak Grablox. Hasil pemodelan memperlihatkan suatu blok berdensitas rendah yang bentuknya berarah barat-laut-tenggara dan berimpit dengan zona patahan. Densitas batuan rendah tersebut bernilai sekitar 2,4 g/cm³ dan dianggap sebagai batuan rekahan yang mengisi zona patahan. Hasil pemodelan juga memperlihatkan suatu blok berdensitas tinggi di bawah bukit Dolok Bahtopu. Blok densitas tinggi ini diinterpretasikan sebagai suatu tubuh intrusi andesitik dan mungkin bertindak sebagai sumber panas bagi sistem panas bumi Dolok Marawa.

Kata kunci : gaya berat, pemodelan 3D, panas bumi, Dolok Marawa, Sumatera

ABSTRACT

Dolok Marawa geothermal field is one of geothermal prospect areas in northern part of Sumatera and situated in the Sumatera Fault Zone. Surface thermal features consist of hot spring with temperature varies from 37°C to 65°C. Series of gravity measurement had been conducted in the field in 2006 and 2015. The gravity data were measured from 257 stations covering an area of about 16 km x 13 km. This paper is aimed to identify rocks density distribution through 3-D gravity modeling by using Grablox modeling scheme. The model shows a pronounced low density block elongated at NW-SE direction, which coincides to the Sumatera fault lineament. Rock density of about 2.4 g/cm³ of the low zone is considered to be associated to fractured rocks filling the fault zone. The model also shows high density block beneath Mt. Dolok Bahtopu. This high is interpreted as an andesitic intrusive body and considered as the heat source of the Dolok Marawa geothermal system.

Keywords : gravity, 3-D modeling, geothermal, Dolok Marawa, Sumatera

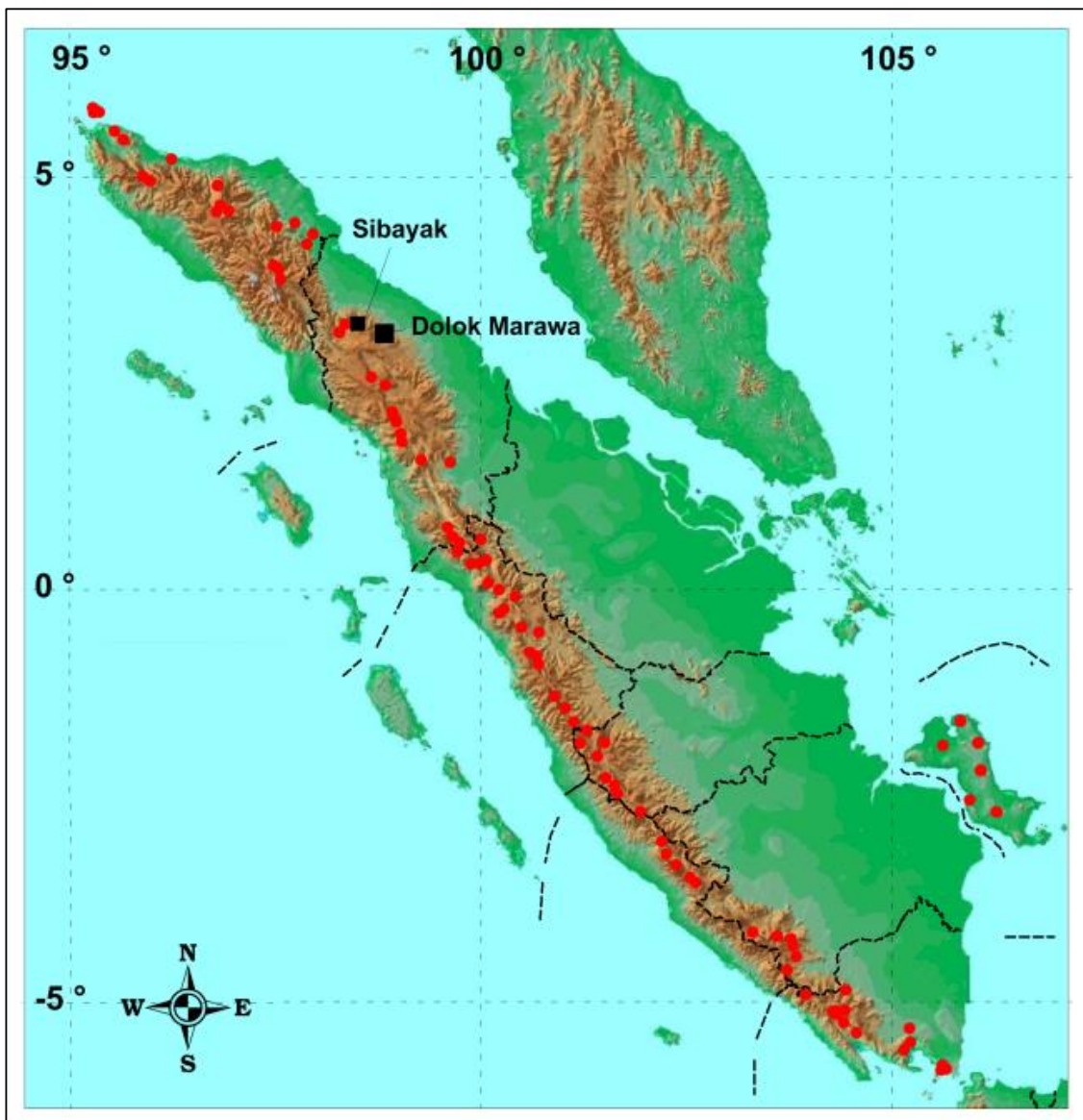
PENDAHULUAN

Sumatera merupakan salah satu pulau besar di Indonesia yang memiliki 93 lokasi

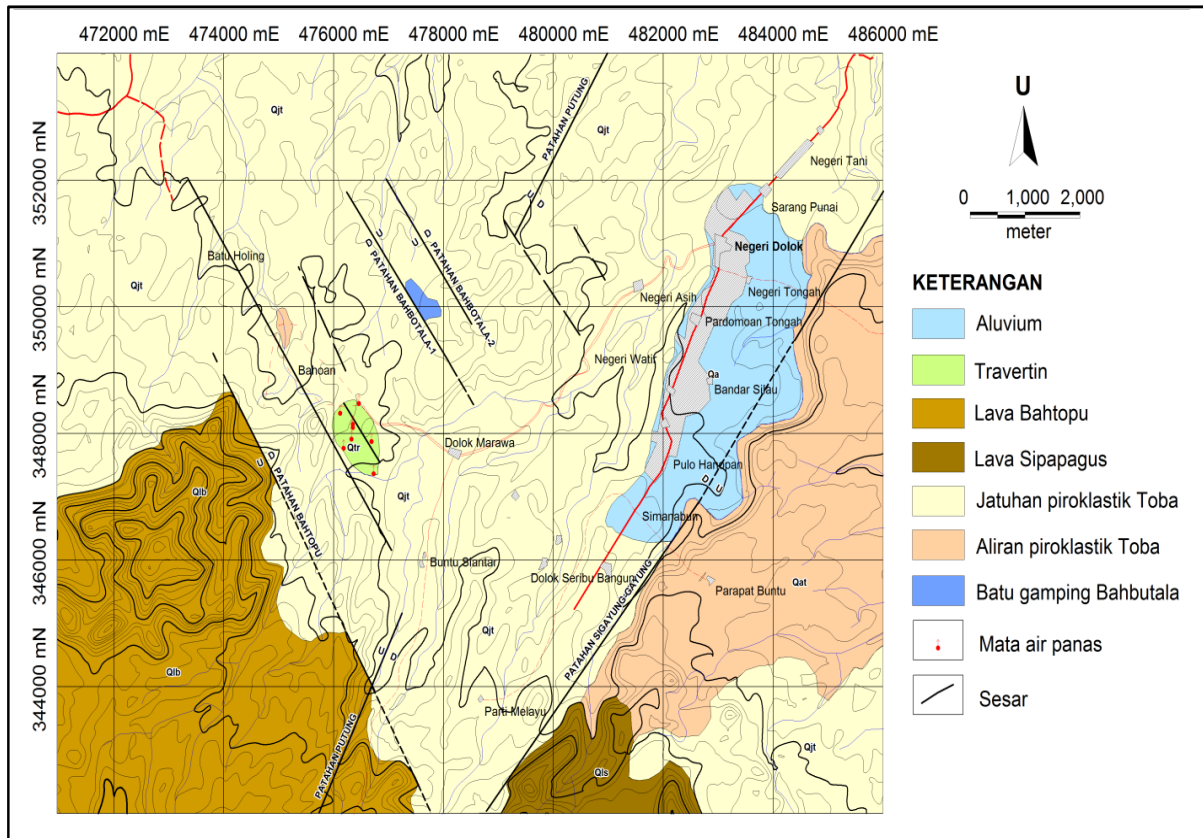
panas bumi dengan total potensi sebesar 12.886 MWe status Maret 2015 (Anonim, 2015). Salah satu diantaranya adalah daerah panas bumi Dolok Marawa yang berada di

Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara (Gambar 1). Daerah tersebut berada di sebelah timurlaut Danau Toba dan berada di sebelah tenggara lapangan panas bumi (PLTP) Sibayak. Secara geologi, daerah Dolok Marawa umumnya tersusun atas batuan yang berumur Kuartar berupa andesit, aliran dan jatuhan piroklastik. Struktur sesar yang berkembang di daerah tersebut berupa sesar normal yang berarah

baratlaut-tenggara dan baratdaya-timurlaut (Gambar 2). Manifestasi panas bumi muncul berupa mata air panas dengan temperatur antara 37°C s.d 65°C. Penelitian kepanasbumian yang meliputi metode geologi, geokimia, dan geofisika di daerah tersebut telah banyak dilakukan diantaranya oleh Setiawan, dkk (2006), Suryakusuma, dkk (2006), Zarkasyi, dkk (2006), dan Sundhoro, dkk (2006).



Gambar 1. Peta lokasi daerah panas bumi Dolok Marawa (● lokasi daerah panas bumi lainnya di Pulau Sumatera)



Gambar 2. Peta geologi daerah panas bumi Dolok Marawa (modifikasi dari Setiawan, dkk. 2006)

Salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam survei panas bumi adalah metode gaya berat. Metode tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi variasi densitas batuan dan struktur geologi di suatu daerah panas bumi (Santos, 2009). Selain itu, metode gaya berat juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi sumber panas pada suatu sistem panas bumi (Tripp, 2002).

Pada makalah ini dibahas mengenai pemodelan 3D terhadap data gaya berat daerah panas bumi Dolok Marawa untuk mengetahui distribusi densitas batuan di bawah permukaan dari sistem panas bumi di daerah tersebut. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan program Grablox dari Pirttijärvi (2004). Program tersebut menggabungkan dua metode inversi, yaitu *Singular Value Decomposition* (SVD) dan inversi Occam (Hjelt, 1992). Hasil pemodelan

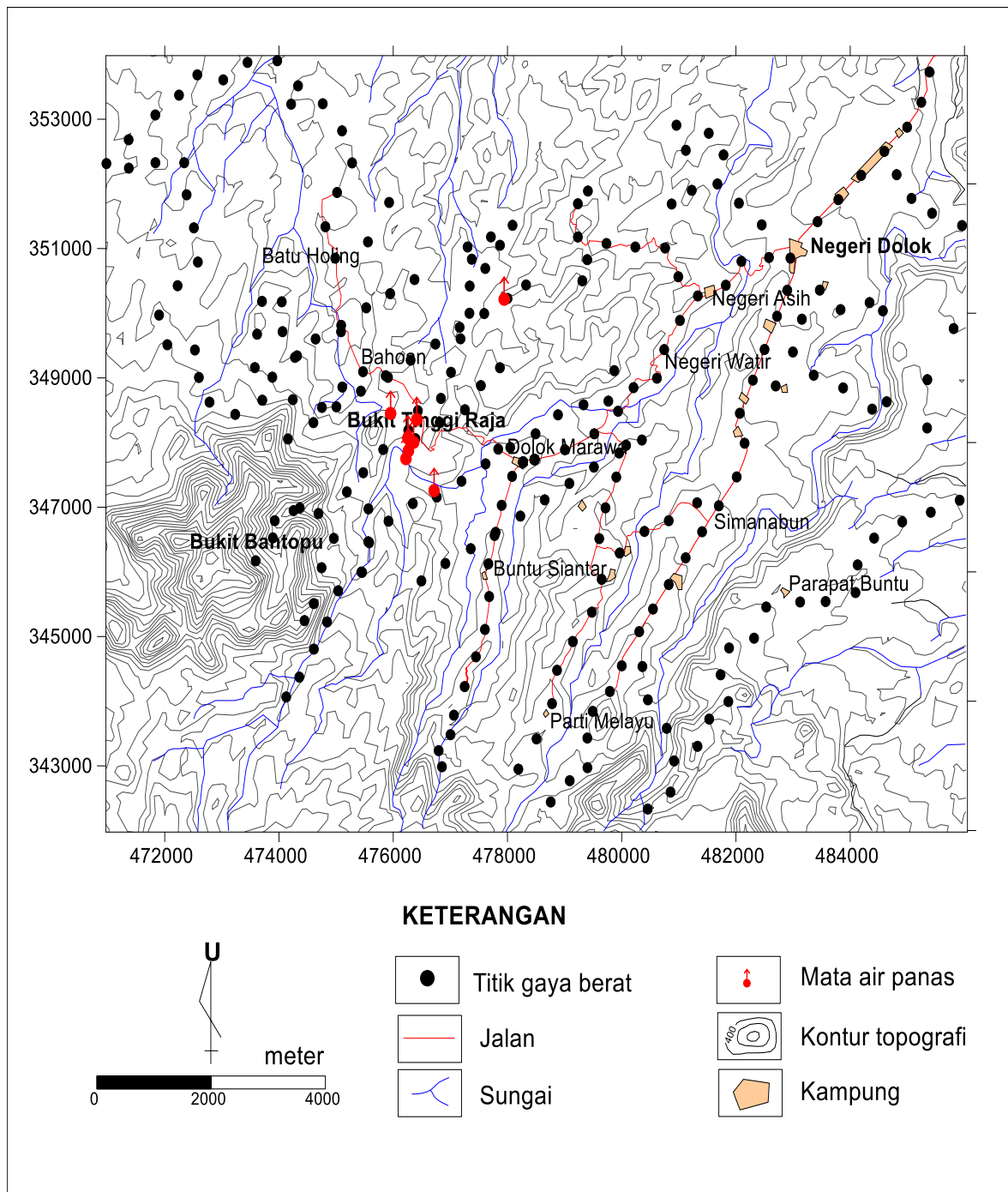
dapat memberikan informasi mengenai variasi densitas batuan bawah permukaan dan dapat menggambarkan struktur sistem panas bumi di daerah ini.

TINJAUAN DATA GAYA BERAT

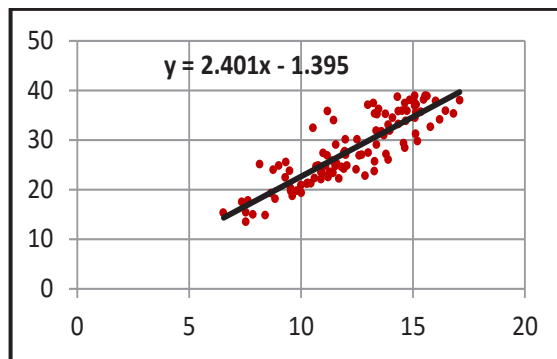
Pada penelitian ini digunakan data gaya berat pada 257 titik ukur yang tersebar secara acak dengan interval sekitar 500 meter (Gambar 3). Data gaya berat tersebut telah diambil oleh tim Pusat Sumber Daya Geologi pada tahun 2006 dan 2015. Pengolahan data meliputi koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan. Pada koreksi Bouguer dan koreksi medan digunakan asumsi densitas batuan sebesar $2,4 \text{ g/cm}^3$ berdasarkan penentuan densitas dengan metode Parasnis (Gambar 4) dan analisis sampel batuan di laboratorium (Tabel 1)

Peta anomali Bouguer (Gambar 5) memperlihatkan adanya anomali tinggi >8 mGal di sebelah baratdaya sekitar Dolok Bahtopu yang diduga merupakan respon dari batuan andesit. Anomali sedang (1-7 mGal) terlihat di bagian tengah daerah survei,

sedangkan anomali rendah <1 mGal berada di sebelah timur daerah survei. Anomali rendah dan sedang tersebut diperkirakan berasosiasi dengan aliran dan jatuhnya piroklastik yang mendominasi daerah survei.



Gambar 3. Peta distribusi titik ukur gaya berat daerah panas bumi Dolok Marawa



Gambar 4. Kurva penentuan densitas dengan metode Parasnis

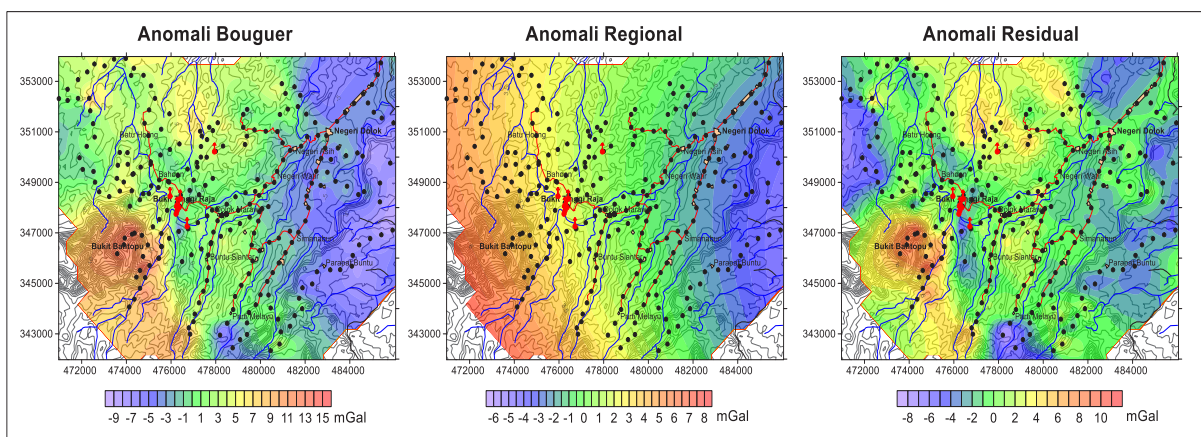
Tabel 1 Densitas Batuan Hasil Analisis di Laboratorium

No.	Kode Conto	Nama Batuan	Densitas (g/cm ³)
1	DM-1	Gamping Kristalin	2,47
2	DM-4	Tufa	2,4
3	DM-2	Andesit	2,47

Peta anomali regional ditentukan dengan menggunakan pendekatan *polynomial* orde 2. Peta tersebut memperlihatkan tren berarah hampir utaraselatan dengan anomali tinggi berada di sebelah barat dan anomali rendah berada di sebelah timur (Gambar 5).

Peta anomali residual (Gambar 5) memperlihatkan adanya anomali tinggi yang

membentuk pola kontur tertutup di sekitar Dolok Bahtopu. Anomali tinggi dengan pola seperti itu mengindikasikan adanya tubuh batuan dengan densitas tinggi yang muncul hingga permukaan. Di sekitar sebaran mata air panas terlihat adanya distribusi anomali rendah yang diduga berasosiasi dengan zona rekahan akibat adanya struktur sesar yang berkembang di daerah tersebut.



Gambar 5. Peta anomali Bouguer, anomali regional dan anomali residual

METODE

Pemodelan gaya berat 3D dilakukan dengan menggunakan program Grablox dari

Pirttijarvi (2004). Program tersebut menggabungkan dua metode inversi, yaitu *Singular Value Decomposition* (SVD) dan inversi Occam (Hjelt, 1992). *Singular Value*

Decomposition adalah suatu pemfaktoran matriks dengan mengurai matriks A ke dalam dua matriks U dan V (Zhao, 2011). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = USV^T \quad (1)$$

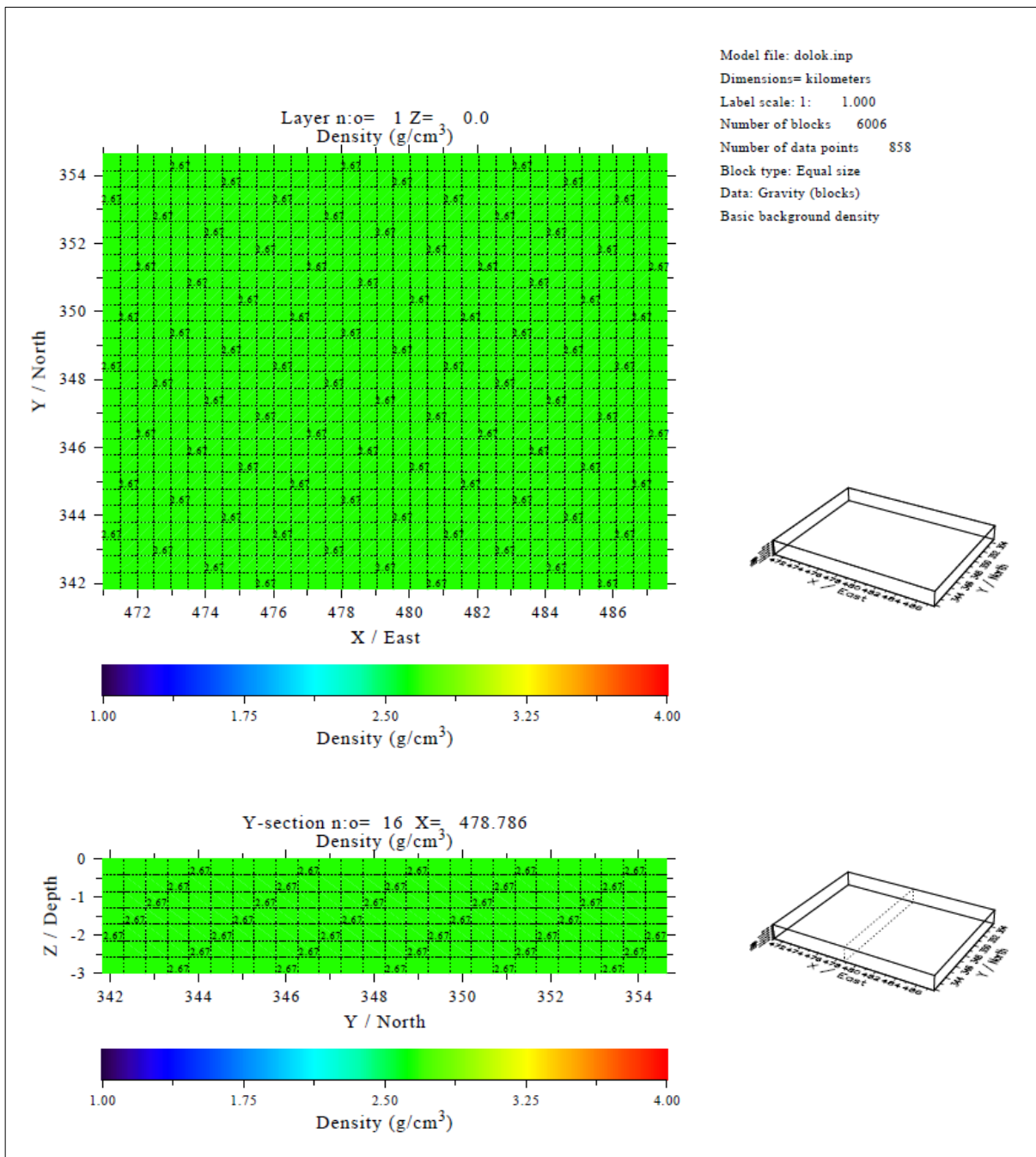
dimana U adalah matriks orthogonal sebelah kiri, S adalah suatu matriks diagonal atau *singular value matrix*, dan V adalah matriks orthogonal sebelah kanan. Inversi Occam adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran (*roughness*) model (Constable, 1987) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \|\partial m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|\mathbf{Wd} - \mathbf{WGm}\|^2 - X_*^2 \} \quad (2)$$

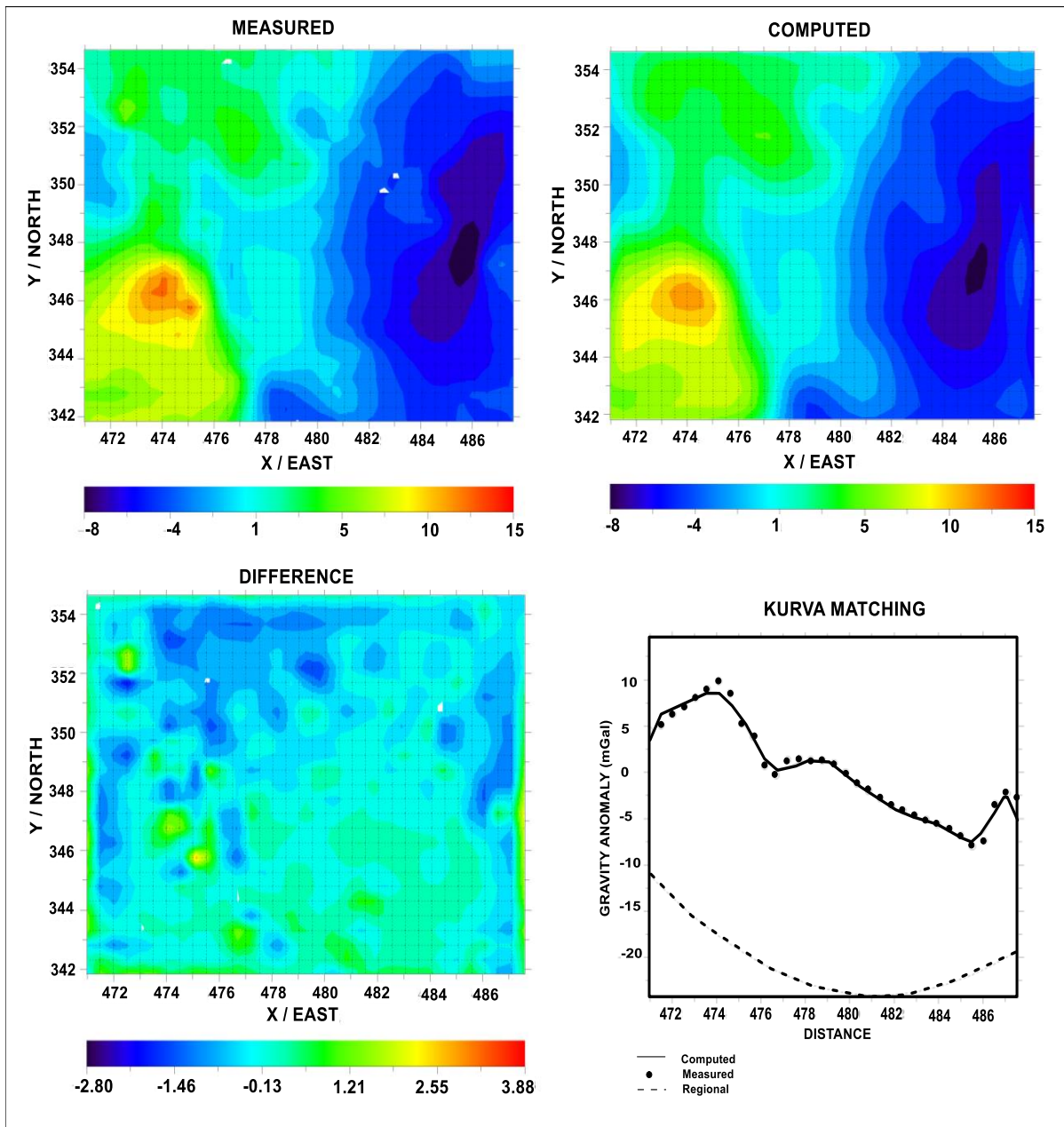
dimana, $\|\partial m\|^2$ merupakan kekasaran (*roughness*), μ^{-1} adalah *Lagrange multiplier*, $\|\mathbf{Wd} - \mathbf{WGm}\|^2$ adalah *misfit*, dan X_*^2 adalah error.

Pemodelan gaya berat difokuskan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dari dekat permukaan hingga kedalaman, sehingga data yang digunakan sebagai input pemodelan adalah anomali Bouguer. Model awal dibuat berupa blok 16.500 m x 13.000 m x 3.000 m yang terbagi kedalam 33 x 26 sel dengan ukuran sel 500 m x 500 m dan densitas awal sebesar 2,67 g/cm³ (Gambar 6). Hasil pemodelan memperlihatkan RMS error sebesar 0,008 dan perbedaan antara data input (anomali Bouguer) dengan hasil perhitungan (inversi) yang kecil (Gambar 7).

Pemodelan geofisika (gaya berat) umumnya menghasilkan solusi yang tidak tunggal (Grandis, 2009). Karena itu, untuk mereduksi ketidak-unikatan tersebut, maka hasil pemodelan gaya berat 3D ini diintegrasikan dengan data geologi dan dipilih model yang memberikan kesesuaian antara data observasi dengan data hasil perhitungan.



Gambar 6. Model awal yang digunakan dalam pemodelan gaya berat 3D



Gambar 7. Respon pemodelan gaya berat 3D daerah Dolok Marawa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemodelan ditampilkan dalam bentuk penampang dan peta distribusi densitas. Penampang model gaya berat merupakan gambaran densitas batuan secara vertikal hasil sayatan model 3D, sedangkan peta distribusi densitas batuan merupakan gambaran densitas batuan secara horizontal yang disayat dari hasil pemodelan 3D pada elevasi yang sama, yaitu elevasi 50 mdpl dan -550 mdpl.

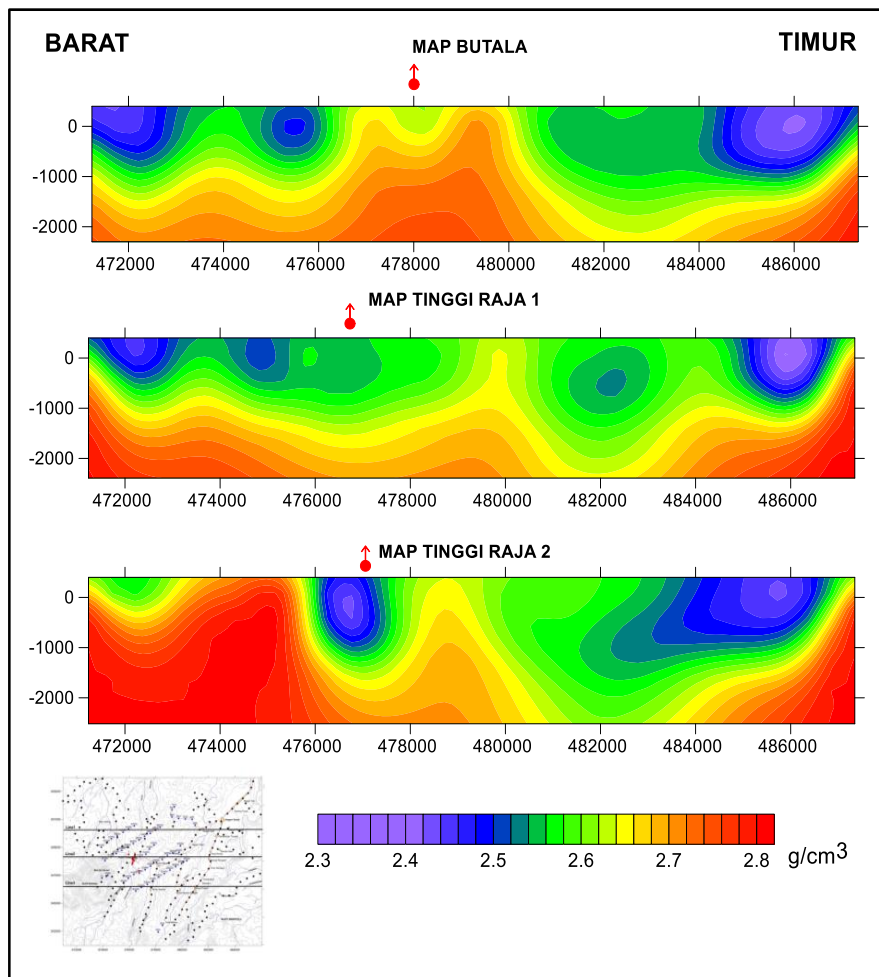
Pada makalah ini disajikan 3 penampang dari hasil pemodelan gaya berat 3D. Penampang tersebut berarah barat-timur dengan mempertimbangkan keberadaan struktur sesar yang berarah barat-laut-tenggara sebagai pengontrol kemunculan manifestasi Tinggi Raja (Gambar 8).

Penampang 1 berada di utara dan melewati mata air panas Butala. Penampang 1 tersebut memperlihatkan distribusi batuan dengan densitas sedang 2,6 g/cm³ di dekat permukaan dan distribusi batuan dengan

densitas tinggi $>2,7 \text{ g/cm}^3$ di bagian bawah. Batuan dengan densitas sedang tersebut diduga sebagai jatuhan piroklastik Toba. Batuan dengan densitas sedang di sebelah barat dan timur terpisahkan oleh kemunculan batuan dengan densitas tinggi $2,7 \text{ g/cm}^3$ di sekitar mata air panas Butala. Batuan dengan densitas tinggi di bagian bawah diinterpretasikan sebagai batuan dasar (metamorf). Kontras densitas batuan di sebelah barat mata air panas Butala mengindikasikan adanya struktur sesar yang membentuk suatu graben.

Penampang 2 berada di bagian tengah dan memotong mata air panas Tinggi Raja.

Pola distribusi densitas pada penampang 2 relatif sama dengan pola distribusi densitas pada penampang 1. Batuan dengan densitas sedang tersebar dari dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 1500 m. Batuan dengan densitas rendah terlihat di sebelah barat mata air panas Tinggi Raja dari dekat permukaan hingga kedalaman sekitar 500 m. Batuan tersebut diduga sebagai piroklastik Toba dan/atau batuan vulkanik yang terkekarkan. Kontras nilai densitas sedang dan rendah $<2,5 \text{ g/cm}^3$ yang mengindikasikan adanya struktur sesar terlihat di sebelah timur mata air panas Tinggi Raja.



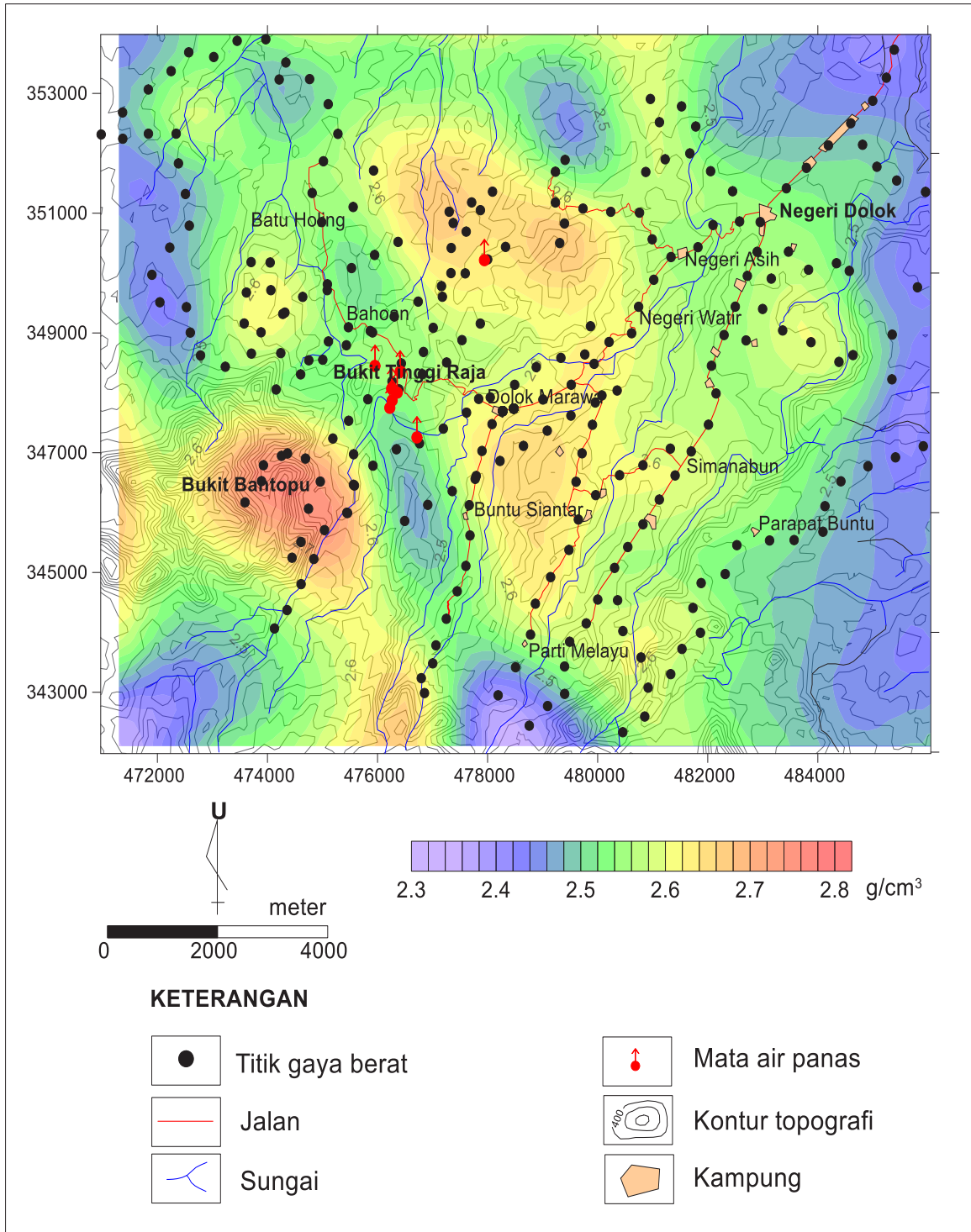
Gambar 8. Penampang model gaya berat daerah panas bumi Dolok Marawa; penampang 1 berada paling atas, penampang 2 di tengah, dan penampang 3 berada paling bawah

Penampang 3 berada di selatan dan memotong Dolok Bahtopu. Pada penampang

ini tergambaran tubuh Dolok Bahtopu yang dicirikan dengan nilai densitas tinggi 2.8

g/cm^3 . Nilai densitas tinggi menerus dari dekat permukaan hingga ke elevasi - 2000 m. Zona depresi yang dicirikan dengan kontras densitas terlihat di sekitar mata air

panas Tinggi Raja. Zona depresi tersebut lebih sempit dibandingkan dengan zona depresi pada penampang 1 & penampang 2

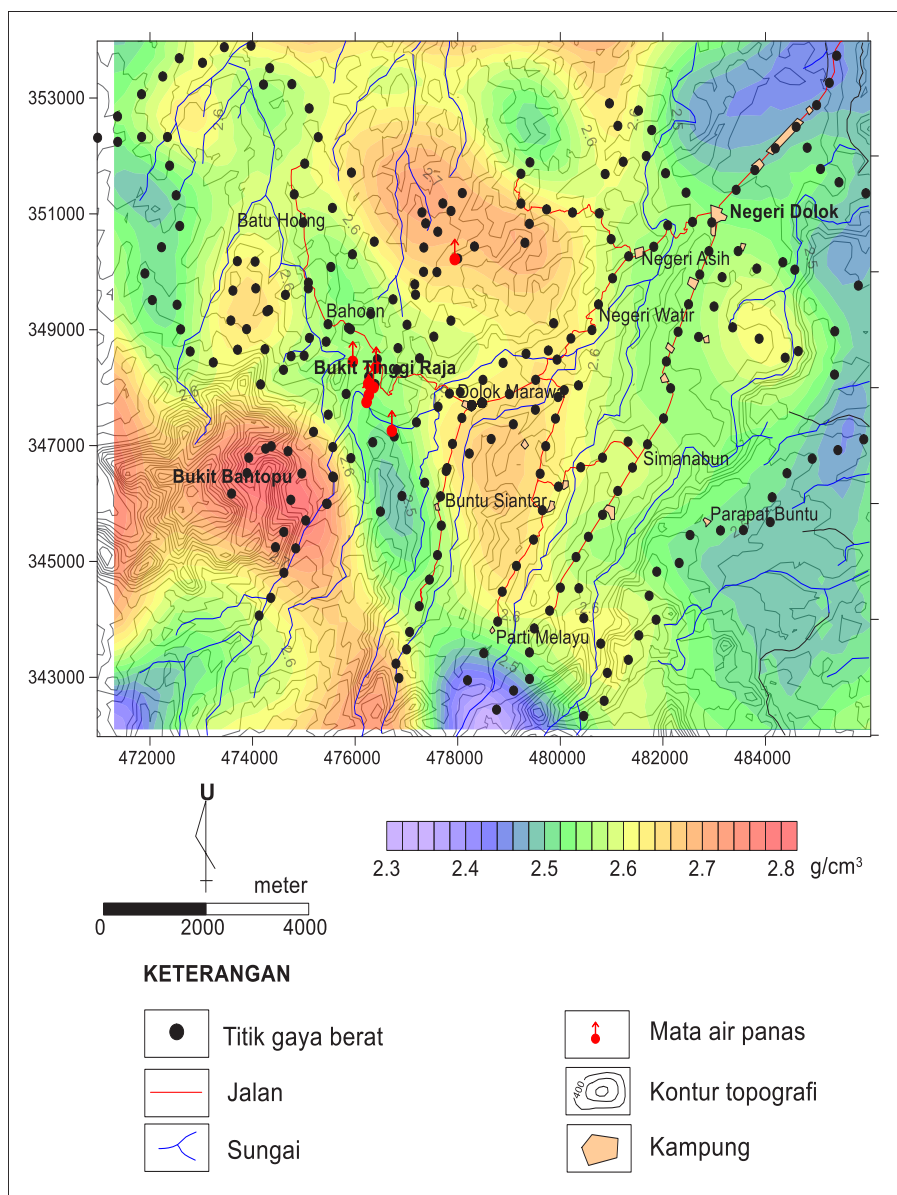


Gambar 9. Peta sebaran densitas elevasi 50 m daerah Dolok Marawa

Peta sebaran densitas pada elevasi 50 m (Gambar 9) secara umum memiliki pola hampir sama dengan peta anomali Bouguer residual (lihat Gambar 5). Batuan dengan densitas tinggi ($>2,7 \text{ g/cm}^3$) berada di sebelah baratdaya yang diduga sebagai batuan vulkanik produk Dolok Bahtopu. Batuan dengan densitas rendah ($<2,4 \text{ g/cm}^3$) berada di sebelah timur dan selatan yang diinterpretasikan sebagai piroklastik Toba (sebelah utara) dan lava Sipapagus (sebelah timur). Di sekitar mata air panas Tinggi Raja terdapat batuan dengan densitas 2.4 g/cm^3 .

Batuan tersebut memanjang dari sebelah utara mata air panas Tinggi Raja hingga ke sebelah selatan yang diduga sebagai batuan ubahan dan zona rekahan.

Kontras nilai densitas tinggi dan rendah membentuk kelurusan berarah barat-laut-tenggara. Kelurusan tersebut berada di sebelah barat dan timur mata air panas Tinggi Raja membentuk suatu zona depresi. Selain itu, terdapat juga kontras densitas yang membentuk kelurusan berarah baratdaya-timurlaut.

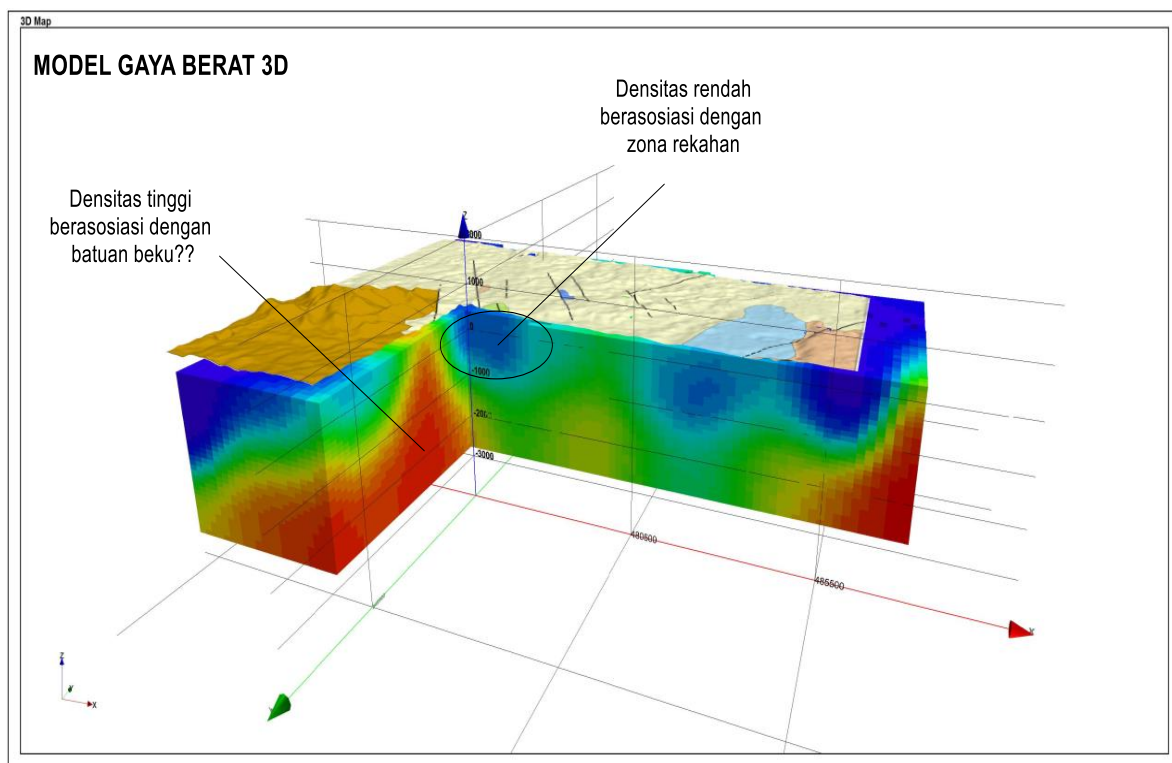


Gambar 10. Peta sebaran densitas elevasi 50 m daerah Dolok Marawa

Peta sebaran densitas pada elevasi - 550 m (Gambar 10) memiliki pola yang sama dengan peta sebaran densitas pada elevasi 50 m. Perbedaan terlihat dari sebaran densitas tinggi yang semakin meluas dan sebaran densitas rendah yang cenderung menyempit. Hal ini menggambarkan bahwa semakin ke dalam tingkat kekompakan batuan semakin tinggi sehingga nilai densitas batuan tersebut semakin tinggi. Keberadaan struktur juga terlihat dengan adanya kontras nilai densitas rendah dan tinggi yang membentuk kelurusan-kelurusan berarah barat-laut-tenggara dan baratdaya-timurlaut.

Hasil pemodelan gaya berat 3D juga ditampilkan secara 3-dimensi dan ditumpang susunkan dengan peta geologi

(Gambar 11). Gambar tersebut memperlihatkan batuan dengan densitas rendah tersebar di dekat permukaan, sedangkan batuan dengan densitas tinggi tersebar di bagian bawah. Di sekitar Dolok Bahtopu batuan dengan densitas tinggi terlihat muncul hingga ke permukaan yang diperkirakan berasosiasi dengan batuan andesit. Densitas rendah yang berada di sekitar sebaran mata air panas diperkirakan berasosiasi dengan zona rekahan yang menyebabkan densitas batuan menjadi lebih rendah dan memungkinkan batuan menjadi *permeable*. Zona tersebut sangat memungkinkan menjadi zona reservoir panas bumi. Di sebelah timur terdapat batuan dengan densitas rendah yang diduga berasosiasi dengan piroklastik Toba (Tufa Toba).



Gambar 11. Model gaya berat 3D yang ditampilkan secara 3-dimensi dan ditumpang susunkan dengan peta geologi (Setiawan, dkk. 2006)

KESIMPULAN

Pemodelan gaya berat 3D dapat memberikan gambaran mengenai distribusi densitas batuan di bawah permukaan baik secara lateral maupun horizontal. Hasil pemodelan gaya berat 3D di daerah panas bumi Dolok Marawa memperlihatkan adanya distribusi densitas tinggi $>2,7 \text{ g/cm}^3$ di sekitar Dolok Bahtopu yang menerus hingga ke bawah. Batuan dengan densitas tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai respon dari tubuh andesit Dolok Bahtopu dan menjadi indikasi adanya sumber panas di bawah permukaan. Di sekitar manifestasi panas bumi, terdapat distribusi nilai densitas rendah yang diinterpretasikan sebagai zona rekahan dan memungkinkan batuan menjadi permeabel. Kontras nilai densitas tinggi dan rendah mengindikasikan adanya struktur sesar yang berarah barat-laut-tenggara. Struktur sesar tersebut menjadi batas dari zona rekahan yang berada di sekitar manifestasi panas bumi Tinggi Raja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Sumber Daya Geologi dan Koordinator Kelompok Penyelidikan Panas Bumi atas ijin penggunaan data dalam penulisan makalah ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi yang setinggi-tinggi kepada rekan-rekan anggota tim survei gaya berat di daerah Dolok Marawa, dan rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2015, *Peta Sebaran Potensi Panas Bumi Indonesia*, Badan Geologi, Bandung

Constable, S.C., Parker, R.L., Constable, C.G., 1987, *Occam's Inversion : A Practical Algorithm for Generating Smooth Models from Electromagnetic*

Sounding Data. Geophysics, Vol. 52, No. 3, pp.289-300.

Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), Jakarta.

Hjelt, S. E., 1992, *Pragmatic Inversion of Geophysical Data*. Springer-Verlag, Germany, pp. 262

Pirttijärvi, M. ,2004, *GRABLOX: Gravity Interpretation and Modelling Software Based on 3D Block Model*. User's guide. *Archive Report, Q 16.2/2004/2*, Geological Survey of Finland, pp. 39.

Santos, P.A., and Rivas, J.A., 2009, *Gravity Survey Contribution to Geothermal Exploration in El Salvador: The Cases of Berlin, Ahuachapan and San Vicente Areas*, United Nations University, Geothermal Training Programme.

Setiawan, D.I., Setiadarma, D., Sundhoro, H., Sulaeman, B., 2006, *Penyelidikan Geologi dan Geokimia di Daerah Panas Bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara*, *Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi*.

Sundhoro, H., Bakrun, Suryakusuma, D., Sulaeman, B., Situmorang T., 2006, *Survei Panas Bumi Terpadu (Geologi, Geokimia, dan Geofisika) Daerah Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara*, *Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi*.

Suryakusuma, D., Situmorang D., Sumarna, Sunarto, Hasanudin, 2006, *Penyelidikan Gaya Berat dan Geomagnet Daerah Panas Bumi Dolok Marawa Kabupaten Simalungun*,

Propinsi Sumatera Utara, Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi.

Tripp, A., Moore, J., Ussher, G., McCulloch, J., 2002, *Gravity Modeling of the Karaha-Telaga Bodas Geothermal System, Indonesia*, Proceedings, Twenty-Seventh Workshop on

Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University.

Zarkasyi, A., Bakrun, Widodo, S., 2006, *Penyelidikan Geolistrik Daerah Panas Bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara, Proceeding Pemaparan Hasil-Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2006 Pusat Sumber Daya Geologi.*

Diterima	: 5 Juni 2015
Direvisi	: 23 Juli 2015
Disetujui	: 26 Agustus 2015

POTENTIAL APPLICATION OF LIGNITE AS ADSORBENTS IN INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT: A MINI REVIEW
POTENSI PEMANFAATAN LIGNITE SEBAGAI ADSORBEN PADA INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH: SEBUAH MINI REVIEW

Galuh Yuliani

Chemistry Study Program, Universitas Pendidikan Indonesia,
 Dr. Setiabudi 229 Bandung, Indonesia
 Email: gyuliani@gmail.com, galuh@upi.edu

ABSTRACT

Low rank coal (or lignite) is a low grade, wet, low cost and highly abundant coal. The high moisture content of lignite limits its application as high-heating value fuel and also creates barrier for its export as fuel. However, this property should not necessarily hinder its use in the water industry. Similar to activated carbons, lignite has the theoretical ability to treat the wastewater by adsorbing contaminants from aqueous solution. This review paper highlights the potential use of lignite in wastewater treatment industry.

Keywords: low rank coal, lignite, adsorbent, wastewater treatment.

SARI

Di Indonesia Batubara peringkat rendah (lignit) adalah batubara dengan kadar air tinggi, relatif murah dan mudah didapat. Tingginya kandungan air dari lignit membatasi aplikasinya sebagai bahan bakar dan menjadikannya kurang disukai sebagai bahan bakar komoditas ekspor. Namun, berbagai sifat ini tidak harus membatasi aplikasi lignit dalam industri pengolahan air. Memiliki karakteristik yang mirip dengan karbon aktif, lignit memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi berbagai kontaminan dari larutan limbah. Artikel mini-review ini menjelaskan mengenai potensi lignit sebagai material adsorben pada industri pengolahan limbah.

Kata kunci: lignit, adsorben, pengolahan limbah cair.

INTRODUCTION

Activated carbon is the most common adsorbent used in wastewater treatment, but it is expensive - especially where large water volumes are involved. The current average bulk price of activated carbon is listed as US\$ 2.5 kg⁻¹ and forecasted demand of about 2.3 million metric tons by the year 2017 (Polat *et al.* 2006; Vepsäläinen 2012). The high demand for activated carbon and its high cost have become drivers in the search for cheaper alternative adsorbent materials.

Lignite, a low rank coal, has been widely used to prepare commercial

activated carbons via an expensive pyrolysis stage (Duggan and Allen 1997). However, raw lignite itself has been widely used as an adsorbent for metal and organics (Allen and Brown 1995; Duggan and Allen 1997). Being plentiful, cheap (priced at \$5 - \$8 t⁻¹) and readily available in many parts of the world, raw lignite utilisation in industrial wastewater treatment would seem attractive. In principle, the used lignite may not require any expensive regeneration procedure or disposal requirements, since it may be simply consumed as fuel on site or, perhaps, disposed of as an agricultural aid (Qi *et al.* 2011).

Lignite: properties and characteristics

Coal is derived from a complex accumulation of plant debris. A definitive molecular structure of coal cannot be given due to its heterogeneous nature and any model is best considered as a 'statistical average'. For bituminous coals, the molecular structure is conceived to comprise aromatic structures in which clusters of aromatic groups are connected with various ether or aliphatic links. For low-rank coals, the molecular structure is more heterogeneous (Kidena *et al.* 2008).

The structural understanding of lignite is less developed compared to that of bituminous coal. A model by Hüttinger & Michenfelder ($C_{270}H_{240}O_{90}N_3S_3M_{10}$) was developed from the results of elemental analyses, pyrolysis experiments and titration studies and from extrapolation of literature data for similar coals (Hüttinger and Michenfelder 1987). The model includes some important functional groups in the brown coal structure, such as carboxylic and phenolic groups, long chains and exchanged metal cations (Figure 1).

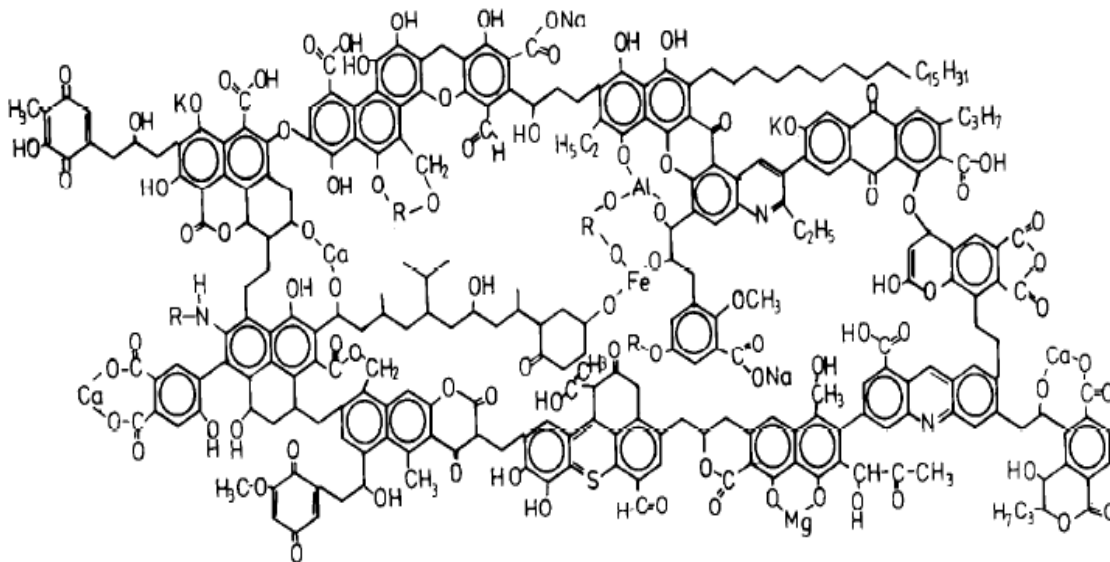


Figure 1. A model of low rank coal

Having properties between peat and bituminous coal, lignite is dark brown to black in colour when moist and light brown to black when dry. With density ranging from 1 to 1.3 g/cm³, lignite is typically amorphous and fibrous in texture (Pehlivan and Arslan 2007).

Various lignites mined from different parts of the world give very low surface areas when measured by the conventional BET N₂ method (see Table 1). This phenomenon is common for coals due to diffusion limitations at 77K that prevent the N₂ molecules from accessing the micropores in the coals (Pope 1984; Mahajan 1991). Due to this limitation, the surface area of coals is generally measured using CO₂ adsorption at higher

temperature, typically 273K. Carbon dioxide (3.3 Å) is a smaller molecule than nitrogen (3.65 Å) and has a critical temperature of 31.5°C (Mahajan 1991). The Dubinin-Radushkevich method is used to calculate surface area (Woskoboenko *et al.* 1991). The surface area of the lignite is now appreciable, but much lower than that of the activated carbon.

Adsorption Mechanism

The most prominent functional groups, phenols and carboxylic groups, give clear bands in the FTIR spectrum of the raw lignite (Figure 2.). The band at 1710 cm⁻¹ is the C=O stretching due to the carbonyl

and carboxyl groups. The absorption at 1630 cm⁻¹ is dominated by (C...C) stretching of aromatic rings, unsaturated olefinic bonds and poly-aromatic

structures, and C=O stretching of quinones bridged to acidic hydroxyl (Verheyen and Johns 1981).

Table 1. Surface area of various raw lignite samples measured by BET N₂ and CO₂ adsorption

No	Origin	Surface area (m ² /g)	Method	Year/ Reference
1	Turkey	2.06 – 2.96	BET N ₂	2006 (Pehlivan and Arslan 2006)
2	Greece	11.40	BET N ₂	2011 (Aivalioti <i>et al.</i> 2010)
3	Serbia	1	BET N ₂	2012 (Milicevic <i>et al.</i> 2012)
4	Australia	298 – 395	DR CO ₂	2011 (Qi <i>et al.</i> 2011)
5	Indonesia	180 – 243	DR CO ₂	2006 (Artanto 2006.)
6	USA	116 - 134	DR CO ₂	2006 (Artanto 2006.)
7	India	202 – 204	DR CO ₂	2006 (Artanto 2006.)

^{*)} BET = Brunauer-Emmett-Teller and DR = Dubinin Radushkevich (Woskoboenko *et al.* 1991)

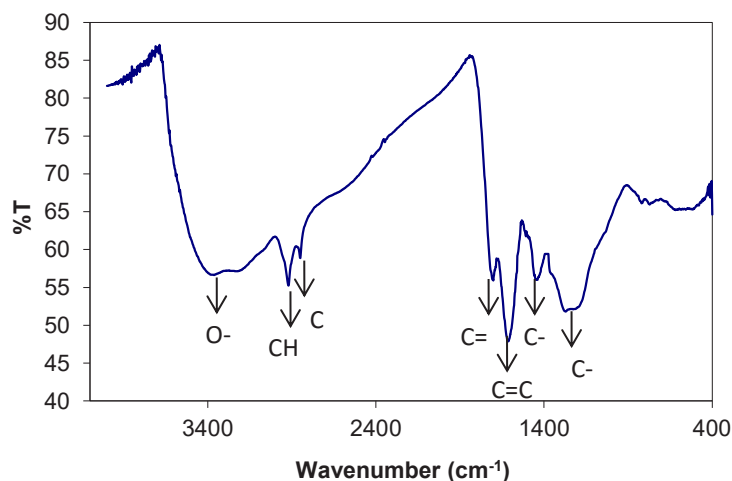
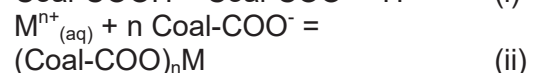


Figure 2. FTIR spectrum of lignite (Yuliani *et al.* 2012)

Among the heteroatoms in lignite, oxygen is the most abundant. The oxygen content of Victorian lignites varies from 25 to 30 percent (db) (Schafer 1991) and that of North Dakota lignites may be up to 20 percent (Harold 1995). The largest portion of the oxygen occurs in carboxyl and phenolic groups (Harold 1995). The carboxylate functional groups may exchange protons and facilitate the formation of carboxylate salts under appropriate pH conditions. These groups are the active sites that provide the ion exchange capability of lignite that enable its utilisation as a sorbent to remove heavy metals from aqueous solution. The detailed cation exchange mechanism of

the exchangeable groups on the coal (represented as Coal-COOH) and metal cations is as follows (Lafferty and Hobday 1990):



Utilisation of lignite as an industrial sorbent

Lignite for metal sorption

Heavy metal contamination is a threat to humans, animals and plants. Many of these metals are not

biodegradable and may accumulate in the environment due to their solubility in aqueous solution (Arslan and Pehlivan 2008). Heavy metals known to be toxic and carcinogenic include Zn, Cu, Ni, Hg, Cd, Pb and Cr (Fu and Wang 2011). Many techniques have been trialled for removing heavy metals from process water; these include precipitation, coagulation, flotation, electrochemical treatment, adsorption and membrane filtration. Among these, adsorption is still considered to be the most effective and economic method. The adsorption method offers simplicity, flexibility in design and the possibility of regenerating the used sorbent (Fu and Wang 2011). Owing to its cation-exchange properties and availability, lignite has attracted significant interest as an efficient sorbent for metal removal from aqueous solution (Schafer 1970) (Lafferty and Hobday 1990).

Turkish Beypazari lignite was used to remove some heavy metals, namely Cd, Hg and Pb, from wastewater from mining operations. It was found that the solution pH was a crucial factor in determining the extent of removal of a particular metal species in the wastewater solution. The optimum pH was measured to be 4 for Hg and Cd, and 5 for Pb (Arpa *et al.* 2000).

Lignite mined in South Moravia, Czech Republic, has been utilised for the sorption of some metal ions (Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} and Cd^{2+}) in aqueous solutions. The sorption capacities of the raw lignite for two highly toxic metals, lead and cadmium, were relatively high compared with other lignite-derived sorbents such as humic acids, humin and oxihumolite (Janos *et al.* 2007; Havelcová *et al.* 2009).

Lignite obtained from Martin Lake, TX, USA, was used for the sorption of some metal ions from acid mine drainage. The sorption capacities for Fe^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} at 25°C were found to be 34.22 mg g⁻¹, 25.84 mg g⁻¹ and 11.90 mg g⁻¹, respectively. It was found that both Freundlich and Langmuir isotherms fit the adsorption data reasonably well (Mohan and Chander 2006; Mohan and Chander 2006).

Sulfonated lignite from Yunnan was used for Cr (VI) ion sorption with 1 h contact time. The adsorption capacity was 26.79 – 27.87 mg g⁻¹ when calculated using the Langmuir equation. The correlation coefficient (R^2) was higher for the Langmuir isotherm compared to the Freundlich or Tempkin isotherms confirming better data fit for Langmuir model; hence suggesting a monolayer interaction (Zhang *et al.* 2010).

Four lignite samples mined from different areas in Greece were used for the removal of some metal ions (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} and Cu^{2+}) from aqueous solutions. Based on mass uptake, Pb^{2+} appeared to have the strongest affinity. This conclusion was supported by competitive adsorption experiments using solutions containing several different metal ions. The Langmuir model again fitted the adsorption data better than the Freundlich model, supporting the model of monolayer interaction and the involvement of an ion exchange mechanism (Pentari *et al.* 2009).

Lignite for organics removal

Organic pollutants are introduced into the environment by many industrial applications such as printing, leather, textile, petroleum, paint, pulp and paper, pesticide and rubber manufacture (Aksu 2005). Common organic contaminants include natural organic substances such as humic acids (HA), fulvic acids (FA), carbohydrates, proteins and carboxylic acids that are formed during decomposition of organic matter of vegetable origin (Schreiber *et al.* 2005; Aivalioti *et al.* 2010). There are also synthetic dyestuffs used extensively in textile and printing industries. Some of these compounds can be degraded by microorganisms in the activated sludge plant; however, a biorefractory portion of the effluent, which consists of high molecular weight oxidized organic compounds, is often an important fraction of the waste (Bijan and Mohseni 2005; Pöykiö *et al.* 2008).

Raw lignite from Soma, Turkey, having moisture content of 21%, has been used as an adsorbent for phenol removal from wastewaters. The adsorption capacity of lignite (10 mg g^{-1}) was much lower compared to that of activated carbon (300 mg g^{-1}) (Polat *et al.* 2006). When normalized for the surface area (lignite BET surface area of $4.79 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), the adsorption capacity was reported to be much larger for lignite (1.3 mg m^2) than for activated carbon ($0.05\text{-}0.3 \text{ mg m}^2$) (Polat *et al.* 2006). However, as described in section 2.2.2, the surface of lignite when measured using N_2 adsorption does not represent the actual surface area of the coal due to the limited access of N_2 to the coal micropores at 77K (Mahajan 1991). The low capacity of the coal for phenol was more likely due to the fact that phenol cannot adsorb via a cation-exchange mechanism.

An adsorbent bed of Loy Yang lignite from Victoria, Australia, was used to treat wastewater that resulted from a non-evaporative lignite dewatering technique called Mechanical Thermal Expression (MTE). This method achieved 60% reduction in COD and also removed about 25% of the total cations. The lignite adsorption capacity for dissolved organic carbon (DOC) was around 30 mg g^{-1} (Butler *et al.* 2008).

Lignite mined from Fushun, China, was utilized to adsorb an extracellular enzyme secreted by a fungus that was isolated from decaying wood. The maximum adsorption capacity for this enzyme was 2.0 mg g^{-1} . The Langmuir equation was applied to the experimental data giving a correlation coefficient of 0.98 (Yin *et al.* 2009).

Three Turkish lignite samples were used to adsorb a non-ionic dispersant, polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween-80) in the presence of sodium lauryl ether sulfate as a wetting agent. The Çayırhan-Ankara lignite exhibited particularly high adsorption of Tween-80, it was suggested, due to the high content of carboxylic groups on its surface. It was also noted that acidic to neutral conditions were favourable for the adsorption of the

Tween-80 dispersant by the lignites (Karatepe 2003). In this case the high adsorption cannot be due to cation exchange. Since, Tween-80 has a high concentration of polar (OH) groups, it is likely that it is the H-bonding of these groups with the polar carboxylic groups at the coal surface that leads to the high adsorption capacity.

Two Turkish lignite samples were also used to adsorb Pellapur B69 dispersant. It was reported that the adsorption capacity decreased from 7 mg g^{-1} to 4 mg g^{-1} when the lignite sample was oxidized. It was suggested that this was due to the changes at the lignite surface that made it more hydrophilic due to the formation of acidic functional groups (Yavuz and Küçükbayrak 2001). However, since the oxidation of the lignite sample was carried out at 473 K for 48 h, the loss of moisture and pore volume of lignite upon drying may have been a more dominant factor.

Loy Yang lignite was utilized to remove colour, total phosphorus and organics from wastewaters of a magnesium bisulphite pulp and paper mill. The coal exhibited multi-component adsorption of colour, organics and phosphorus from the solution. The coal showed an ability to remove phosphorus from the wastewater, which could not be achieved with activated carbon; yet it had significantly lower adsorption capacities for colour and organics than did activated carbon. The low capacity of the coal was due to the nature of organics and colour that carried negative charge in the wastewater and the absence of cation-exchange mechanism (Yuliani *et al.* 2012). The adsorption capacity of lignite for dyes varied depending on the nature of the dye and the charge carried by the dye molecules in aqueous solution. For basic and cationic dyes, the adsorption capacities were quite high and were comparable to those for activated carbon (Allen *et al.* 1994; Qi *et al.* 2011).

Various lignites and a coal-derived active carbon were investigated for cationic and anionic dye adsorption from aqueous solution. Coal-derived active

carbon showed consistent performance in adsorbing both cationic and anionic dyes with high adsorption capacities, due to its high surface area and pore volume. The adsorption capacity of the lignites for the anionic dye was only 15% of that for the cationic one, suggesting that a cation-exchange mechanism is the dominant mechanism involved. The study also demonstrated a loss of adsorption capacity of lignite upon drying which was attributed to pore collapse in the lignite structure (Yuliani *et al.* 2012).

Summary

Lignites have reasonably high adsorption capacities for some metal ions and dye solutions. The efficiency of lignites in adsorption processes is attributable, in most cases, to their cation exchange properties. Some of the lignite properties that influence the cation exchange properties include moisture content and the concentration of more strongly acidic (pKa~5) functional groups. The use of raw (wet) lignite as adsorbent without drying is advisable and makes it even more attractive as an alternative to expensive activated carbon.

References

- Aivalioti, M., D. Pothoulaki, P. Papoulias and E. Gidarakos (2010). "Removal of BTEX, MTBE and TAME from aqueous solutions by adsorption onto raw and thermally treated lignite." *Journal of Hazardous Materials* **178**(1-3): 136-143.
- Aksu, Z. (2005). "Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review." *Process Biochemistry* **40**(3-4): 997-1026.
- Allen, S. J. and P. A. Brown (1995). "Isotherm analyses for single component and multi-component metal sorption onto lignite." *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* **62**(1): 17-24.
- Allen, S. J., M. Murray, P. Brown and O. Flynn (1994). "Peat as an adsorbent for dyestuffs and metals in wastewater." *Resources, Conservation and Recycling* **11**(1-4): 25-39.
- Arpa, Ç., E. Basyilmaz, S. Bektas, Ö. Genç and Y. Yürüm (2000). "Cation exchange properties of low rank Turkish coals: removal of Hg, Cd and Pb from waste water." *Fuel Processing Technology* **68**(2): 111-120.
- Arslan, G. and E. Pehlivan (2008). "Uptake of Cr³⁺ from aqueous solution by lignite-based humic acids." *Bioresource Technology* **99**(16): 7597-7605.
- Artanto, Y. (2006.). Mechanical/thermal dewatering of low-rank coals: optimisation and dynamics of coal structure during the process. Clayton, PhD Thesis, Monash University. **PhD Thesis**: 33.
- Bijan, L. and M. Mohseni (2005). "Integrated ozone and biotreatment of pulp mill effluent and changes in biodegradability and molecular weight distribution of organic compounds." *Water Research* **39**(16): 3763-3772.
- Butler, C. J., A. M. Green and A. L. Chaffee (2008). "MTE water remediation using Loy Yang brown coal as a filter bed adsorbent." *Fuel* **87**(6): 894-904.
- Duggan, O. and S. J. Allen (1997). "Study of the physical and chemical characteristics of a range of chemically treated, lignite based carbons." *Water Science and Technology* **35**(7): 21-27.
- Fu, F. and Q. Wang (2011). "Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review." *Journal of Environmental Management* **92**(3): 407-418.
- Harold, H. S. (1995). Chapter 3 The organic structure of lignites. *Coal Science and Technology*, Elsevier. **Volume 23**: 79-138.
- Havelcová, M., J. Mizera, I. Sýkorová and M. Pekar (2009). "Sorption of metal ions on lignite and the derived humic substances." *Journal of*

- Hazardous Materials* **161**(1): 559-564.
- Hüttinger, K. J. and A. W. Michenfelder (1987). "Molecular structure of a brown coal." *Fuel* **66**(8): 1164-1165.
- Janos, P., J. Sypecká, P. Mlckovská, P. Kurán and V. Pilarová (2007). "Removal of metal ions from aqueous solutions by sorption onto untreated low-rank coal (oxihumolite)." *Separation and Purification Technology* **53**(3): 322-329.
- Karatepe, N. (2003). "Adsorption of a non-ionic dispersant on lignite particle surfaces." *Energy Conversion and Management* **44**(8): 1275-1284.
- Kidena, K., S. Murata and M. Nomura (2008). "A newly proposed view on coal molecular structure integrating two concepts: Two phase and uniphase models." *Fuel Processing Technology* **89**(4): 424-433.
- Lafferty, C. and M. Hobday (1990). "The use of low rank brown coal as an ion exchange material: 1. Basic parameters and the ion exchange mechanism." *Fuel* **69**(1): 78-83.
- Mahajan, O. P. (1991). "CO₂ surface area of coals: The 25-year paradox." *Carbon* **29**(6): 735-742.
- Milicevic, S., T. Boljanac, S. Martinovic, M. Vlahovic, V. Milosevic and B. Babic (2012). "Removal of copper from aqueous solutions by low cost adsorbent-Kolubara lignite." *Fuel Processing Technology* **95**(0): 1-7.
- Mohan, D. and S. Chander (2006). "Removal and recovery of metal ions from acid mine drainage using lignite--A low cost sorbent." *Journal of Hazardous Materials* **137**(3): 1545-1553.
- Mohan, D. and S. Chander (2006). "Single, binary, and multicomponent sorption of iron and manganese on lignite." *Journal of Colloid and Interface Science* **299**(1): 76-87.
- Pehlivan, E. and G. Arslan (2006). "Comparison of adsorption capacity of young brown coals and humic acids prepared from different coal mines in Anatolia." *Journal of Hazardous Materials* **138**(2): 401-408.
- Pehlivan, E. and G. Arslan (2007). "Removal of metal ions using lignite in aqueous solution--Low cost biosorbents." *Fuel Processing Technology* **88**(1): 99-106.
- Pentari, D., V. Perdikatsis, D. Katsimicha and A. Kanaki (2009). "Sorption properties of low calorific value Greek lignites: Removal of lead, cadmium, zinc and copper ions from aqueous solutions." *Journal of Hazardous Materials* **168**(2-3): 1017-1021.
- Polat, H., M. Molva and M. Polat (2006). "Capacity and mechanism of phenol adsorption on lignite." *International Journal of Mineral Processing* **79**(4): 264-273.
- Pope, C. G. (1984). "Lignite porosity study by kinetics of gas adsorption." *Fuel* **63**(12): 1681-1686.
- Pöykiö, R., H. Nurmesniemi and V. Kivilinna (2008). "EOX concentrations in sediment in the part of the Bothnian Bay affected by effluents from the pulp and paper mills at Kemi, Northern Finland." *Environmental Monitoring and Assessment* **139**(1-3): 183-194.
- Qi, Y., A. F. A. Hoadley, A. L. Chaffee and G. Garnier (2011). "Characterisation of lignite as an industrial adsorbent." *Fuel* **90**(4): 1567-1574.
- Schafer, H. N. S. (1970). "Carboxyl groups and ion exchange in low-rank coals." *Fuel* **49**(2): 197-213.
- Schafer, H. N. S. (1991). Chapter 7: Functional groups and ion exchange properties. *The science of Victorian Brown Coal*. R.A.Durie. Oxford, Butterworth-Heinemann Ltd: 323-357.
- Schreiber, B., T. Brinkmann, V. Schmalz and E. Worch (2005). "Adsorption of dissolved organic matter onto activated carbon--the influence of temperature, absorption

- wavelength, and molecular size." *Water Research* **39**(15): 3449-3456.
- Vepsäläinen, M. (2012). Electrocoagulation in the treatment of industrial water and wastewater. *Department of Chemistry_Finland, University of Jyväskylä*.
- Woskoboenko, F., W. O. Stacy and D. Raisbeck (1991). Physical structure and properties of brown coal. *The science of Victorian brown coal: structure, properties and consequences for utilization*. R. A. Durie. Oxford, Butterworth-Heinemann: 152-246.
- Yavuz, R. and S. Küçükbayrak (2001). "An investigation of some factors affecting the dispersant adsorption of lignite." *Powder Technology* **119**(2-3): 89-94.
- Yin, S.-d., X.-x. Tao and K.-y. Shi (2009). "Bio-solubilization of Chinese lignite II: protein adsorption onto the lignite surface." *Mining Science and Technology (China)* **19**(3): 363-368.
- Yuliani, G., G. Garnier and A. L. Chaffee (2012). "Adsorption of model anionic and cationic dyes from solution on raw and treated brown coal." *Submitted to Fuel*.
- Yuliani, G., Y. Qi, A. Hoadley, A. L. Chaffee and G. Garnier (2012). "Lignite clean up of magnesium bisulphite pulp mill effluent as a proxy for aqueous discharge from ligno-cellulosic biorefinery." *Biomass and Bioenergy* **36**: 411.
- Zhang, R., B. Wang and H. Ma (2010). "Studies on Chromium (VI) adsorption on sulfonated lignite." *Desalination* **255**(1-3): 61-66.

Diterima	: 26 Mei 2015
Direvisi	: 6 Juli 2015
Disetujui	: 31 Juli 2015

PENENTUAN KESAMAAN RESERVOAR SISTEM PANAS BUMI KADIDIA DAN KADIDIA SELATAN KABUPATEN SIGI, PROVINSI SULAWESI TENGAH BERDASARKAN METODA GEOKIMIA

DETERMINATION OF RESERVOIR SIMILARITY OF KADIDIA AND KADIDIA SELATAN GEOTHERMAL SYSTEMS BASED ON GEOCHEMICAL METHOD IN SIGI REGENCY, CENTRAL SULAWESI PROVINCE

**Andri Eko Ari Wibowo, Mochamad Nurhadi, Yuanno Rezky,
Dudi Hermawan, Dede Iim Setiawan**
Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No.444, Bandung
Email: andri.bdg@gmail.com

SARI

Pembentukan sistem panas bumi di daerah Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan berhubungan dengan aktivitas tektonik yang masih aktif yaitu pada segmen sesar Palu Koro. Hal ini memungkinkan sistem panas buminya mempunyai manifestasi dan reservoir yang bertemperatur tinggi. Litologi daerah ini didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit dengan bagian depresinya diisi oleh endapan permukaan.

Ditemukannya manifestasi air panas dan tanah panas bertemperatur mendidih di Kadidia Selatan mengindikasikan sistem ini mempunyai temperatur reservoir yang tinggi. Panas yang tinggi ini dipicu oleh aktivitas tektonik yang masih aktif yang memanaskan kembali batuan granit. Temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan diperkirakan 240°C dengan pembentukan fluida panas bumi yang berasal dari pencampuran dengan fluida magmatis. Sedangkan daerah Kadidia yang memiliki temperatur yang lebih rendah, sistem panas bumi ini diperkirakan berhubungan dengan sirkulasi dalam dimana air meteorik terpanaskan oleh batuan panas yang kemudian muncul di permukaan sebagai air panas, dengan temperatur reservoir daerah Kadidia diperkirakan 130°C s.d 140°C.

Sistem panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan mempunyai reservoir yang berbeda. Hal ini terlihat dari karakteristik geokimia fluida yang berbeda seperti komposisi unsur-unsur utama, unsur-unsur konservatif, daya hantar listrik, dan isotop. Litologi batuan yang berbeda serta adanya sesar yang membatasi kedua sistem ini juga menegaskan bahwa kedua daerah ini mempunyai reservoir yang berbeda. Namun untuk mengetahui apakah kedua daerah ini mempunyai sistem yang sama atau tidak, belum dapat diketahui karena membutuhkan kajian lebih lanjut.

Kata kunci : panas bumi, non-vulkanik, sesar aktif Palu Koro

ABSTRACT

Kadidia and Kadidia Selatan geothermal system are thought to be related to Palu Koro fault activity. This enables the geothermal system to have a high temperature of manifestations and reservoir. Lithology of this area is dominated by granitic type of plutonic rock, with the depression area filled by surficial deposit.

Boiling springs and high temperature hot ground that are found in Kadidia Selatan indicate this system has high temperature of reservoir. This high heat was triggered by tectonic activity that reheating the possible heat source. The reservoir temperature of this system is

about 240°C with the source of geothermal fluid came from mixing with magmatic fluid. Kadidia geothermal system, that has lower temperature, is estimated to be related to deep circulation system where meteoric water was heated by heated rock in the depth and reach to the surface as hot spring. The reservoir temperature of this system is about 130-140°C.

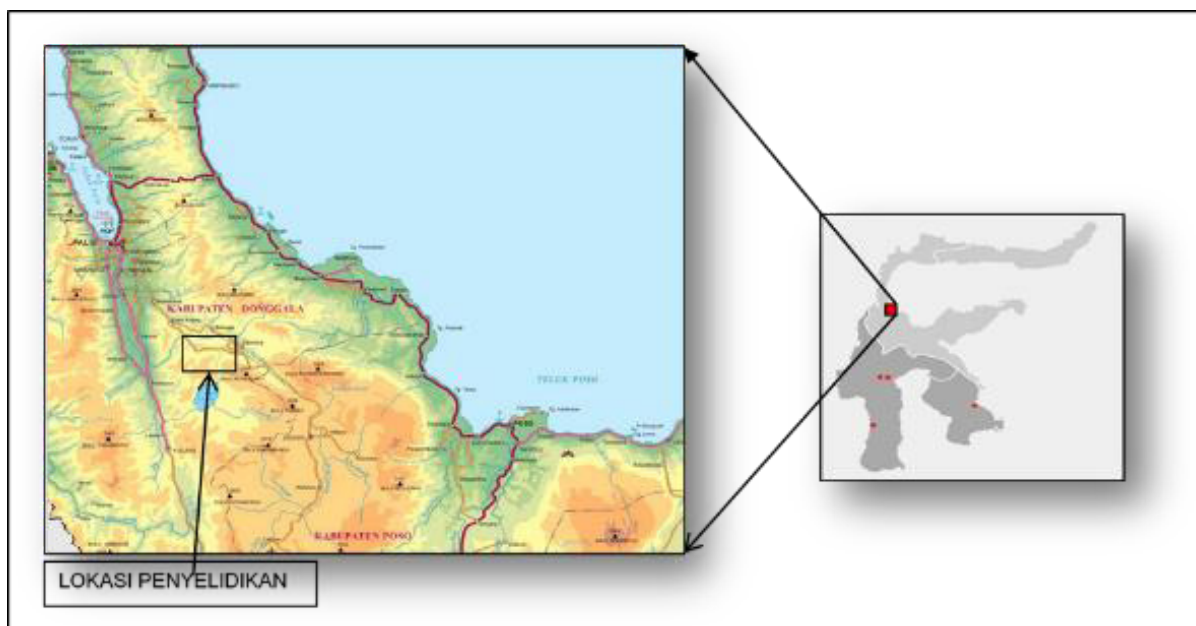
Kadidia and Kadidia Selatan is estimated to have different reservoir. It is known from the differences of fluid characteristic such as chemical composition of major element, conservative element, conductivity, and isotopic ratio. The differences of rock lithology and the presence of fault system which separate the geothermal system are also confirming that these two areas have different reservoirs. However, further studies are necessary to find out whether these areas have the same geothermal system.

Keyword : geothermal, non-volcanic, Palu Koro active fault

PENDAHULUAN

Sistem panas bumi di Indonesia dibagi menjadi sistem panas bumi vulkanik dan non-vulkanik. Di Indonesia sistem panas bumi non-vulkanik belum dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik, salah satunya karena kurangnya pemahaman

mengenai geosains sistem tersebut. Sistem panas bumi di Sulawesi, selain di Sulawesi bagian Utara, sebagian besar lokasi panas bumi berasosiasi dengan sistem non-vulkanik, diantaranya Kadidia. Secara administratif, daerah Kadidia berada wilayah Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penyelidikan

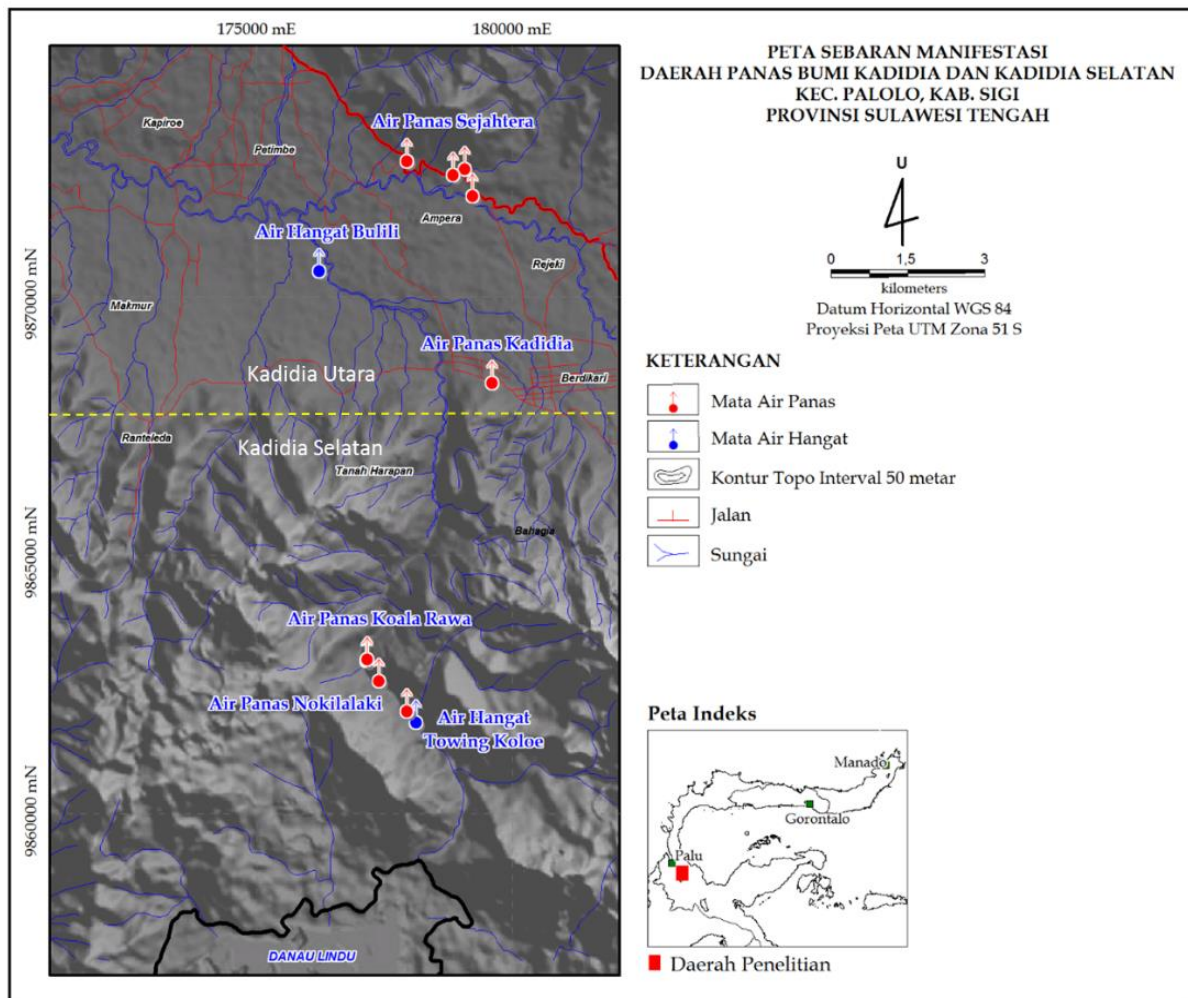
Daerah panas bumi Kadidia terletak pada tataan geologi Sulawesi bagian Tengah. Secara geologi, batuan di daerah Kadidia didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit dan batuan metamorf. Pembentukan sistem panas bumi di daerah tersebut erat kaitannya dengan

aktivitas tektonik yang masih aktif hingga saat ini yaitu segmen sesar aktif Palu Koro.

Pemunculan manifestasi panas bumi tersebar dari daerah tinggian Tongoa yang memanjang ke arah utara hingga ke

daerah depresi Kadidia sepanjang sekitar 11 km. Manifestasi panas bumi dipermukaan yang muncul di daerah depresi disebut sebagai kelompok

Kadidia, sedangkan yang di daerah tinggian Tongoa disebut kelompok Kadidia Selatan (Gambar 2).



Gambar 2. Peta sebaran manifestasi daerah panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan

Manifestasi panas bumi di permukaan yang muncul di Kadidia berupa mata air panas (51°C s.d 81°C) dan batuan alterasi. Air panas Kadidia mempunyai derajat keasaman pH netral sampai cenderung basa dan mempunyai daya hantar listrik (DHL) 500 - 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sedangkan manifestasi di daerah Kadidia Selatan berupa mata air panas, tanah panas, dan batuan alterasi. Temperatur air panas berkisar 80,5°C s.d 98,8°C, pH netral kearah basa, dan daya hantar listrik (DHL) 1.400 - 1.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dan tanah panas beruap dengan temperatur 100°C.

Sumber fluida manifestasi yang muncul di daerah Kadidia dan Kadidia Selatan ini masih diperdebatkan apakah berasal dari sumber reservoir yang sama atau tidak. Melalui pemodelan berdasarkan data geologi dan geokimia diharapkan dapat menjawab perdebatan tersebut.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

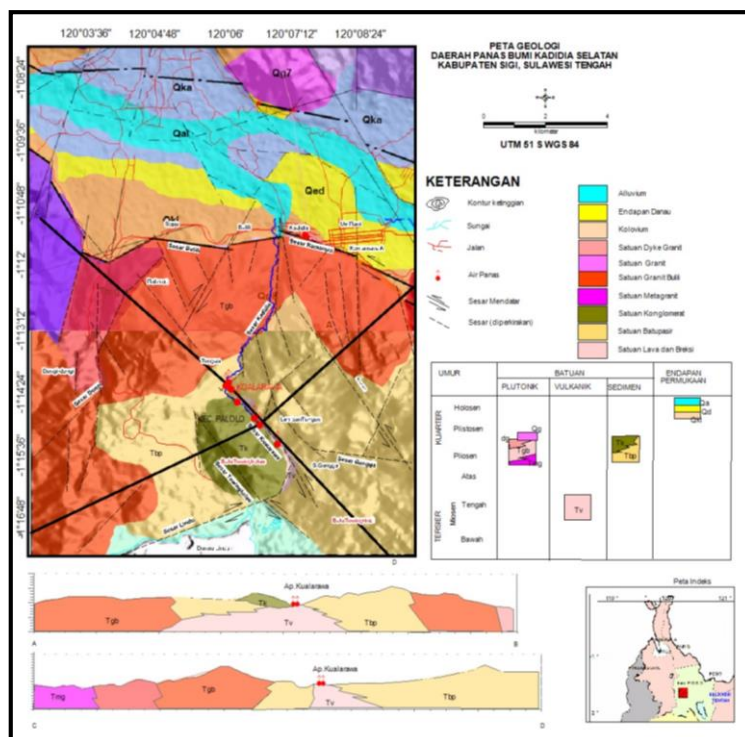
Batuan tertua yang tersingkap di daerah penyelidikan berupa batuan malihan derajat rendah dari jenis granit yang secara regional termasuk ke dalam Granit

Kambuno berumur Pliosen. Kegiatan magmatisme terus berlangsung hingga terbentuknya batuan plutonik terakhir berkomporsi granitik-dasitik yang juga dijumpai di daerah penyelidikan. termuda di daerah penyelidikan (**Gambar 3**). Satuan plutonik yang paling muda berkomporsi granitik-dasitik ini diperkirakan berumur Plio-plistosen, menembus satuan batuan yang lebih tua, dan diperkirakan sebagai satuan yang berasosiasi dengan batuan di bawah permukaan yang masih menyimpan panas.

Kegiatan tektonik berlangsung seiring dengan kegiatan magmatisme muda baik berupa pengangkatan maupun regangan. Proses pengangkatan ditandai dengan tersingkapnya batuan-batuan plutonik ke permukaan, sedangkan proses regangan ditandai dengan terbentuknya *pull-apart basin* di bagian tengah daerah penyelidikan. Cekungan yang terbentuk akibat depresi ini diisi oleh material-material sedimen hasil rombakan batuan yang lebih tua, diantaranya adalah endapan danau, koluvium, kipas aluvium, dan endapan aluvial

Setidaknya diamati delapan litologi batuan plutonik yang berlangsung dari terbentuknya metagranit, ditandai dengan granit 7 (Qg7) dan granit 8 (Qg8) yang diperkirakan merupakan batuan plutonik merupakan satuan batuan termuda di daerah penyelidikan, proses pembentukannya masih terus berlangsung hingga sekarang.

Tektonisme yang masih aktif hingga saat ini adalah pergerakan sesar aktif Palu Koro yang salah satu segmennya mengarah ke daerah penelitian dengan arah barat baratlaut - timur tenggara (NWW-SEE). Aktifitas tektonik ini yang diperkirakan mengontrol pembentukan sistem panas bumi di daerah Kadidia dan Kadidia Selatan. Morfologi pedataran di Kadidia terbentuk oleh suatu perkembangan depresi yang dikontrol oleh mekanisme *pull-apart* dari sesar mendatar berarah barat baratlaut - timur tenggara (NWW-SEE) dan sesar-sesar normal yang terbentuk di dalamnya. Depresi ini membentuk suatu cekungan dimana di dalamnya terakumulasi endapan permukaan.



Gambar 3. Peta geologi daerah panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengamatan di lapangan, pengambilan conto, analisis laboratorium dan interpretasi data. Pengamatan yang dilakukan di lapangan meliputi pengamatan sebaran batuan ubahan dan karakteristik fisik manifestasi panas bumi seperti temperatur, pH, debit air dan daya hantar listrik. Pengamatan geologi meliputi pengamatan litologi dan indikasi struktur-struktur geologi yang muncul. Pengambilan conto geokimia berupa pengambilan conto air dan batuan ubahan, untuk selanjutnya dilakukan analisis mineral ubahan dan geokimia air seperti anion, kation dan isotop di laboratorium. Pengambilan conto gas juga dilakukan pada hembusan-hembusan uap panas yang terdapat pada sekitar tanah panas di area manifestasi Koala Rawa.

Metode analisis yang digunakan terhadap 15 unsur-unsur terlarut meliputi anion utama Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , kation seperti Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Li^+ dan beberapa senyawa dan unsur netral seperti SiO_2 , NH_3 , F, B, menggunakan ion kromatografi, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan spektrometri. Untuk mengetahui kandungan isotop stabil Deuterium dan Oksigen-18 digunakan *Mass Spectrometer* (MS). Mineralogi penyusun batuan ubahan dideskripsi dengan menggunakan analisis petrografi yang didukung dengan analisis Spektra Mineral dengan menggunakan alat *Portable Infrared Mineral Analyzer* (PIMA). Metode analisis gas menggunakan kromatografi gas (GC) untuk mengetahui komposisi He , H_2 , O_2 , Ar , N_2 , CH_4 , CO , CO_2 , H_2S , HCl , dan NH_3 . Data hasil

analisis laboratorium kemudian diinterpretasi sehingga karakteristik fluida yang terdapat di daerah penelitian dapat diketahui yang selanjutnya digunakan untuk pembuatan model geokimia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Manifestasi Panas Bumi Di Permukaan

Kenampakan gejala panas bumi di daerah penelitian berupa mata air panas, tanah panas, dan batuan alterasi yang muncul di beberapa lokasi (lihat **Gambar 2**). Karakteristik fisik dari manifestasi air panas dan air hangat ditampilkan pada **tabel 1**. Pada tabel 1 terlihat bahwa temperatur manifestasi dan nilai DHL di Kadidia Selatan lebih tinggi dibandingkan di Kadidia. Di Kadidia Selatan juga ditemukan tanah panas Koala Rawa yang berada di dalam kompleks manifestasi Koala Rawa dengan suhu tanah panas berkisar antara 50 – 100°C dan luas sekitar 100 x 100 m.

Batuan ubahan intensif ditemukan di Kadidia Selatan yang terbentuk di sepanjang sungai Koala Rawa dengan warna fisik kehijauan dan putih hingga kekuningan. Di sekitar Koala Rawa ubahan mencapai 1 km² dengan komposisi mineral seperti montmorilonit, paragonit, epidot, alunit, illit, kaolinit, halosit. Mineral epidot, illit dan kaolinit menunjukkan mineral yang terbentuk pada temperatur tinggi, sedangkan montmorilonit pada temperatur rendah dengan pH netral. Terdapat pula sinter karbonat dan sinter silika di sekitar manifestasi Kadidia Selatan.

Tabel 1. Manifestasi panas bumi daerah Kadidia dan Kadidia Selatan

NO	MANIFESTASI	LOKASI	TEMPERATUR (°C)	pH	DHL (µS/cm)	DEBIT (lt/dtk)
1	Kelompok air panas Nokilalaki	Kadidia Selatan	80,5 - 96,4	7,9 - 8,3	1.450 - 1.701	0,1 - 0,5
2	Kelompok air panas Koala Rawa		96,6 - 98,8	7,9 - 9,4	1.803 - 1.844	4 - 10
3	Air hangat Towing Koloe		40,2	7,1	144	0,4
4	Tanah Panas Koala Rawa		50 – 100	-	-	-
5	Air panas Kadidia	Kadidia	81,6	8,3	529	2
6	Kelompok air panas Sejahtera		51 - 62,8	6,9 - 8,4	500 - 700	0,6
7	Air hangat Bulili		40,4	6,82	300	0,1

Hasil Analisis Laboratorium

Enam conto air panas diperoleh di daerah Kadidia yang meliputi air panas Sejahtera 1, 2, 3, dan 4, air panas Bulili, serta air panas Kadidia, sedangkan lima conto air panas yang lain diperoleh dari daerah

Kadidia selatan yaitu di lokasi air panas Koala Rawa 1 dan 2, air panas Nokilalaki 1 dan 2, serta air panas Towing Koloe. Hasil analisis kimia air yang terdapat di daerah penelitian ditampilkan dalam **tabel 2.**

Tabel 2. Hasil analisis kimia air panas daerah Kadidia dan Kadidia Selatan

PARAMETER	KADIDIA						KADIDIA SELATAN				
	AP Sejahtera 1	AP Sejahtera 2	AP Sejahtera 3	AP Sejahtera 4	AP Bulili	AP Kadidia	AP Nokilalaki 1	AP Nokilalaki 2	AP Koala Rawa 1	AP Koala Rawa 2	AP Towing Koloe
	APS-1	APS-2	APS-3	APS-4	APB	APK	APNKL-1	APNKL-2	APKRW-1	APKRW-2	APTWK
pH	6,97	8,41	7,83	7,75	6,82	8,32	8,32	7,90	9,41	7,91	7,10
DHL (µS/cm)	700	595	687	499	300	974	1727	1449	1815	1847	141
SiO ₂ (mg/L)	54,94	58,34	57,85	42,39	42,81	65,37	296,40	195,84	270,83	275,51	47,82
B (mg/L)	0,32	0,25	0,32	0,18	0,22	0,47	4,04	3,29	3,72	3,85	0,02
Al ³⁺ (mg/L)	0,01	0,08	0,01	1,05	0,00	0,08	0,03	0,01	0,02	0,06	0,01
Fe ³⁺ (mg/L)	0,07	0,05	0,06	0,93	0,07	0,14	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01
Ca ²⁺ (mg/L)	7,86	0,31	5,83	1,83	9,49	2,19	12,30	20,30	8,60	15,00	10,05
Mg ²⁺ (mg/L)	1,78	0,12	0,59	0,77	1,91	0,1	0,01	6,01	0,90	1,50	4,24
Na ⁺ (mg/L)	95,12	87,13	112,80	64,24	54,52	128,3	343,50	294,80	379,60	372,40	15,96
K ⁺ (mg/L)	2,57	2,12	2,30	2,78	2,59	2,8	37,00	44,90	30,77	33,21	2,30
Li ⁺ (mg/L)	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,10	1,18	0,86	1,19	1,21	0,00
As ³⁺ (mg/L)	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,01	1,00	1,00	0,01
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,86	0,25	1,47	0,84	0,21	0,32	0,87	0,81	0,52	0,42	0,10
F ⁻ (mg/L)	2,36	4,20	3,50	0,86	0,99	2,69	3,81	2,09	3,78	3,88	0,05
Cl ⁻ (mg/L)	82,45	59,53	99,53	6,00	14,00	102,45	347,13	302,89	410,59	391,32	0,36
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	6,00	27,04	18,11	12,00	6,00	40,44	41,37	26,61	23,72	37,62	11,44
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	150,00	82,68	118,65	160,85	149,43	112,86	315,64	382,87	360,75	372,31	77,34
CO ₃ ⁼ (mg/L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
meq cat	4,87	3,90	5,39	3,23	3,09	5,82	16,77	15,65	18,05	18,17	1,61
meq an.	5,03	3,82	5,31	3,10	3,02	5,72	16,03	15,48	18,19	18,13	1,52
% IB	-1,63	1,05	0,74	2,12	1,10	0,83	2,25	0,54	-0,39	0,11	2,95

Sedangkan contoh gas hanya didapatkan pada manifestasi Kadidia Selatan yang ditampilkan dalam **tabel 3**.

Tabel 3. Hasil analisis kimia gas daerah panas bumi Kadidia Selatan

KODE CONTO		PB -5 2014	PB -7 2014
		<i>Dry base</i>	<i>Dry base</i>
He	% mol	tt	Tt
H ₂	% mol	tt	Tt
O ₂	% mol	20.0396	0.2516
Ar	% mol	1.0353	0.8955
N ₂	% mol	75.7462	95.1403
CH ₄	% mol	tt	Tt
CO	% mol	tt	Tt
CO ₂	% mol	2.6528	3.4979
H ₂ S	% mol	0.0000	0.0000
HCl	% mol	0.5239	0.2147
NH ₃	% mol	0.0022	Tt

Ket : tt = tidak terdeteksi

Karakteristik Fluida Panas Bumi

Hasil analisis kimia pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa air panas dan air dingin di daerah penelitian mempunyai kesetimbangan ion (*ion balance*) kurang dari 5%. Untuk mengetahui karakteristik dan tipe air panas berdasarkan data yang diperoleh pada **Tabel 1**, dilakukan *plotting* komposisi kimia dari mata air panas pada diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, Na-K-Mg dan Cl-Li-B yang mengacu pada Giggenbach (1988).

Berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (**gambar 4**), fluida panas bumi di sistem Kadidia dan Kadidia Selatan didominasi oleh air klorida dan air bikarbonat. Air klorida umumnya merupakan air panas bertemperatur tinggi seperti air panas Koala Rawa, Nokilalaki, Kadidia, dan Sejahtera 2 dan Sejahtera 3. Air panas Koala Rawa dan Nokilalaki di daerah Kadidia Selatan yang bertemperatur mendidih, berada pada

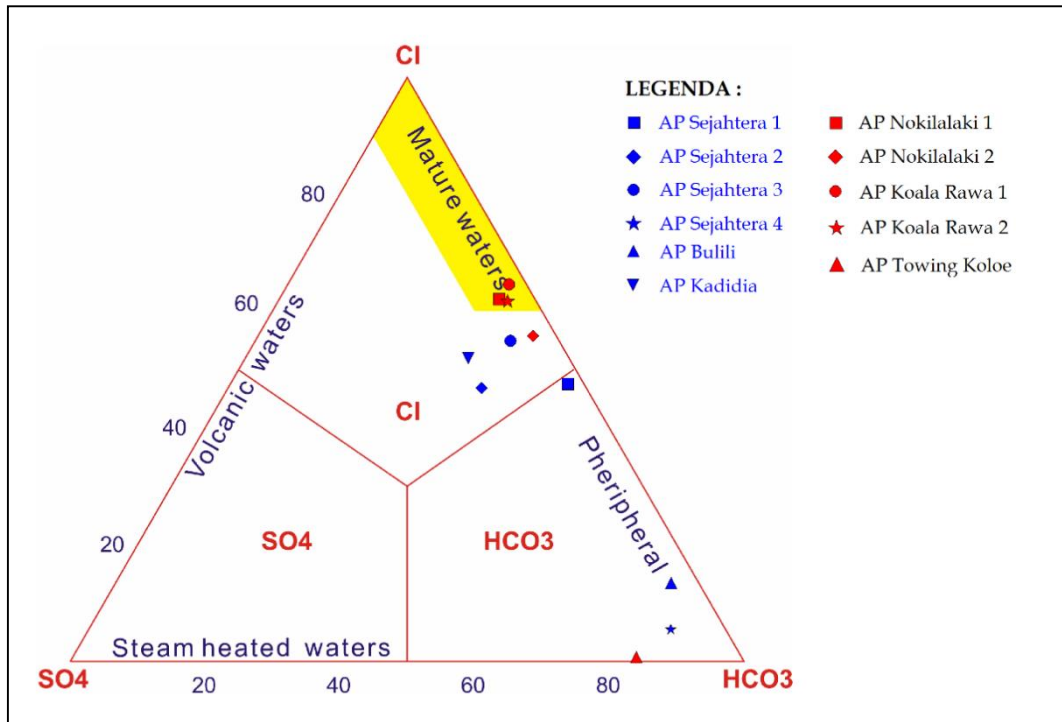
zona *mature water*, yang mengindikasikan bahwa air panas tersebut berasal langsung dari reservoir. Hal ini juga ditunjukkan pada diagram segitiga Na-K-Mg (**gambar 5**) yang berada pada zona *partial equilibrium*, yang mencerminkan fluida reservoir dengan perkiraan temperatur fluida 200°C s.d 250°C.

Demikian juga air panas Kadidia, Sejahtera 2 dan Sejahtera 3 berada di *partial equilibrium* namun diperkirakan berasal dari reservoir dengan temperatur lebih rendah yaitu 100°C s.d 140°C. Air panas lainnya berada di zona *immature water* yang menunjukkan adanya pencampuran air permukaan dengan fluida reservoir.

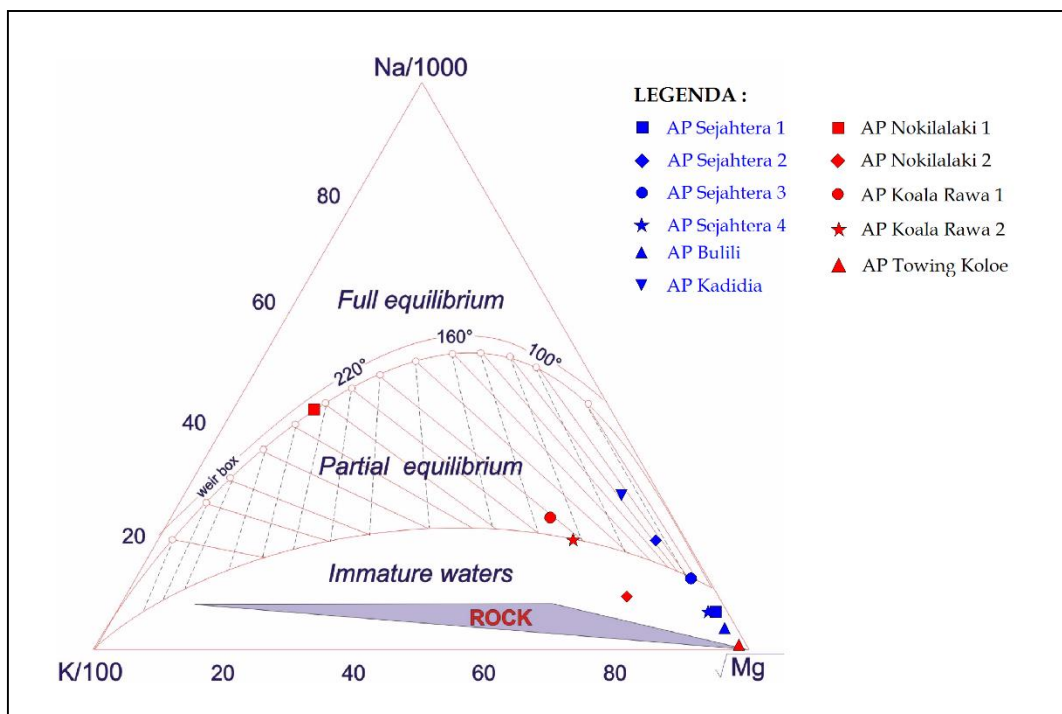
Untuk mengetahui kesamaan reservoir (*common source reservoir*) berdasarkan fluida air panas dari daerah Kadidia dan Kadidia Selatan, dapat diketahui dengan menggunakan diagram segitiga CL-Li-B (Nicholson, 1993) (**gambar 6**).

Berdasarkan diagram segitiga tersebut, terlihat bahwa terdapat dua kelompok (*cluster*) air panas dengan karakteristik yang berbeda yang menunjukkan air panas Kadidia dan Kadidia Selatan berasal dari reservoir yang berbeda.

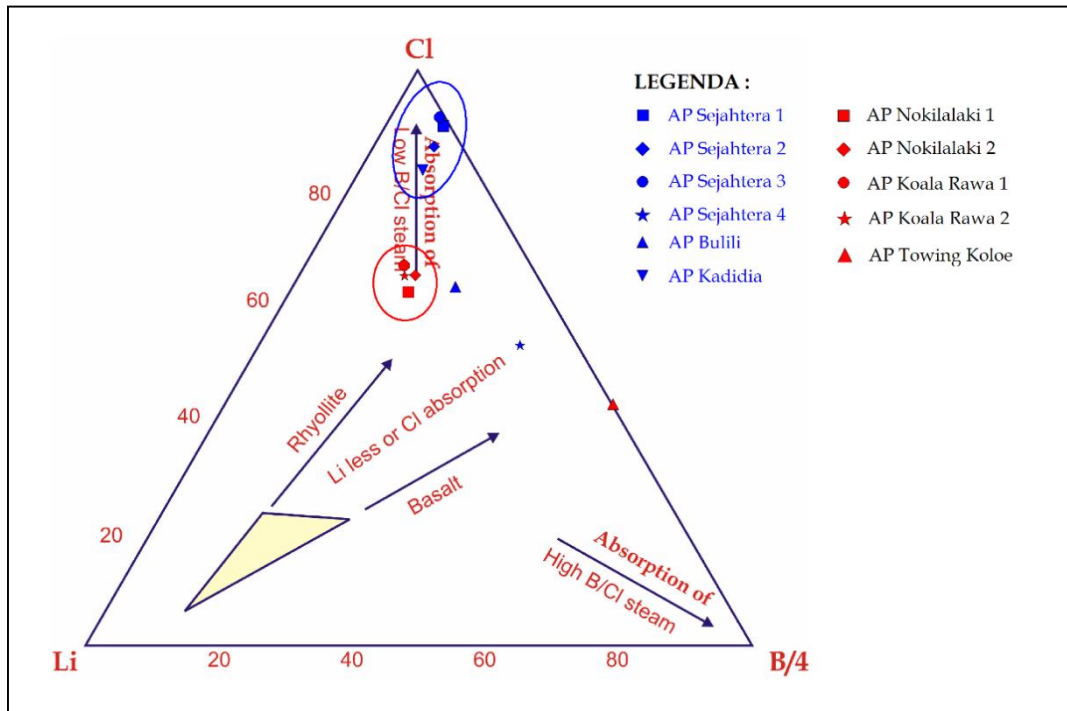
Namun untuk mengetahui apakah kedua daerah tersebut mempunyai sistem panas bumi yang sama atau tidak, belum dapat diketahui karena memerlukan penelitian lebih lanjut.



Gambar 4. Diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃



Gambar 5. Diagram segitiga Na-K-Mg

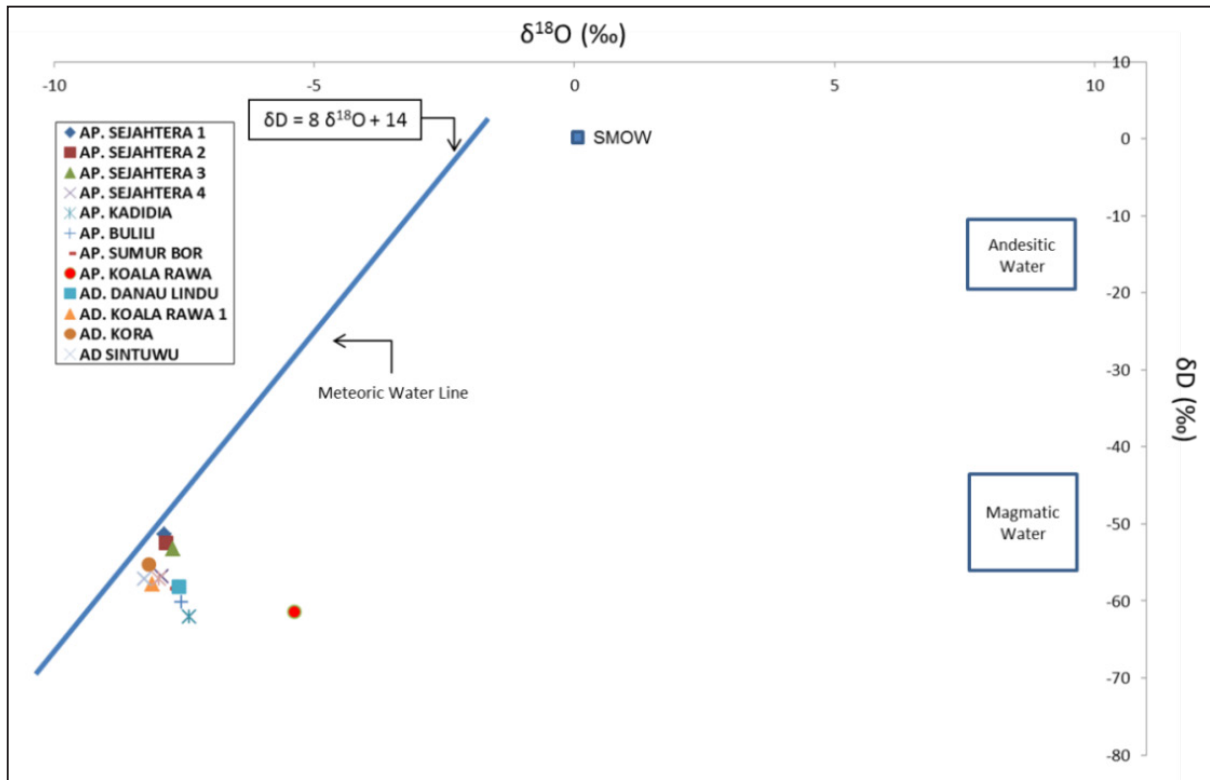


Gambar 6. Diagram segitiga Cl-Li-B

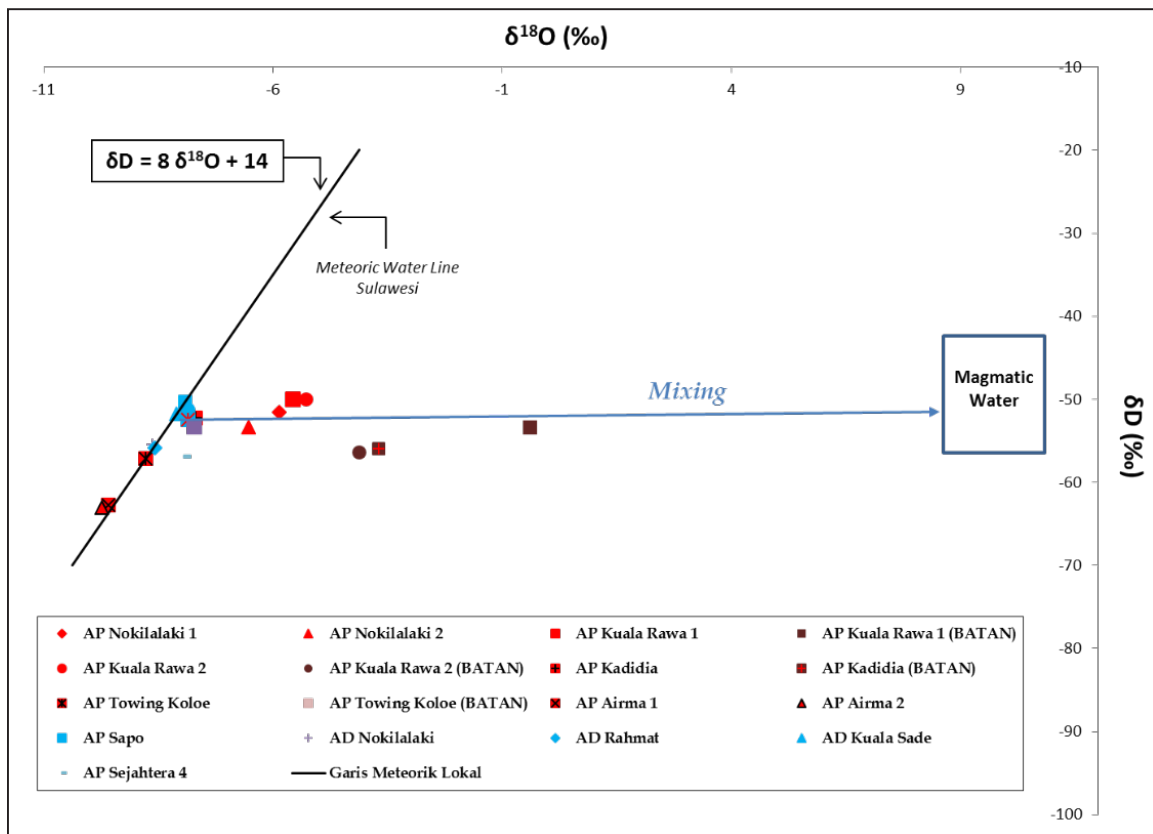
Berdasarkan data hasil analisis isotop ^{18}O dan Deuterium pada sampel air panas daerah Kadidia Selatan, yaitu Koala Rawa dan Nokilalaki yang mempunyai temperatur permukaan tinggi, cenderung menjauhi garis air meteorik (*Meteoric Water Line*) (**gambar 7**). Hal ini mengindikasikan telah terjadinya pengkayaan ^{18}O akibat adanya interaksi fluida panas dengan batuan di kedalaman atau kemungkinan pengenceran oleh air meteorik sangat kecil. Pada **gambar 8** terlihat asal-usul pembentukan fluida panas bumi daerah Kadidia Selatan, yaitu terjadi

mixing/pencampuran dengan fluida magmatik dengan perkiraan persentase komposisi fluida magmatik sebesar $\pm 10-20\%$.

Untuk air panas lainnya di daerah Kadidia, hasil *plotting* terletak mendekati garis air meteorik. Hal ini mengindikasikan bahwa air panas tersebut dipengaruhi oleh air permukaan. Sebagai perbandingan dilakukan pula pengukuran isotop untuk air dingin di daerah Kadidia Selatan yang diambil dari mata air pegunungan dimana hasil *plotting* air dingin berada mendekati garis air meteorik.



Gambar 7. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan δD daerah panas bumi Kadidia

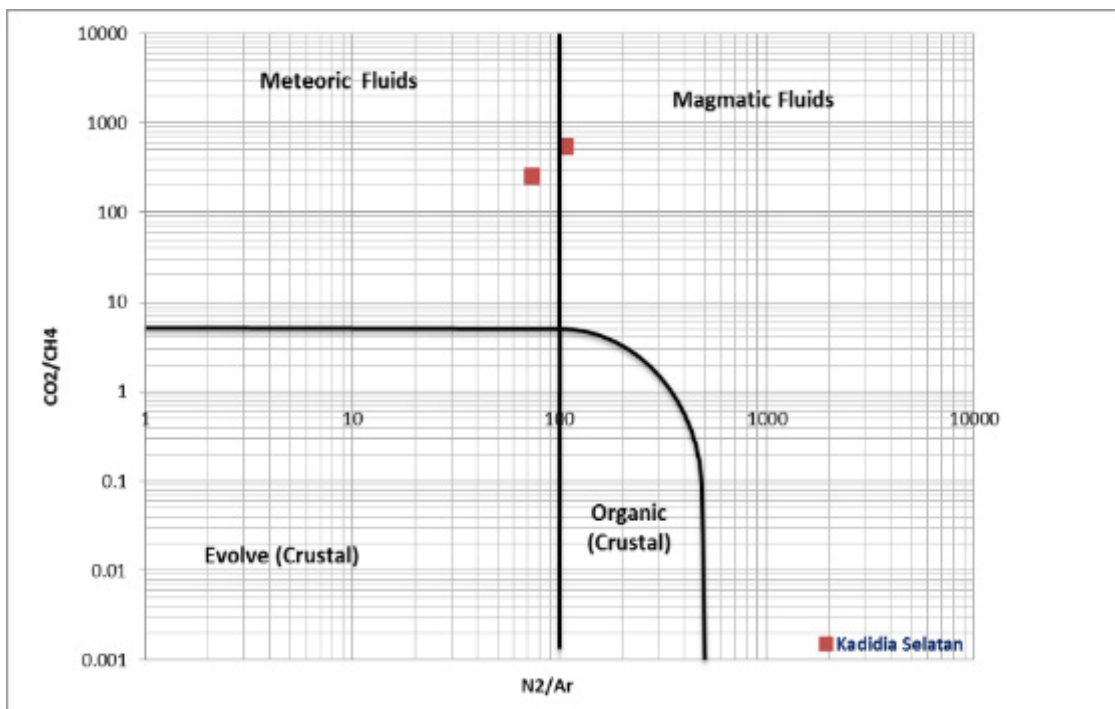


Gambar 8. Grafik isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan δD daerah panas bumi Kadidia Selatan

Komposisi gas di daerah manifestasi Koala Rawa (**Tabel 2**) sangat didominasi oleh kandungan gas N₂, O₂, dan CO₂ dibandingkan gas-gas lainnya yang relatif sangat kecil. Kandungan N₂ dan O₂ yang cukup tinggi menandakan bahwa ada pengaruh udara luar pada sampel gas yang diambil. Kandungan CO₂ yang tinggi menandakan bahwa reaksi yang berlangsung di bawah permukaan akan menghasilkan kandungan HCO₃⁻ yang tinggi dalam larutan air panas. Indikasi gas-gas tersebut dicerminkan oleh komposisi kimiawi mata air panas di daerah Kadidia Selatan yang mengandung ion bikarbonat yang cukup tinggi. Hal ini memperlihatkan oleh adanya uap yang naik dari kedalaman sebagai air bawah permukaan yang bertemperatur tinggi dan mengalami tingkat proses pendinginan dikarenakan

penurunan temperatur dengan gas CO₂ yang tersisa di dalam uap yang naik melalui batuan membentuk ion bikarbonat.

Dari data analisis gas yang diperoleh, dilakukan *plotting* pada grafik Norman dan Moore (1999) untuk mengetahui asal-usul gas tersebut (**gambar 9**). Dari grafik tersebut terlihat bahwa gas-gas tersebut berasal dari fluida meteorik yaitu pengaruh udara luar cukup dominan, namun ada sedikit pengaruh dari fluida magmatik. Oleh karena itu, hasil analisis gas ini tidak bisa digunakan untuk memperkirakan temperatur reservoir dengan menggunakan geotermometer gas. Adanya pengaruh fluida magmatik juga sejalan dengan hasil analisis isotop, dimana pembentukan fluida panas bumi di daerah Kadidia Selatan ada pengaruh pencampuran dengan fluida magmatik.



Gambar 9. Grafik asal-usul gas daerah Kadidia Selatan (Norman dan Moore, 1999)

Perkiraan temperatur bawah permukaan daerah Kadidia Selatan dengan menggunakan geotermometer SiO₂ (*conductive-cooling*) rata-rata berkisar

antara 190°C s.d 210°C dan termasuk ke dalam entalpi sedang. Perkiraan temperatur berdasarkan geotermometer Na-K didapatkan 200°C s.d 260°C (entalpi

tinggi), sedangkan dari geotermometer Na-K-Ca didapatkan temperatur sekitar 200°C (Tabel 4).

Dengan melihat karakteristik kimia air panas, terutama dari Koala Rawa dan Nokilalaki, seperti pH netral, suhu permukaan yang tinggi, terdapat sinter silika, bertipe klorida, dan berada di zona *partial equilibrium*, maka geotermometer Na/K paling tepat digunakan.

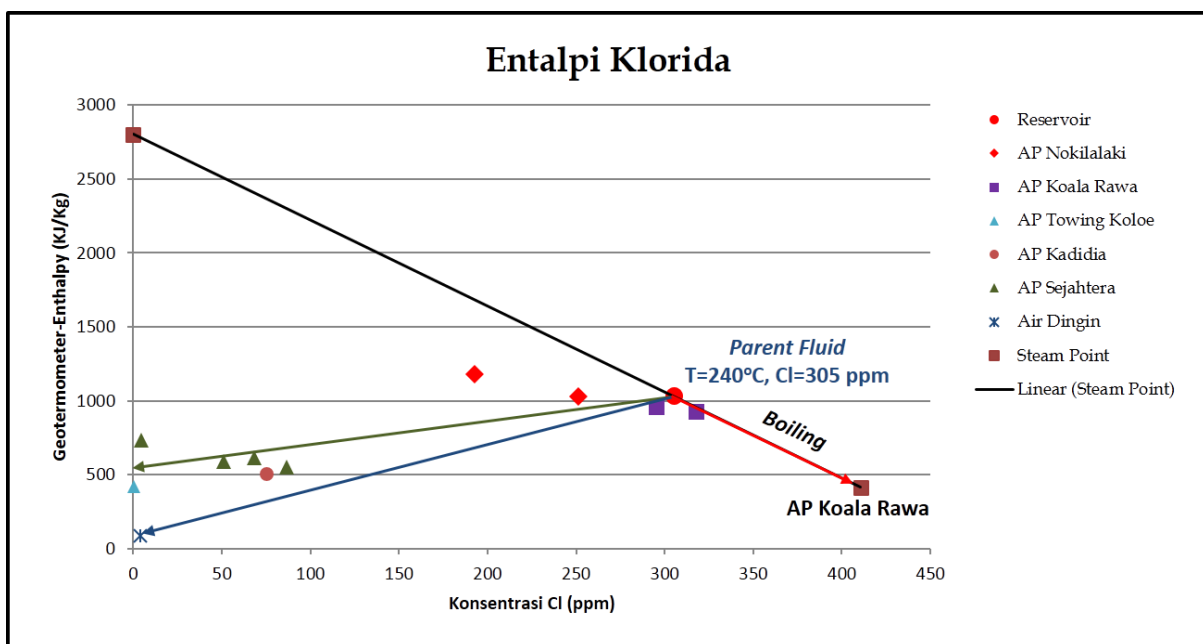
Berdasarkan hasil *plotting* entalpi klorida menunjukkan temperatur *parent fluid*

sebesar 240°C dengan konsentrasi klorida sebesar 305 ppm (Gambar 10), sehingga diperkirakan temperatur reservoir panas bumi Kadidia Selatan sebesar 240°C.

Pada daerah panas bumi Kadidia yang diperkirakan memiliki reservoir yang berbeda, memiliki temperatur reservoir yang lebih kecil dari daerah panas bumi Kadidia Selatan. Berdasarkan geotermometer Na-K, temperatur reservoir daerah Kadidia sebesar 130°C s.d 140°C.

Tabel 4. Hasil perhitungan geotermometer daerah Kadidia dan Kadidia Selatan

Parameter	KADIDIA						KADIDIA SELATAN				
	AP Sejahtera 1	AP Sejahtera 2	AP Sejahtera 3	AP Sejahtera 4	AP Bulili	AP Kadidia	AP Nokilalaki 1	AP Nokilalaki 2	AP Koala Rawa 1	AP Koala Rawa 2	AP Towing Koloe
Temp	51	62,8	57,8	57,4	40,4	81,6	80,5	90,4	96,6	98,8	40,2
pH	6,97	8,41	7,83	7,75	6,82	8,32	8,32	7,9	9,41	7,91	7,1
SiO ₂	54,94	58,34	57,85	42,39	42,81	65,37	296,4	195,84	270,83	275,51	47,82
Na	95,12	87,13	112,8	64,24	54,52	128,3	343,5	294,8	379,6	372,4	15,96
K	2,57	2,12	2,30	2,78	2,59	2,80	37	44,9	30,77	33,21	2,3
Ca	7,86	0,31	5,83	1,83	9,49	2,19	12,3	20,3	8,6	15	10,05
TSiO ₂ (cc)	106	109	109	94	95	115	209	179	202	203	100
TSiO ₂ (ac)	107	109	109	96	97	114	191	167	186	187	101
TNaK (G)	146	140	131	173	179	134	238	268	216	223	263
TNaK (F)	126	120	110	155	161	114	224	256	200	208	251
TNa-K-Ca	74	135	79	143	65	122	203	216	192	192	49



Gambar 10. Entalpi klorida daerah Kadidia dan Kadidia Selatan

Diskusi

Berdasarkan data geokimia fluida dan rekonstruksi struktur geologi, diperkirakan daerah panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan memiliki reservoir yang berbeda. Fluida dari masing-masing daerah

isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan δD menunjukkan bahwa isotop kedua daerah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Daerah Kadidia Selatan memiliki komposisi isotop yang lebih berat dibandingkan komposisi isotop daerah Kadidia. Oleh karena itu, diperkirakan fluida reservoir dari kedua daerah tersebut berasal dari reservoir yang berbeda.

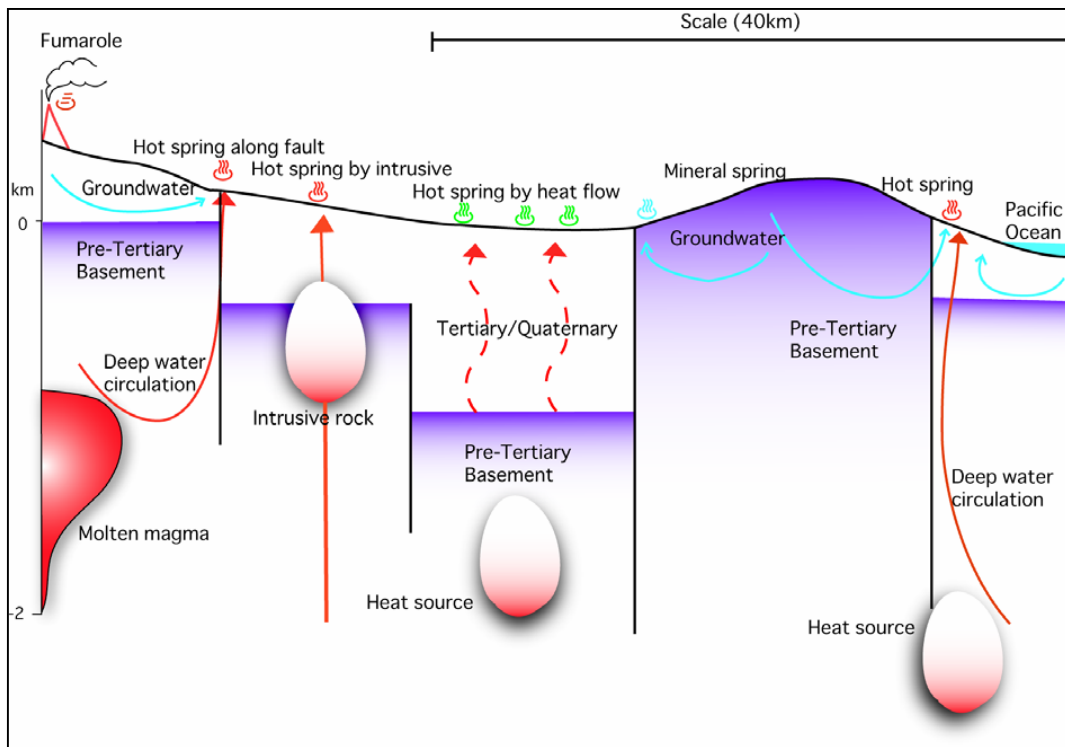
Data geologi menunjukkan sebaran litologi yang berbeda antara Kadidia dan Kadidia Selatan, sehingga dua daerah ini kemungkinan memiliki batuan reservoir yang berbeda. Selain itu konstruksi struktur geologi menguatkan bahwa daerah Kadidia dan Kadidia Selatan memiliki zona struktur yang berbeda pula meskipun berasal dari tegasan yang sama.

Komposisi gas juga menunjukkan adanya sedikit pengaruh fluida magmatik pada gas yang keluar pada tanah panas Koala Rawa. Hasil ini sejalan dengan data geologi yang memperkirakan adanya tubuh intrusi granit di kedalaman.

tersebut menunjukkan karakteristik kimia yang berbeda, seperti silika, klorida, bikarbonat, sulfat, dan daya hantar listrik. Unsur-unsur konservatif seperti Cl, B, dan Li memiliki rasio berbeda, begitu pula dengan hasil

Fluida panas daerah Kadidia diperkirakan terbentuk akibat sirkulasi dalam/*deep water circulation* dengan batuan panas di kedalaman, sedangkan fluida panas daerah Kadidia Selatan diperkirakan selain terbentuk akibat sirkulasi dalam juga terdapat pengaruh aktivitas tektonik aktif. Sebagai gambaran pada tahun 2012 terjadi aktifitas kegempaan di Danau Lindu yang merupakan daerah terdekat dengan posisi manifestasi di Kadidia Selatan, sehingga energi yang terlepas lebih mudah tertangkap pada batuan intrusif (jenis granitik) pada sistem panas bumi Kadidia Selatan.

Temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan diperkirakan sebesar 240°C , sedangkan daerah Kadidia sebesar 140°C . Perkiraan kedalaman reservoir belum dapat ditentukan karena belum ada data geofisika, namun menurut Tamanyu dan Sakaguchi (2003) (**Gambar 11**), diperkirakan reservoir Kadidia Selatan yang berhubungan dengan batuan intrusi dan aktivitas tektonik terletak lebih dangkal dibandingkan reservoir Kadidia.



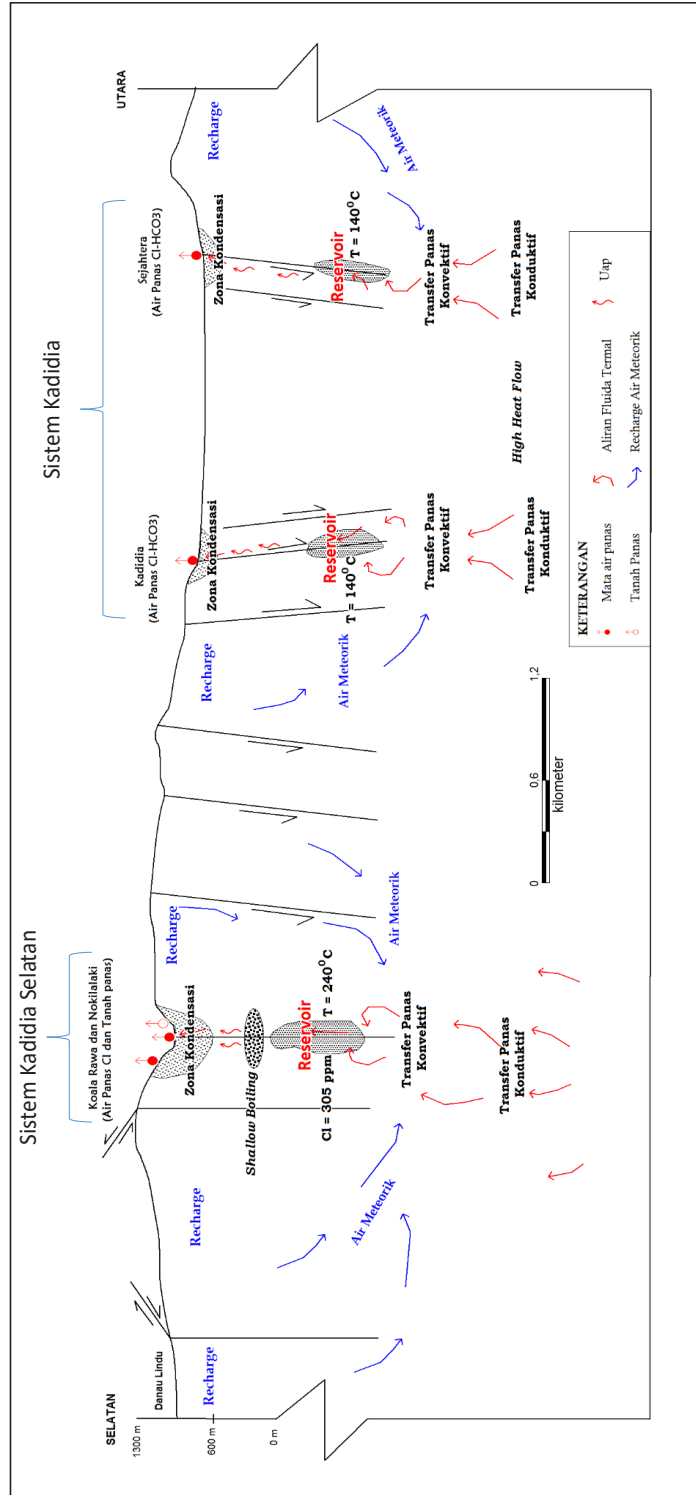
Gambar 11. Model konseptual sistem panas bumi nun-vulkanik
(Tamanyu dan Sakaguchi, 2003)

Pola aliran fluida ditunjukkan pada model geokimia daerah Kadidia dan Kadidia Selatan. Fluida panasbumi bertipe klorida (Cl) yang berasal dari reservoir akan mengalir ke atas sebagai *upflow* di daerah Kadidia Selatan. Di bagian lain di daerah penelitian, air Cl bercampur dengan air HCO₃, yang terbentuk di dekat permukaan karena proses *steam heating*, yaitu kondensasi uap air panas dengan air tanah. Sedangkan sisa uap air dapat muncul di permukaan sebagai tanah beruap (**Gambar 12**).

Karakteristik alterasi batuan di sekitar air panas Kadidia Selatan menunjukkan terdapat mineral-mineral yang terbentuk pada temperatur tinggi seperti epidot, ilit, dan kaolinit. Sinter silika terbentuk di sekitar manifestasi Koala Rawa yang bertemperatur mendidih, sedangkan sinter travertin terbentuk semakin ke selatan kearah manifestasi air hangat. Sinter silika

dan travertin juga hadir bersamaan pada air panas Nokilalaki yang bertemperatur 80,5°C yang berlokasi di antara pemunculan sinter silika dan travertin. Pemunculan epidot, sinter silika dan travertin pada manifestasi Kadidia Selatan menunjukkan bahwa telah terjadi evolusi fluida pada sistem panas bumi tersebut. Evolusi fluida yang terjadi berupa pendinginan (*cooling*) atau pemanasan (*heating*) belum dapat ditentukan karena memerlukan studi lebih lanjut, seperti inklusi fluida.

Reservoir daerah panas bumi ini diperkirakan hanya berupa spot-spot kecil di sekitar area manifestasi yang merupakan zona lemah yang memiliki permeabilitas tinggi yang dapat menyebabkan pemunculan manifestasi di permukaan, sehingga daerah prospek panas bumi untuk daerah-daerah ini tidak terlalu besar.



Gambar 12. Pola aliran fluida sistem panas bumi daerah Kadidia dan Kadidia Selatan

KESIMPULAN

Studi geokimia air panas bumi dan geologi menunjukkan, bahwa air panas yang muncul di daerah panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan memiliki reservoir yang berbeda, dengan temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan lebih tinggi dibandingkan daerah Kadidia. Temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan diperkirakan sebesar 240°C, sedangkan daerah kadidia sebesar 140°C dengan kedalaman reservoir daerah Kadidia terletak lebih dalam dibandingkan daerah Kadidia Selatan.

Fluida panas bumi di daerah Kadidia Selatan diperkirakan berasal dari pengaruh intrusi granit yang terpanaskan kembali oleh aktivitas tektonisme. Sedangkan fluida panas bumi daerah Kadidia diperkirakan akibat sirkulasi air dalam yang keluar ke permukaan sebagai air panas melalui *horst* dari sistem depresi Kadidia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Kelompok Penyelidikan Panas Bumi yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi, tim editor yang telah memberikan koreksi dan saran dalam penyusunan makalah ini serta dewan redaksi atas kesempatan yang telah diberikan sehingga makalah ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2012. Survey Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kadidia, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah, Badan Geologi, Bandung (*Unpublished report*).

Anonim, 2014. Survey Terpadu Geologi

dan Geokimia Daerah Panas Bumi Kadidia Selatan, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah, Badan Geologi, Bandung (*Unpublished report*).

Fournier, R.O., 1981. Application of Water Geochemistry Geothermal Exploration and Reservoir Engineering, Geothermal System: Principles and Case Histories. John Willey & Sons. New York.

Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal Solute Equilibria Deviation of Na-K-Mg – Ca Geo- Indicators. *Geochemica Acta* 52. pp. 2749 – 2765.

Hamilton W., 1979. Tectonic of Indonesia Region, Geol.Surv.Prof.Papers,U.S.Govt .Print Off.,Washington.

Herdianita, N.R., dan Julinawati, T., 2007. Hidrogeokimia Air Panas bumi Daerah Cidanau dan Sekitarnya, Anyer, Provinsi Banten Berdasarkan Manifestasi Permukaannya. *Jurnal Geoplika*, Vol 2, No 3, hal. 105 – 119.

Hutchinson, C.S., 1989. Geological Evolution of South-East Asia, Oxford Mono. Geol. Geoph., 13, Clarendon Press, Oxford

Mahon K. and Ellis, A.J., 1977. Chemistry and Geothermal System. Academic Press Inc. Orlando

Marini, L., 2001. Geochemical Techniques for the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy, Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università Degli Studi di Genova, Italy.

Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids; Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, Berlin.

Norman, D.I., and Moore, J.N., 1999. Methane and Excess N₂ and Ar in Geothermal Fluid Inclusions. Twenty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford

University, pp. 196-202.

Tamanyu, S. and Sakaguchi, K., 2003. Conceptual Model For Non-Volcanic Geothermal Resources., European Geothermal Conference.

Diterima	: 11 Juni 2015
Direvisi	: 27 Juli 2015
Disetujui	: 6 Agustus 2015

**KARAKTERISTIK DAN KUALITAS POTENSI ANDESIT DI DAERAH KECAMATAN SOREANG DAN SEKITARNYA, KABUPATEN BANDUNG, PROVINSI JAWA BARAT
THE CHARACTERISTICS AND QUALITY OF ANDESITE IN SOREANG DISTRICT, BANDUNG REGENCY, WEST JAVA PROVINCE**

Arif R. Darana^{1,2}, Dicky Muslim¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²Geotetra Research Group

Email: arif.rahmansyahd@gmail.com

SARI

Komoditas mineral *non*-logam merupakan salah satu sumberdaya alam yang berharga. Salah satu yang menjadi komoditi ini ialah batuan beku andesit. Komoditas tersebut terdapat di Bandung bagian selatan yang tepatnya berada di daerah Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Untuk mengetahui bagaimana karakteristik dan kualitas potensi tersebut maka dilakukanlah penelitian yang menggunakan tiga metode, yaitu: 1. Metoda lapangan untuk memetakan keadaan geologi daerah tersebut dan mengambil sampel, 2. Metoda laboratorium, untuk menganalisis sampel secara petrografis, 3. Metoda studio untuk menyusun hasil analisis lapangan dan laboratorium. Hasil yang didapatkan ialah pada daerah penelitian terdapat satuan batuan yang terdiri dari: Satuan Breksi Vulkanik Monomik (Tmbvm), Satuan Lava Andesit Porfiri (Tmla), Satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa), Satuan Breksi Vulkanik (Tpbv), Endapan piroklastik (Kv) dan Aluvium (Ka). Potensi Andesit Porfiri ini terdapat pada satuan Tppa, yang terbagi dalam tiga kelas kekuatan batuan, yaitu *very strong*, *strong*, dan *weak*. Varietas kualitas ini diakibatkan adanya pelapukan yang melibatkan interaksi antara faktor-faktor fisika dan kimia, dalam membentuk kekar-kekar untuk menjadi jalan air sebagai proses perubahan mineral utama menjadi mineral lempung, sehingga membuat diferensiasi kualitas batuan Andesit Porfiri.

Kata kunci: Geologi, geologi teknik, Andesit Porfiri, kekar, kekuatan batuan.

ABSTRACT

Non-metal mineral commodities are one of valuable resources on earth. One of its potency is andesite. This commodity is located in Soreang District, Bandung Regency, West Java. This research is aimed to discover the characteristics and the quality of this potency. The research was conducted by three methods, i.e.: (1) field methods; (2) laboratory methods; (3) studio methods. Results showed that the lithological features composed of six units, i.e.: (1) Monomic Volcanic Breccia (Tmbvm); (2) Porphyry Andesitic Lava (Tmla); (3) Porphyry Andesitic Intrusion (Tppa); (4) Volcanic Breccia (Tpbv); (5) Pyroclastic Deposit (Kv); (6) Alluvium (Ka). This andesitic intrusion was divided into three classes of rock strength i.e. very strong, strong, and weak. Those varieties exist because of weathering that involved the interaction between physical and chemical factors. The joint lead the water through its crack. Furthermore the water interact with the minerals from andesite unit, thus the clay minerals is formed, creating the difference of qualities of Andesit Porfirie.

Keywords: *Geology, engineering geology, porphyry andesite, joints, rock strength.*

PENDAHULUAN

Bahan galian merupakan salah satu dari

banyak jenis sumberdaya alam yang berpotensi untuk meningkatkan perekonomian suatu daerah. Penyelidikan

bahan galian sampai saat ini belum banyak dilakukan secara optimal (Setiady, 2010). Berdasarkan Anonim (2013) salah satu bahan galian (mineral *non-logam*) ialah andesit. Salah satu daerah yang memiliki potensi andesit ini ialah daerah sekitar Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat sebanyak 64.857.000 ton.

Anonim (2012) mengatakan potensi ini digunakan sebagai material untuk infrastruktur. Oleh karena penggunaan bahan galian ini sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari, maka penelitian terhadap karakteristik dan kualitas potensi ini menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini dimulai dari pemetaan geologi dan diikuti oleh kajian implikasi keteknikan yang mempengaruhi potensi tersebut (Zakaria, 2008). Selanjutnya, dilakukan analisis batuan secara lebih detail dengan menggunakan petrografi sehingga bisa didapatkan jenis-jenis dan presentase mineral-mineral yang terkandung di dalam batuan tersebut. Uji kekuatan material perlu dilakukan, sehingga hasil-hasil tersebut dapat di analisis dan diinterpretasi secara integratif untuk mengetahui karakteristik dan kualitas.

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui karakteristik keteknikan dan kualitas potensi batuan beku porifiri andesit di daerah penelitian.

GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan Silitonga (1979), Alzwar, dkk (1992), Sudjatmiko, (1972), dan Koesmono, dkk (1972), daerah penelitian terdiri dari empat satuan, yaitu: Formasi Besar (Tmb; Tmbe), Andesit (a; Tpia; Pa), Breksi Tuufaan, Lava Batupasir, Konglomerat (Pb), Endapan Danau (Ql; Qd), dan Aluvium (Qa). Mayoritas material yang mengisi formasi-formasi batuan tersebut ialah produk vulkanik (piroklastik). Selain itu, terdapat juga intrusi andesit hornblenda dan andesit piroksen.

Secara keseluruhan memiliki karakteristik sebagai berikut: satu andesit hornblenda,

andesit piroksen, andesit augit hipersten hornblenda dan andesit leuko. Batuan

tersebut bertekstur porfiri; fenokris berupa plagioklas jenis oligoklas-andesin, hornblenda, piroksen dengan masa dasar mikrolit felspar, kaca dan mineral mafik yang berbentuk retas, sil, "neck", "plug", dll. Batuan ini menerobos batuan yang berumur Mio-Pliosen dan ditafsirkan berumur Pliosen.

METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan tiga metoda, yaitu: 1. Metoda Lapangan. Pada metoda ini dilakukan pemetaan geologi semi detail untuk mencari dan memplot batuan yang ada pada daerah penelitian untuk ditampilkan pada peta serta mengambil conto batuan. 2. Metoda laboratorium: pada metoda ini dilakukan analisis petrografi pada conto batuan untuk mengetahui karakteristik batuan tersebut dibawah mikroskop yang telah disayat tipis sebelumnya. Selanjutnya diiklasifikasi menggunakan klasifikasi Travis (1955) untuk batuan beku dan Schmid untuk piroklastik (1981). 3. Metoda studio, pada metoda ini seluruh hasil-hasil lapangan dan analisa lab diinterpretasikan dan diinterpretasi lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi

Berdasarkan penelitian di lapangan maka litostratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi enam satuan batuan (gambar 2), diurutkan dari satuan yang paling muda hingga satuan batuan yang paling tua, yaitu:

Aluvium (Ka)

Berupa bongkah-bongkah berukuran 10-80 cm hingga pasir halus, *unconsolidated*, juga terdapat endapan-endapan sungai massa kini berukuran pasir halus hingga lempung berwarna abu-abu kehitaman.

Endapan Piroklastik (Kv)

Endapan hasil aktivitas gunungapi berukuran 2-40 cm hingga pasir halus,

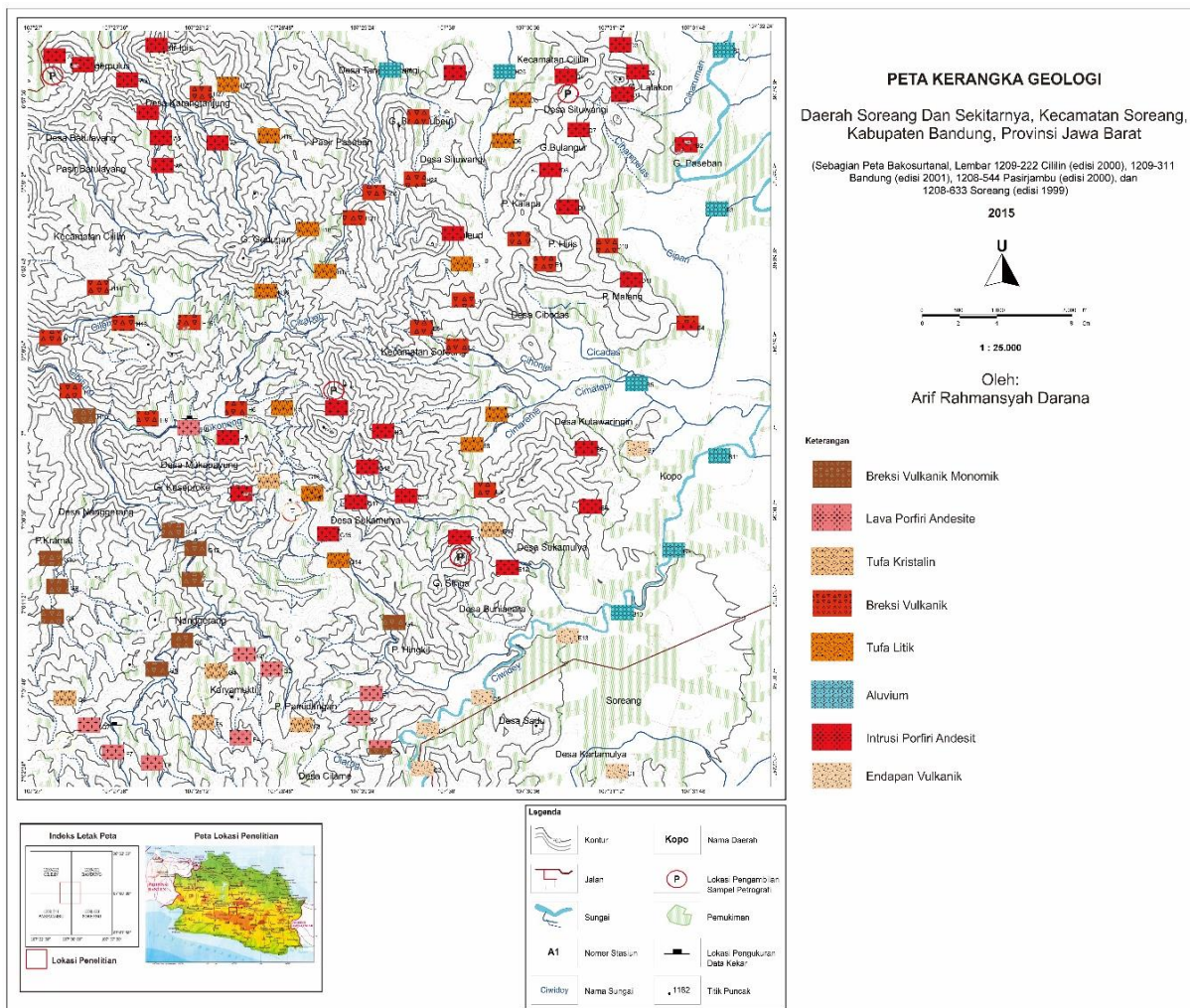
dominan pasir halus, berwarna kecoklatan hingga abu-abu tua, *semi-consolidated*.

Satuan Breksi Vulkanik (Tpbv)

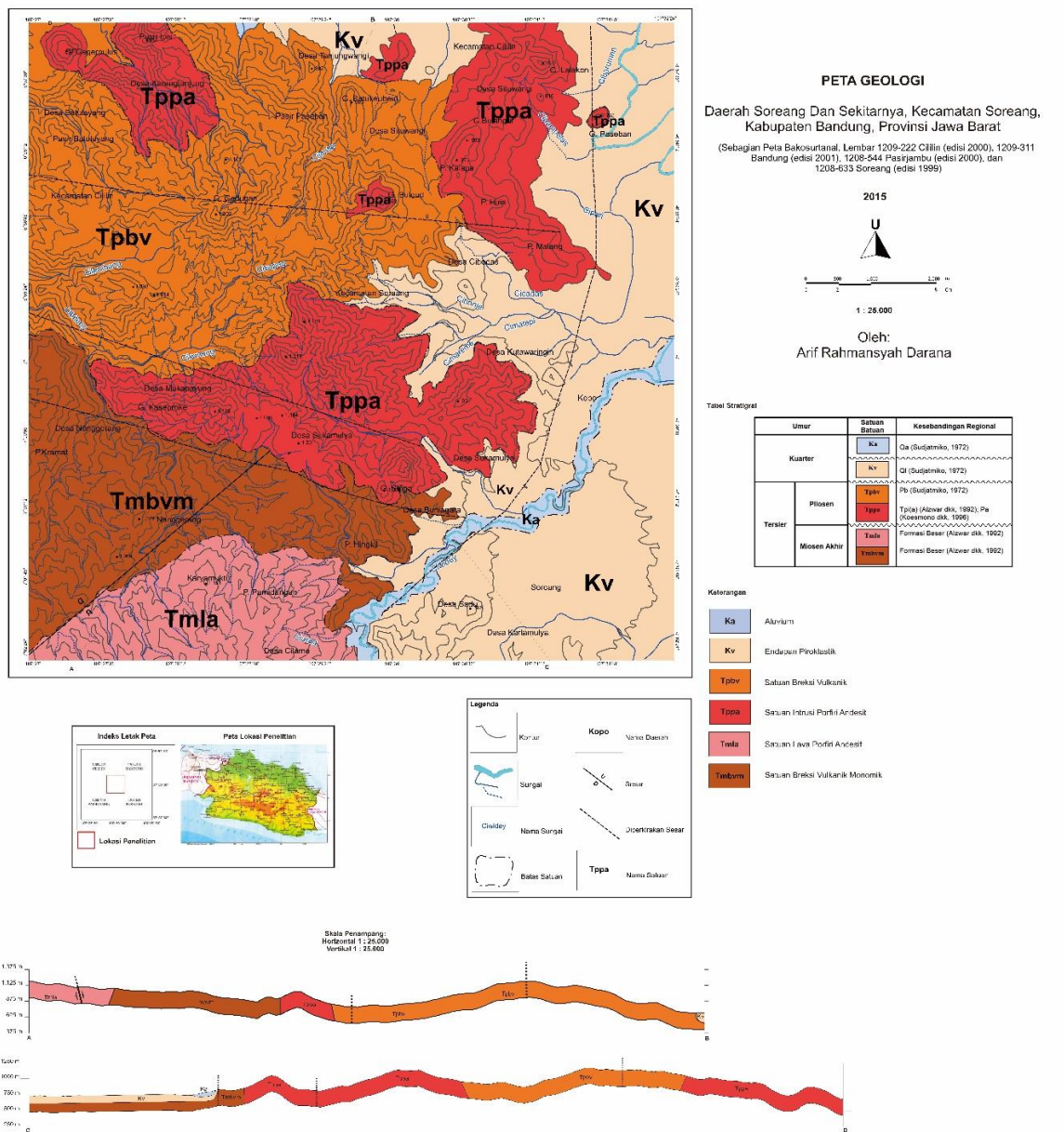
Satuan ini berumur Pliosen serta terdiri dari Breksi vulkanik dan tufa litik. Breksi piroklastik polimik jatuhnya berwarna abu-abu hingga abu-abu sedikit kecoklatan hingga abu-abu gelap dengan besar komponen 2-120 cm, berbentuk *angular – subangular*, dominan *grain supported*, kemas terbuka, pemilahan buruk, porositas sedang, permeabilitas sedang.

Memiliki komponen porfiri diorit, Andesit Porfiri, dan porfiri basal (Travis, 1955), serta bermatrikskan tufa litik (Schmid, 1981).

Tufa litik berwarna abu-abu muda, warna abu-abu tua kecoklatan, ukuran butir pasir halus, bentuk butir membundar, kemas tertutup, pemilahan baik, permeabilitas baik, dapat diremas. Terdiri atas fragmen batuan beku, mineral Kuarsa, Plagioklas, Piroksen, Mineral Opak, fragmen gelas, dan massa dasar gelas vulkanik dan kristalit.



Gambar 1. Peta Kerangka Geologi Daerah Soreang dan Sekitarnya.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Soreang dan Sekitarnya.

Satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa)

Batuan beku Andesit Porfiri dengan warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu tua kusam, tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subhedral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, struktur dominan masif dan ada pula yang menunjukkan *columnar joint* dan *sheeting joint*.

Satuan Lava Andesit Porfiri (Tmla)

Satuan ini terdiri dari lava Andesit Porfiri

dan tufa kristal. batuan beku ekstrusif Andesit Porfiri berwarna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu tua sedikit kemerahan. Tekstur afanitik, derajat kristal *hipocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *euhedral-subhedral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, struktur masif, setempat memperlihatkan struktur geologi kekar. Tufa Kristal berwarna segar abu keputihan, warna abu-abu kusam, ukuran butir pasir halus, bentuk butir membundar, kemas tertutup, pemilahan baik, permeabilitas baik, dapat diremas. Terdiri

atas fragmen batuan beku, mineral Plagioklas, Piroksen, Mineral Opak, fragmen gelas, dan massa dasar gelas vulkanik dan kristalit.

Satuan Breksi Vulkanik Monomik (Tmbvm)

Breksi piroklastik dengan warna coklat muda hingga coklat tua dominan komponen berbentuk angular-sub angular ukuran 2 - 100 cm, pemilahan buruk, kemas terbuka, permeabilitas sedang, porositas sedang hingga baik, *matrix supported*. Memiliki komponen batuan beku Andesit Porfiri, serta matrix Tufa Kristal

Potensi Bahan Galian dan Karakteristiknya

Salah satu Potensi bahan galian yang dapat dimanfaatkan ialah intrusi batuan beku Andesit Porfiri. Komoditi ini menurut Pusat Sumber Daya Geologi termasuk pada komoditas mineral *non-logam* yang ini menurut PP No. 11 Tahun 1980 termasuk kedalam bahan galian golongan c. Batuan beku Andesit Porfiri yang berguna untuk menjadi bahan baku dalam membuat bangunan ini berasal dari satuan intrusi Andesit Porfiri. Satuan ini terdiri dari batuan beku Andesit Porfiri. Satuan ini menerobos satuan Tmbvm

Kuarsa,

mengisi sekitar 25% luas daerah penelitian. Tersingkap sebagai Gunung Kaseproke, Gunung Singa, Gunung Lalakon, Gunung Buleud, Gunung Bulangur, Pasir Kalapa, Pasir Malang.

Secara umum batuan beku ini memiliki warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu tua kusam, tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subhedral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, memperlihatkan struktur *columnar joint* dan *sheeting joint* dan saling memotong di beberapa tempat. Pada umumnya derajat pelapukan rendah sampai sedang, dan beberapa tempat yang terdapat vegetasi derajat pelapukan sedang hingga tinggi.

Pada penelitian ini di ambil 4 conto batuan (Gambar 1. di tandai dengan huruf P yang ada di dalam bulatan merah) untuk diuji petrografi, untuk mengetahui kandungan-kandungan mineral yang terdapat dalam batuan berdasarkan sifat optiknya.

Conto pertama memiliki kode H4 yang berlokasi di Desa Cinangka. Conto ini terdapat di koordinat S7° 00' 02.0" E107° 28' 52.6". Conto batuan ini berada pada Satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa) (Gambar 3.)



Gambar 3. Batuan Beku Intrusi Andesit Porfiri Stasiun H4.

Deskripsi Megaskopis:

Batuan beku dengan warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu tua kusam, tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subhedral*, *hipidiomorf*,

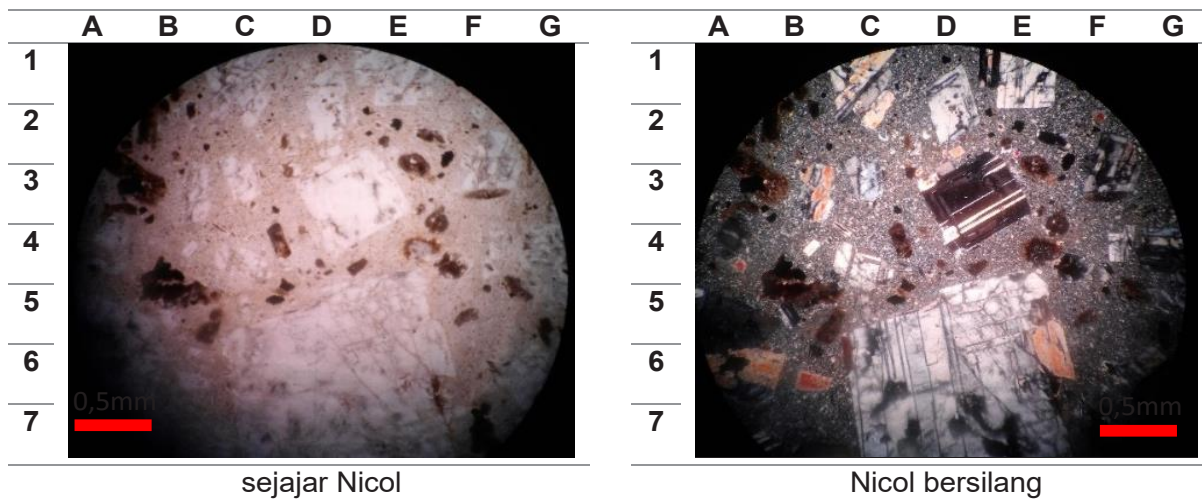
Deskripsi Mikroskopis:

Warna dengan modulus sejajar Nicol abu-abu muda, porfiritik, *hipidiomorf*, *euهدral-subhedral*, warna dengan modulus Nicol bersilang abu-abu gelap. Massa dasar (60%) yang terdiri dari: mikrolit Plagioklas

indeks warna mineral *mesocratic*, memperlihatkan struktur *columnar joint* (kekar tiang), kerapatan kekar relatif kurang rapat-sedang, derajat pelapukan relatif rendah-sedang.

(55%) melimpah dan mikrolit Kuarsa (5%). Sedangkan Fragmen Kristal (40%), yang terdiri dari: Plagioklas (25%) andesin 36, K-Feldspar (1%), Kuarsa (2%), Piroksen (2%), Mineral Lempung (5%), dan Mineral Opak (5%).

Nama batuan: Andesit Porfiri (Gambar 4.).



Gambar 4. Sayatan Tipis Batuan Beku Intrusi Andesit Andesit Porfiri Sampel H4.

Contoh batuan kedua memiliki kode A1 yang berlokasi di Cililin. Contoh ini terdapat pada koordinat S6° 57' 12.1" E107° 27' 49.9". Contoh ini berada pada satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa) (Gambar 5.).

tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subhedral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, struktur masif, derajat pelapukan relatif sedang-tinggi.

Deskripsi Megaskopis:

Batuan beku dengan warna segar abu-abu, warna lapuk abu-abu tua kusam,



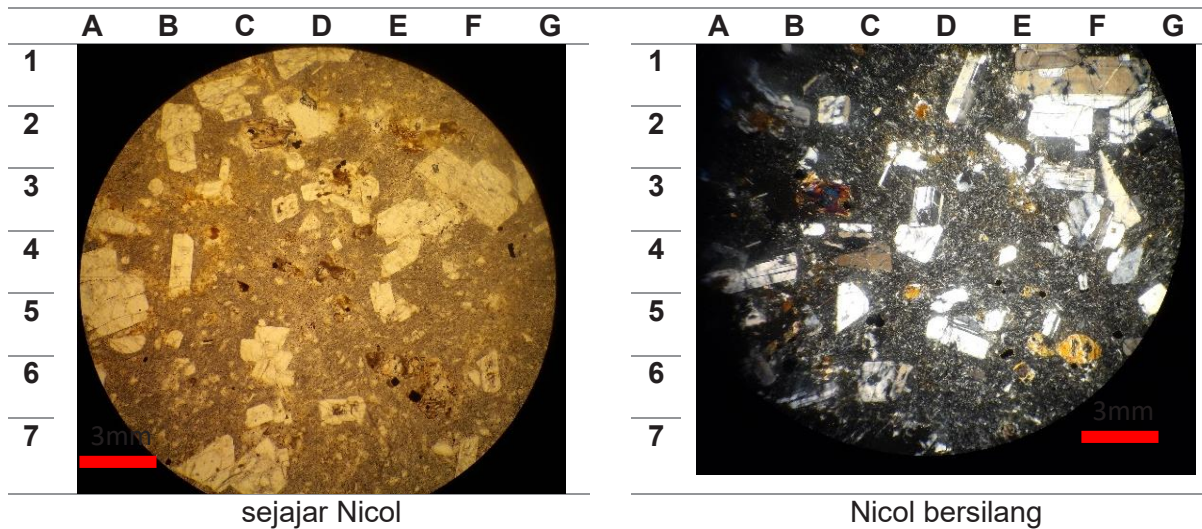
Gambar 5. Batuan Beku Intrusi Andesit Andesit Porfiri Stasiun A1.

Deskripsi Mikroskopis

Warna dengan modulus sejajar Nicol abu-abu muda, porfiritik, *hipidiomorf*, *euهدral-subهدral*, warna dengan modulus Nicol bersilang abu-abu gelap. Massa dasar (60%) yang terdiri dari: mikrolit Plagioklas (55%) melimpah dan mikrolit Kuarsa (5%).

Sedangkan fragmen Kristal (40%) yang terdiri dari: Plagioklas (23%) andesin 42, K-Feldspar (1%), Kuarsa (3%), Piroksen (2%), Mineral Lempung (10%), dan Mineral Opak (1%).

Nama Batuan : Andesit Andesit Porfiri(Gambar 6.).



Gambar 6. Sayatan Tipis Batuan Beku Intrusi Andesit Andesit PorfiriSampel A1.

Conto batuan ketiga memiliki kode D4 yang berlokasi di Gunung Badaraksa. Conto ini berada pada koordinat S6° 57' 27.2" E107° 30' 47.6". Conto ini berada pada Satuan Intrusi Andesit Porfiri(Tppa) (Gambar 7.).

warna lapuk abu-abu tua kusam, tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subهدral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, struktur *columnar joint* dan *sheeting joint* dengan intensitas kear relatif sedang hingga padat, derajat pelapukan relatif tak terlapukan-sedang.

Deskripsi Megaskopis:

Batuan beku dengan warna segar abu-abu,

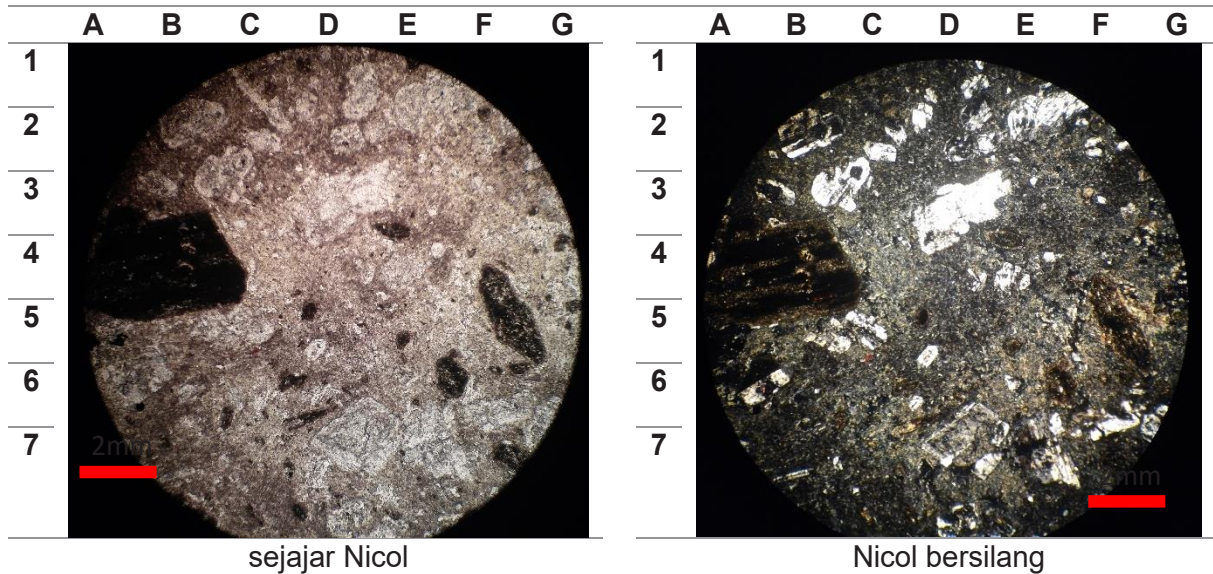


Gambar 7. Batuan Beku Intrusi Andesit Porfiri Stasiun D4.

Deskripsi Mikroskopis:

Warna dengan modulus Sejajar Nicol abu-abu muda, porfiritik, *hipidiomorf*, *euهدral-subهدral*, warna dengan modulus Nicol Bersilang abu-abu gelap. Massa dasar (55%) yang terdiri dari: mikrolit Plagioklas

(50%) melimpah dan mikrolit Kuarsa (5%). Sedangkan fragmen Kristal (40%) yang terdiri dari: Plagioklas (30%) andesin 41, K-Feldspar (2%), Kuarsa (3%), Piroksen (1%), Mineral Lempung (3%), dan Mineral Opak (1%). Nama Batuan : Andesit Porfiri (Gambar 8).



Gambar 8. Sayatan Tipis Batuan Beku Intrusi Andesit Porfiri Sampel D4.

Contoh batuan terakhir memiliki kode E11 berlokasi di Gunung Singa. Contoh ini terdapat di koordinat : S7° 00' 42.5" E107° 30' 07.2". Contoh ini berada pada satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa) (Gambar 9.)

warna lapuk abu-abu tua kusam, tekstur porfiritik, derajat kristalisasi *holocrystalin*, kemas *inequigranular*, bentuk kristal *subهدral*, *hipidiomorf*, indeks warna mineral *mesocratic*, struktur kekar dengan kerapatan relatif rendah-sedang, derajat pelapukan relatif rendah-sedang.

Deskripsi Megaskopis:

Batuan beku dengan warna segar abu-abu,





Gambar 9. Batuan Beku Intrusi Andesit Porfiri Stasiun E11.

Deskripsi Mikroskopis:

Warna dengan modulus sejajar Nicol abu-abu muda, porfiritik, *hipidiomorf*, euhedral-*subhedral*, warna dengan modulus Nicol bersilang abu-abu gelap. Massa dasar (50%) yang terdiri dari: mikrolit Plagioklas (46%) melimpah dan mikrolit Kuarsa (4%).

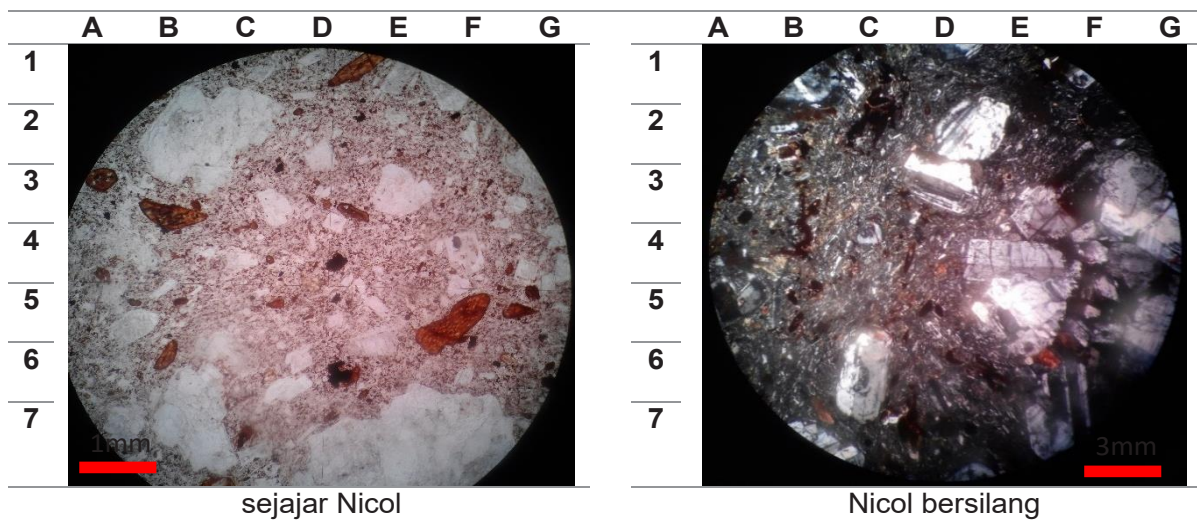
Kualitas Batuan

Kualitas batuan erat kaitannya dengan kekuatan batuan. Kekuatan batuan daerah penelitian didapatkan dari nilai pantulan *rock strength classification hammer* (RSCH) yang dikonversikan menjadi nilai kuat tekan (Mpa). Maka secara umum kekuatan batuan di daerah penelitian

Sedangkan fragmen Kristal (50%) yang terdiri dari: Plagioklas (37%) andesin 40, K-Feldspar (2%), Kuarsa (2%), Piroksen (1%), Mineral Lempung (5%), dan Mineral Opak (3%).

Nama Batuan : Andesit Porfiri (Gambar 10.).

terbagi menjadi tiga tipe dan memiliki rata-rata disetiap tipenya sebagai berikut: tipe 1 memiliki kekuatan 260 MPa pada derajat pelapukan tak terlapukan hingga rendah, tipe 2 memiliki kekuatan 92 MPa pada derajat pelapukan rendah hingga sedang, sedangkan tipe 3 pada derajat pelapukan sedang hingga tinggi memiliki nilai RSCH rata-rata 30,5 MPa (modifikasi Simbolon,



Gambar 10. Sayatan Tipis Batuan Beku Intrusi Andesit Porfiri Sampel E11.

2007). Bila berdasarkan klasifikasi batuan Attewell dan Farmer (1976) maka tipe 1 termasuk dalam batuan *very strong*, tipe 2

termasuk klasifikasi *strong*, dan tipe 3 termasuk klasifikasi *weak*.

Tabel 1. Skema Klasifikasi Kekuatan Andesit yang diakibatkan faktor-faktornya (modifikasi Simbolon, 2007).

Sampel	Derajat Pelapukan Relatif	Rock Strength (MPa)	Persentase Mineral Lempung (%)	Densitas Kekar Relatif	Kondisi Kekar	Kategori
H4	Rendah-Sedang	92	5	Kurang Rapat-Sedang	Tidak memotong	<i>very strong</i>
A1	Sedang-Tinggi	30,5	10	-	-	<i>weak</i>
D4	Tak Terlapukan-Sedang	260	3	Sedang-Padat	Saling memotong	<i>strong</i>
E11	Rendah-Sedang	92	5	Rendah-Sedang	Saling memotong	<i>strong</i>

Kekuatan ini dipengaruhi oleh derajat pelapukan, yang dicirikan secara kimiawi melalui perubahan mineral utama menjadi mineral lempung, dan secara fisik adanya kehadiran kekar-kekar. Kualitas batuan ini menjadi variatif diakibatkan interaksi dari dua faktor tersebut. Kekar-kekar yang ada pada intrusi ini relatif padat serta saling berpotongan antara *sheeting joint* dan *columnar joint*, walaupun ada juga yang menerus dari *sheeting joint* menuju

columnar joint (Gambar 11. Diilustrasikan dengan garis merah). Kekar-kekar tersebut membuat batuan itu sendiri menjadi lemah terutama yang padat dan saling berpotongan. Selain itu kekar ini menjadi celah dimana air dapat masuk sehingga dapat mencuci atau melarutkan mineral-mineral utama pada batuan dan merubahnya menjadi mineral lempung (Nelson, 2014).



Gambar 11. *Columnar Joint* menerus menuju *Sheeting joint* di Desa Cipatik.

Mineral lempung membuat batuan lebih lemah dari sebelumnya, sehingga terjadi penurunan kualitas. Mineral utama yang umumnya berubah ialah Plagioklas akibat kehilangan Ca^{2+} atau Na^{+} serta Alkali Feldspar akibat kehilangan K^{+} , namun ada pula mineral sekunder yang berubah seperti Hornblende, Piroksen, dll (Pettijohn, 1975; Eggleton dkk, 1987). Analisis mineral lempung dengan petrografi dibandingkan dengan penelitian terdahulu (Silaban, 2001). Berdasarkan hasil interpretasi petrografi di atas yang dicurigai menjadi mineral lempung ialah:

Smektit : mineral ini merupakan perubahan dari Plagioklas, memiliki warna abu-abu hingga kecoklatan.

Serisit : coklat berserabut, menyatu pada masa dasar.

Illit : perubahan dari feldspar, berbentuk bintik-bintik kecil berwarna coklat dan menyatu pada masa dasar.

Maka dari itu setiap batuan akan terdiferensiasi kekuatannya tergantung dari interaksi faktor-faktornya.

KESIMPULAN

Daerah Penelitian Terbagi dalam 6 satuan batuan, yaitu: Ka, Kv, Tpbv, Tppa, Tmla, dan Tmbvm. Potensi komoditas mineral *non-logam* yang terdapat di daerah penelitian ialah batuan beku Andesit Porfiri yang berasal dari satuan intrusi Andesit Porfiri (Tppa). Intrusi tersebut memiliki struktur kekar yang saling memotong sehingga memberi jalan untuk air masuk dan berinteraksi dengan batuan yang menyebabkan terjadinya mineral lempung.

Struktur kekar tersebut mengakibatkan interaksi faktor kimia dan fisika. Secara kimia terjadi perubahan mineral utama menjadi mineral lempung. Mineral lempung yang dicurigai ada pada batuan ini ialah smektit, serisit, dan illit. Hasil interaksi-interaksi tersebut membuat diferensiasi kekuatan batuan, sehingga menyebabkan kekuatan batuan terbagi menjadi tiga tipe pada daerah penelitian,

yaitu: *very strong, strong, weak*.

SARAN

Pada penelitian lebih lanjut sangat disarankan untuk:

Melakukan uji XRD untuk mengetahui jenis mineral lempung.

Melakukan uji XRF untuk mengetahui unsur utama pada batuan andesit.

Melakukan uji tekan *uniaxial* pada setiap sampel.

Melakukan pengukuran *joint density*.

Selain itu untuk eksploitasi potensi ini sangat diharuskan memperhatikan ekologi setempat, serta mengkaji resiko *geohazard* yang ada pada wilayah intrusi tersebut, sehingga selama proses eksploitasi dan daerah sekitar bisa tetap aman dari resiko tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013, *Tabel Neraca Mineral Bukan Logam Komoditi Andesit*, http://webmap.psdg.bgl.esdm.go.id/pmapper_webmap/pmapper-4.2.0/map_default.phtml, diunduh pada 13 Oktober 2015 pukul 12.00.
- Attewell, P. B, dan Farmer, I. W, 1976. *Principles of Engineering Geology*. London: Chapman and Hall.
- Eggleton, R. A., Foundulis, C., dan Varkevisser Dane, 1987. *Weathering of Bassalt in Rock Chemistry and Mineralogy: Clays and Clay Minerals*, Vol. 35, No. 3, pp161-169.
- Nelson, S. A, 2014. *Weathering & Clay Minerals*: <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens211/weathering&clayminerals.htm> diakses pada 7 September 2015, Pukul 13.19.
- Pettijohn, F. J. (1975), *Sedimentary Rocks*, New York : Harper and Brother.
- Simbolon, F. P., 2007. Identifikasi Degradasi Kekuatan Andesit Dengan Menggunakan Rock Strength Classification Hammer Di Desa Cipatik, Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Bandung: Institut Teknologi

- Bandung. Skripsi. Tidak Terbit.
- Silaban, M. S., 2001. *Studi Mineral Lempung Hidrotermal Dan Aplikasinya Untuk Operasi Pemboran Panasbumi (Studi Kasus : Prospek Panasbumi Ulubelu, Lampung)*: Proceeding Of The 5th Inaga Annual Scientific Conference & Exhibitions Yogyakarta.
- Schmid, R., 1981, *Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Geology. The Geological Society of America. Boulder, 9, pp. 41–43.
- Setiady, D., 2010, *Perkiraan Potensi Cadangan Pasir Laut Yang Terdapat Di Perairan Muara Kampar Kepulauan Riau*: Buletin Sumber Daya Geologi, Volume 5 No. 1 hal. 20-25.
- Travis, R. B., 1999, *Classification of Rocks*, (Vol. 50, No. 1, Colorado School of Mines Quarterly 1955, [reprinted at CSM Quarterly, Vol. 88, No.2]).
- Zakaria, Z., 2008. *Manajemen Pemetaan Geologi Teori & Latihan Pemetaan Geologi*. Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran. Tidak terbit.

Diterima	: 25 Mei 2015
Direvisi	: 2 Juli 2015
Disetujui	: 4 Agustus 2015

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas reviu-reviu yang kritis terhadap makalah-makalah dalam edisi ini. Secara khusus ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Bukin Daulay, M.Sc atas reviunya terhadap tulisan *Non-Mineral Inorganic Constituents Of Bukit Asam Coal Nature And Mode Of Occurrence*. Kepada Dr. Eng. Suryantini, ST, M.Sc atas telaah yang kritis terhadap tulisan mengenai Pemodelan Gaya Berat 3D Daerah Panas Bumi Dolok Marawa Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara dan tulisan Penentuan Kesamaan Reservoir Sistem Panas Bumi Kadidia dan Kadidia Selatan Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah Berdasarkan Metoda Geokimia. Kepada Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D atas reviunya terhadap tulisan Karakteristik dan Kualitas Potensi Andesit Di Daerah Kecamatan Soreang dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. Khusus kepada Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, Kami berterima kasih tidak hanya atas reviunya tentang Potential Application Of Lignite As Adsorbents In Industrial Wastewater Treatment: A Mini Review, namun juga atas saran dan masukan bagi perbaikan Buletin Sumber Daya Geologi ini.

BULETIN SIMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Agustus 2015

ISSN 1907 - 5367

DDC:

Rita Susilawati
(Centre for Geological Resources)

NON-MINERAL INORGANIC CONSTITUENTS OF BUKIT ASAM COAL NATURE AND MODE OF OCCURRENCE
NON-MINERAL INORGANIK KONSTITUEN DALAM BATUBARA BUKIT ASAM, KETERDAPATAN DAN CARA KEJADIAN

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 71 - 87

The nature and mode of occurrence of the non-mineral inorganic fractions in coal from the Bukit Asam coalfield South Sumatra Basin Indonesia were analysed using a combination of selective leaching, low temperature ashing, XRD, XRF and electron microprobe techniques. Geologically the rank of coal at Bukit Asam was influenced by igneous intrusion. Fourteen coal samples were used in this study. Samples are chosen to represent different rank levels as well as seam horizons. The inorganic elements, in the form of dissolved salts, exchangeable ions and organometallic complexes, although present in small proportions, contribute significantly to the mineral matter components of Bukit Asam low rank coal. Electron microprobe analysis showed small but significant concentrations of inorganic elements (Al, Ca and Fe) occurring in the individual macerals in two sub bituminous and two-semi anthracite samples. There is a tendency for some of the elements, particularly Ca and Al to be lost from the organic matter with rank advance. The concentrations of elements indicated by the microprobe are relatively in good agreement with the levels of element mobility indicated by selective leaching of the same whole-coal samples. The results of this study also suggest that non-mineral inorganic was likely act as a precursor for the reactions resulting in the formation of new minerals in the high rank coals at Bukit Asam.

Keywords : non-mineral inorganic, coal, Bukit Asam

DDC:

Asep Sugianto dan Tony Rahadinata
(Pusat Sumber Daya Geologi)

PEMODELAN GAYA BERAT 3D DAERAH PANAS BUMI DOLOK MARAWA
KABUPATEN SIMALUNGUN, SUMATERA UTARA
3D GRAVITY MODELING OF DOLOK MARAWA GEOTHERMAL FIELD IN SIMALUNGUN REGENCY, NORTH SUMATERA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 89 - 102

Daerah panas bumi Dolok Marawa merupakan salah satu daerah prospek panas bumi di Sumatera bagian utara. Daerah panas bumi tersebut berada pada zona patahan

Sumatera dengan manifestasi permukaan berupa sekelompok mata air panas yang memiliki temperatur antara 37°C hingga 65°C. Serangkaian survei gaya berat telah dilakukan di daerah ini pada tahun 2006 dan 2015. Sebanyak 257 data gaya berat telah diukur dari daerah ini, dengan cakupan luas pengukuran sekitar 16 km x 13 km. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi densitas batuan melalui pemodelan 3D pada data gaya berat dengan menggunakan perangkat lunak Grablox. Hasil pemodelan memperlihatkan suatu blok berdensitas rendah yang bentuknya berarah barat-laut-tenggara dan berimpit dengan zona patahan. Densitas batuan rendah tersebut bernilai sekitar 2,4 g/cm³ dan dianggap sebagai batuan rekahan yang mengisi zona patahan. Hasil pemodelan juga memperlihatkan suatu blok berdensitas tinggi di bawah bukit Dolok Bahtopu. Blok densitas tinggi ini diinterpretasikan sebagai suatu tubuh intrusi andesitik dan mungkin bertindak sebagai sumber panas bagi sistem panas bumi Dolok Marawa.

Kata kunci: gaya berat, pemodelan 3D, panas bumi, Dolok Marawa, Sumatera.

DDC:

Galuh Yuliani
(Chemistry Study Program, Universitas Pendidikan Indonesia, Dr. Setiabudi 229 Bandung, Indonesia)

POTENTIAL APPLICATION OF LIGNITE AS ADSORBENTS IN INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT: A MINI REVIEW
POTENSI PEMANFAATAN LIGNITE SEBAGAI ADSORBEN PADA INDUSTRI PENGOLAHAN LIMBAH: SEBUAH MINI REVIEW

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 103 - 110

Low rank coal (or lignite) is a low grade, wet, low cost and highly abundant coal. The high moisture content of lignite limits its application as high-heating value fuel and also creates barrier for its export as fuel. However, this property should not necessarily hinder its use in the water industry. Similar to activated carbons, lignite has the theoretical ability to treat the wastewater by adsorbing contaminants from aqueous solution. This review paper highlights the potential use of lignite in wastewater treatment industry.

Keywords: low rank coal, lignite, adsorbent, wastewater treatment.

DDC:

Andri Eko Ari Wibowo, Mochamad Nurhadi, Yuanno Rezky, Dudi Hermawan, Dede lim Setiawan
(Pusat Sumber Daya Geologi)

PENENTUAN KESAMAAN RESERVOAR SISTEM PANAS BUMI KADIDIA DAN KADIDIA SELATAN KABUPATEN SIGI, PROVINSI SULAWESI TENGAH BERDASARKAN METODA GEOKIMIA
DETERMINATION OF RESERVOIR SIMILARITY OF KADIDIA AND KADIDIA SELATAN GEOTHERMAL

SYSTEMS BASED ON GEOCHEMICAL METHOD IN SIGI REGENCY, CENTRAL SULAWESI PROVINCE

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal. 111 - 127

Pembentukan sistem panas bumi di daerah Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan berhubungan dengan aktivitas tektonik yang masih aktif yaitu pada segmen sesar Palu Koro. Hal ini memungkinkan sistem panas buminya mempunyai manifestasi dan reservoir yang bertemperatur tinggi. Litologi daerah ini didominasi oleh batuan plutonik dengan jenis granit dengan bagian depresinya diisi oleh endapan permukaan.

Ditemukannya manifestasi air panas dan tanah panas bertemperatur mendidih di Kadidia Selatan mengindikasikan sistem ini mempunyai temperatur reservoir yang tinggi. Panas yang tinggi ini dipicu oleh aktivitas tektonik yang masih aktif yang memanaskan kembali batuan granit. Temperatur reservoir daerah Kadidia Selatan diperkirakan 240°C dengan pembentukan fluida panas bumi yang berasal dari pencampuran dengan fluida magmatis. Sedangkan daerah Kadidia yang memiliki temperatur yang lebih rendah, sistem panas bumi ini diperkirakan berhubungan dengan sirkulasi dalam dimana air meteorik terpanaskan oleh batuan panas yang kemudian muncul di permukaan sebagai air panas, dengan temperatur reservoir daerah Kadidia diperkirakan 130°C s.d 140°C.

Sistem panas bumi Kadidia dan Kadidia Selatan diperkirakan mempunyai reservoir yang berbeda. Hal ini terlihat dari karakteristik geokimia fluida yang berbeda seperti komposisi unsur-unsur utama, unsur-unsur konservatif, daya hantar listrik, dan isotop. Litologi batuan yang berbeda serta adanya sesar yang membatasi kedua sistem ini juga menegaskan bahwa kedua daerah ini mempunyai reservoir yang berbeda. Namun untuk mengetahui apakah kedua daerah ini mempunyai sistem yang sama atau tidak, belum dapat diketahui karena membutuhkan kajian lebih lanjut.

Kata kunci: panas bumi, non-vulkanik, sesar aktif Palu Koro.

DDC:

Arif R. Darana^{1,2}, Dicky Muslim¹
 (¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran dan
²Geotetra Research Group)

Karakteristik Dan Kualitas Potensi Andesit Di Daerah Kecamatan Soreang Dan Sekitarnya, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

The Characteristics and Quality of Andesite in Soreang District, Bandung Regency, West Java Province
 Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Agustus 2015 Vol. 10 No. 2 Hal 129 - 140

Komoditas mineral *non-logam* merupakan salah satu sumberdaya alam yang berharga. Salah satu yang menjadi komoditi ini ialah batuan beku andesit. Komoditas tersebut terdapat di Bandung bagian selatan yang tepatnya berada di daerah Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Untuk mengetahui bagaimana karakteristik dan kualitas potensi tersebut maka dilakukanlah penelitian yang menggunakan tiga metode, yaitu: 1. Metoda lapangan untuk memetakan keadaan geologi daerah tersebut dan mengambil sampel, 2. Metoda laboratorium, untuk menganalisis sampel secara petrografis, 3. Metoda studio untuk menyusun hasil analisis lapangan dan laboratorium. Hasil yang didapatkan ialah pada daerah penelitian terdapat satuan batuan yang terdiri dari: Satuan Breksi Vulkanik Monomik (Tmbvm), Satuan Lava Andesit Porfiri (Tmla), Satuan Intrusi Andesit Porfiri (Tppa), Satuan Breksi Vulkanik (Tpbv), Endapan piroklastik (Kv) dan Aluvium (Ka). Potensi Andesit Porfiri ini terdapat pada satuan Tppa, yang terbagi dalam tiga kelas kekuatan batuan, yaitu *very strong*, *strong*, dan *weak*. Varietas kualitas ini diakibatkan adanya pelapukan yang melibatkan interaksi antara faktor-faktor fisika dan kimia, dalam membentuk kekar-kekar untuk menjadi jalan air sebagai proses perubahan mineral utama menjadi mineral lempung, sehingga membuat diferensiasi kualitas batuan Andesit Porfiri.

Kata kunci: Geologi, geologi teknik, Andesit Porfiri, kekar, kekuatan batuan.



Identifikasi manifestasi panas bumi, pengukuran temperatur dan pengambilan contoh gas pada Fumarola di Kawah Candradimuka, Gunung Lawu (Nurhadi, 2012)



Sumber energi ramah lingkungan (Candra, 2012)



Karst Gua Liang Kantin Batu Kumpai (Bayu Sayekti, 2012)



Batubara Seam Mangus Anggota M2 dari Formasi Muara Enim, lokasi tambang Airlaya PTBA Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan. (Dede Ibnu Suhada, 2012)



Objek foto tempat Wisata Capolaga, Subang (Elang Somantri, 2013)



Lubang Tambang Menembus Bumi (Reza M. Faisal, 2013)

PEDOMAN PENULISAN
Makalah/karya tulis ilmiah
BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

ISI DAN KRITERIA UMUM

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulas balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Geologi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialihbahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

FORMAT

UMUM

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract*, judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 (sebelas) point. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut :

NO	POKOK BAHASAN	POKOK PIKIRAN
I	Judul (<i>Title</i>)	Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 (lima) orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faximile serta e-mail.
II	Abstrak dan <i>Abstract</i>	Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara <i>Abstract</i> tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/ <i>keyword</i> yang ditulis di bawah Abstrak/ <i>Abstract</i> , terdiri dari 4 (empat) hingga 6 (enam) kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan italic font.

<p>III</p>	<p>Pendahuluan (<i>Introduction</i>)</p>	<p>Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi hingga sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.</p>
<p>IV</p>	<p>Metode (<i>Method</i>)</p>	<p>Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/<i>sampling</i>, cara pengukuran dan komputasi.</p>
<p>V</p>	<p>Hasil dan Analisis (<i>Results and Analysis</i>).</p>	<p>Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto; diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. Font huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 (enam) point</p>
<p>VI</p>	<p>Pembahasan atau Diskusi (<i>Discussion</i>).</p>	<p>Berisi tentang interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.</p>
<p>VII</p>	<p>Kesimpulan dan Saran. (<i>Conclusions and Recommendation</i>)</p>	<p>Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan)</p>
<p>VIII</p>	<p>Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)</p>	<p>Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis</p>
<p>IX</p>	<p>A c u a n (<i>References</i>)</p>	<p>Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun (Harvard), nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (surname), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (italic font)</p>

Beberapa contoh penulisan sumber acuan :**Jurnal**

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. Maceral distribution in Illinois coals and their palaeoenvironmental implication. *International Journal of Coal Geology*, 5, h.141-165.

Buku

Petters, W.C., 1987. *Exploration and Mining Geology*. John Willey & Sons, New York, 685 h.

Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera. *Proceedings Southeast Asian Coal Geology*, Bandung.

Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. *The Late Quarternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia*. Ph.D Thesis at Dept. of Quarternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universitet Amsterdam, h.1-12.

Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. *Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving*. [Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/](http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/)[26 Jan 2006].

WEWENANG REDAKSI

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa merubah substansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

PENGIRIMAN NASKAH

Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 (satu) eksemplar naskah asli baik hard copy maupun soft copy kepada :

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi, Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270
Fax. (022) 522 6270, 522 6263
Email : buletinpsdg@gmail.com

Alamat Redaksi :
Buletin Sumber Daya Geologi
Bidang Informasi
Jalan Soekarno-Hatta No. 444 Bandung, 40254
Telp. (022) 5226270, 5202698, Fax. (022) 5206263,
Website : www.esdm.go.id/, <http://psdg.bgl.esdm.go.id/>,
e-mail : psdg@bgl.esdm.go.id

