

ISSN 1907-5367

buletin

SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 11 No. 1, Mei 2016



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Badan Geologi

Pusat Sumber Daya Geologi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 11	No. 1	Halaman 1 - 72	Bandung Mei 2016	Terakreditasi LIPI sebagai Majalah Ilmiah Nomor : 617/AU2/P2MI-LIPI/03/2015
--------------------------------	---------	-------	-------------------	---------------------	--

KETERANGAN SAMPUL DEPAN

Kegiatan Survei Geokimia Bersistem Lembar Ternate A di Sungai Oba,
Tidore Kepulauan, Pulau Halmahera, Provinsi Maluku Utara. (Sulaeman, S.T, 2015)

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. Denni Widhiyatna, M.T (<i>Geologi</i>) Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi (<i>Mineral Logam</i>) Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si (<i>Mineral Bukan Logam</i>) Edi Suhanto, S.Si, M.T (<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. Sri Widodo (<i>Panas Bumi</i>)
Desain Grafis	Candra, S.T Eko Suryanto, S.Kom
Sekretariat	Dra. Ella Dewi Laraswati Retno Rahmawati Lestari, S.Si Resmi Novianti, S.Kom
Mitra Bestari	Dr. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T (<i>Petrologi</i>) Prof. Dr. Ir. Bukin Daulay, M.Sc (<i>Batubara/CBM</i>) Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc (<i>Geoteknik</i>) Ir. Mega F. Rosana, M.Sc., Ph.D (<i>Mineralogi/Petrologi</i>) Dr. Eng. Imam A. Sadisun (<i>Panas Bumi</i>) Prof. Dr. Ir. Hendarmawan, M.Sc (<i>Geohidrologi</i>) Ir. Sabtanto Joko Suprpto, M.T (<i>Geologi/Geokimia</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

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Kuasa, kami hadirkan edisi pertama tahun 2016 dari Buletin Sumber Daya Geologi ke tangan pembaca. Pada edisi ini kami hadirkan makalah-makalah yang memuat topik-topik sumber daya mineral, panas bumi dan aspek geoteknik terkait penambangan batubara dan aspek keekonomian. Pada edisi ini kami dengan bangga menghadirkan lima makalah.

Pada topik mineral, tulisan pertama adalah mengenai pengolahan data geokimia dengan pendekatan statistik multivariat untuk mengidentifikasi mineralisasi au-cu epitermal sulfida tinggi. Tulisan kedua membahas dampak pembangunan smelter nikel terhadap perekonomian di suatu wilayah. Yang ketiga adalah kasus studi penerapan teknologi georadar bagi geoteknik, namun studi kasusnya sangat menarik untuk kemungkinan perluasan metode ini bagi eksplorasi mineral-mineral tertentu dengan pola cebakan tertentu, seperti plaser.

Topik panas bumi kali ini mengenai sistem panas bumi di luar wilayah vulkanik dan dominan granit, yakni di Pulau Bangka. Kajian ini menarik karena tidak seperti halnya di daerah non-vulkanik, sistem panas bumi di Pulau Bangka dikaitkan dengan keberadaan unsur-unsur radioaktif dalam granit. Peluruhan unsur-unsur radioaktif dalam granit yang menghasilkan panas, diduga sebagai sumber panas utama bagi sistem panas bumi di daerah tersebut.

Pada topik energi fosil, tulisan yang dimuat adalah suatu tulisan yang terkait dengan aspek geoteknik pada penambangan batubara. Tulisan ini membuat asesmen mengenai aspek stabilitas lereng terkait dewatering dan getaran akibat kegiatan seismik dalam proses penambangan.

Pada kesempatan ini, dewan redaksi ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pemakalah, editor dan mitra bestari atas kerja kerasnya 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.

Salam hangat

Dewan Redaksi

DAFTAR ISI

MAKALAH ILMIAH

- 1 - 13 **KARAKTERISTIK GRANIT DALAM PENENTUAN SUMBER PANAS PADA SISTEM PANAS BUMI DAERAH PERMIS, KABUPATEN BANGKA SELATAN, PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG**
THE CHARACTERISTICS OF GRANITE FOR DETERMINATION OF HEATSOURCE IN PERMIS GEOTHERMAL SYSTEM SOUTH OF BANGKA REGENCY, BANGKA BELITUNG ISLANDS PROVINCE
Oleh : Lano Adhitya Permana dan Dede Iim Setiawan
- 15 - 24 **GROUND PENETRATING RADAR DATA ANALYSIS BY USING MODELLING WITH FINITE DIFFERENCE METHOD: CASE STUDY IN BELAWAN PORT**
ANALISIS DATA GROUND PENETRATING RADAR MENGGUNAKAN PEMODELAN DENGAN METODE FINITE DIFFERENCE: STUDI KASUS DERMAGA BELAWAN
Oleh : Hans Elmaury Andreas Siregar
- 25 - 39 **ANALISIS DAMPAK PEMBANGUNAN SMELTER NIKEL TERHADAP PEREKONOMIAN DAERAH DI PROVINSI SULAWESI TENGGARA**
ANALYSIS THE IMPACT OF THE NICKEL SMELTER DEVELOPMENT TOWARD THE REGIONAL ECONOMY IN THE SOUTHEAST PROVINCE
Oleh : Harta Haryadi
- 41 - 54 **PENDEKATAN STATISTIK MULTIVARIAT TERHADAP DATA GEOKIMIA TANAH MULTI-UNSUR UNTUK MENGIDENTIFIKASI MINERALISASI AU-CU EPITERMAL SULFIDA TINGGI DI DAERAH PROSPEK "X", KECAMATAN BATANG ASAI, KABUPATEN SAROLANGUN, PROVINSI JAMBI**
MULTIVARIATE STATISTICAL APPROACH OF MULTI-ELEMENT SOIL GEOCHEMICAL DATA FOR IDENTIFYING THE HIGH SULFIDATION EPITHERMAL AU-CU MINERALIZATION AT "X" PROSPECT, BATANG ASAI, SAROLANGUN DISTRICT, JAMBI PROVINCE
Oleh : Fiandri I. Rinawan, Mega F. Rosana, Bronto Sutopo dan Euis T. Yuningsih
- 55 - 72 **RESPONSE OF STABLE OVERALL SLOPE GEOMETRY OF OPEN PIT COAL MINE IN WARUKIN FORMATION TO DEWATERING AND PEAK GROUND SEISMIC IN SOUTH KALIMANTAN, INDONESIA**
RESPONS GEOMETRI LERENG MENYELURUH STABIL TAMBANG TERBUKA PADA FORMASI WARUKIN, AKIBAT PENYALIRAN DAN GEMPA DI KALIMANTAN SELATAN, INDONESIA
Oleh : Agus W. Oscar, Dicky Muslim, Nana Sulaksana, Febri Hirnawan

ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

GALERI FOTO

Oleh : Candra, S.T dan Eko Suryanto, S.Kom

PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi

**KARAKTERISTIK GRANIT DALAM PENENTUAN SUMBER PANAS
PADA SISTEM PANAS BUMI DAERAH PERMIS,
KABUPATEN BANGKA SELATAN, PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG**

***THE CHARACTERISTICS OF GRANITE FOR DETERMINATION OF HEAT SOURCE
IN PERMIS GEOTHERMAL SYSTEM
SOUTH OF BANGKA REGENCY, BANGKA BELITUNG ISLANDS PROVINCE***

Lano Adhitya Permana dan Dede Iim Setiawan

Pusat Sumber Daya Geologi
Jalan Soekarno Hatta No. 444, Bandung
lano.adp@gmail.com

SARI

Kegiatan penelitian di daerah Permis, Kepulauan Bangka Belitung difokuskan pada kehadiran intrusi batuan granit pada sistem panas bumi daerah Permis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik granit dan hubungannya terhadap pembentukan sistem panas bumi Daerah Permis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengamatan dan pengambilan conto di lapangan serta analisis laboratorium dari aspek megaskopis, mikroskopis dan geokimia batuan. Granit di daerah penelitian bersifat *peraluminous*, mengandung unsur radioaktif di dalam mineral monasit, diklasifikasikan ke dalam granit tipe S dan terbentuk pada tatanan tektonik *continental collision*. Sistem panas bumi daerah Permis berasosiasi dengan aktivitas unsur radioaktif yang terkandung dalam intrusi granit dan menghasilkan akumulasi energi panas.

Kata kunci: Granit, Permis, radioaktif, panas bumi, Kepulauan Bangka Belitung

ABSTRACT

This study in Permis area of Bangka Belitung Islands is focused on the occurrence of granite intrusion into geothermal system. The aim of this study is to reveal the characteristics of granite and its relationship with the formation of geothermal system in the study area. Methodology consists of field observation, rock samplings and laboratory analysis in terms of megascopic, microscopic and geochemistry of rocks. The result shows that granite in the study area is peraluminous, containing radioactive element in Monazite mineral, which can be classified as S type of granite in the tectonic setting of continental collision. Geothermal system of Permis area is associated with the activity of radioactive element in granite intrusion, which produce the accumulation of heat energy.

Keywords: Granite, Permis, radioactivity, geothermal, Bangka Belitung Islands

PENDAHULUAN

Pulau Bangka merupakan salah satu pulau yang termasuk dalam jalur *Granite Tin Belt* (Cobbing, dkk., 1992). Granit merupakan litologi penyusun Pulau Bangka dengan penyebaran hampir di seluruh wilayah, termasuk di daerah Permis - Kabupaten Bangka Selatan yang diperkirakan berumur Trias (Margono, dkk., 1995). Keberadaan sistem panas bumi daerah Permis ditandai

dengan munculnya mata air panas dengan temperatur berkisar 49°C s.d. 57°C dan berada tidak jauh dengan batuan granit (Anonim, 2014). Umur granit di daerah Permis yang sangat tua diperkirakan kurang memiliki sisa panas yang signifikan sebagai sumber panas pada suatu sistem panas bumi, sehingga terdapat kemungkinan lain untuk terbentuknya sumber energi panas dari granit, yaitu berasal dari kandungan unsur

radioaktif. Ngadenin (2011) mengemukakan bahwa di wilayah Pulau Bangka bagian selatan terdapat potensi mineral radioaktif yang cukup signifikan. Untuk mengetahui keterkaitan kandungan unsur radioaktif dengan energi panas yang dihasilkan, maka diperlukan studi petrologi batuan granit yang mengkaji dari aspek megaskopis, mikroskopis dan geokimia batuan. Hasil penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik granit dan hubungannya terhadap pembentukan sistem panas bumi daerah Permis.

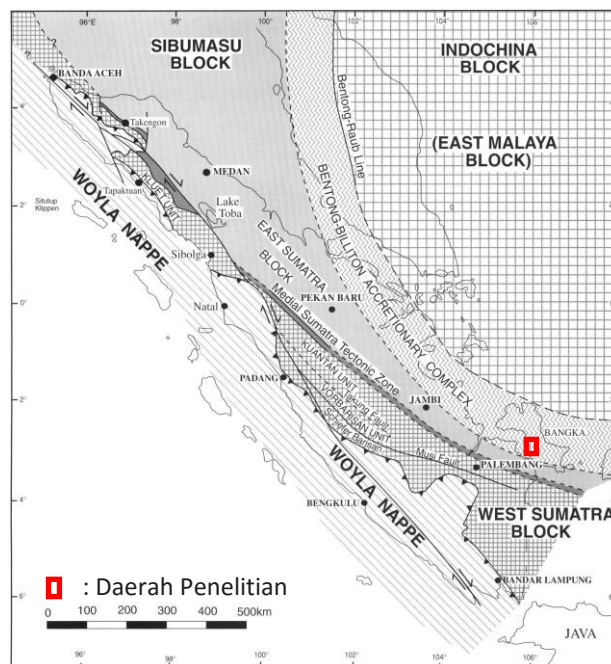
METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengamatan dan pengambilan conto di lapangan serta analisis laboratorium. Untuk dapat memahami karakteristik granit yang terdapat di daerah Permis, maka sebanyak 10 conto granit terpilih telah dilakukan analisis laboratorium yang terdiri dari analisis petrografi dan analisis kimia unsur utama. Analisis petrografi dengan menggunakan mikroskop polarisasi dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik mineral dan tekstur batuan, sedangkan analisis XRF (*X-ray Fluorescence*) dilakukan untuk

mengetahui kandungan oksida unsur utama seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , dan P_2O_5 . Analisis tersebut dilakukan di Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi - Bandung.

GEOLOGI

Metcalf (2000) menjelaskan bahwa selama periode Perm hingga Trias Akhir terjadi peristiwa subduksi samudera *Palaeo-Thetys* yang kemudian diikuti oleh tumbukan antara Blok Sibumasu (Siam - Burma - Malaysia - Sumatera) dengan Malaya Timur (Gambar 1). Akibat adanya tumbukan Blok Malaysia Timur dan Malaysia Barat (Sibumasu) di sepanjang Suture Bentong Raub, menimbulkan kegiatan magmatisme yang dapat membentuk granit tipe I dan S di wilayah Semenanjung Malaysia, Thailand dan Pulau Bangka (Mitchell, 1977 dalam Widana, 2011). Hal tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Metcalf (2000) dan Barber dkk. (2005) mengenai peta geologi Sumatera disederhanakan yang memasukkan Pulau Bangka di dalam Zona Suture Bentong - Raub.



Gambar 1. Blok kerak yang menyusun batuan dasar pre-Tersier Sumatera (Modifikasi dari Hutchison (1994), Metcalf (2000), Barber dan Crow (2003) dalam Barber, dkk., 2005).

Secara umum, geologi daerah Permis tersusun oleh batu pasir, granit, endapan rawa dan pantai serta alluvial (Gambar 2). Batupasir yang tersingkap dicirikan oleh intensitas pelapukan yang kuat, berwarna coklat kemerahan, bertekstur klastik dengan ukuran butir pasir sedang s.d. pasir kasar, berbentuk menyudut s.d. membulat tanggung, teroksidasi kuat dan setempat dijumpai dalam bentuk bongkah-bongkah. Margono dkk. (1995) menggolongkan batupasir daerah Permis ke dalam Formasi Tanjung Genting yang berumur Trias.

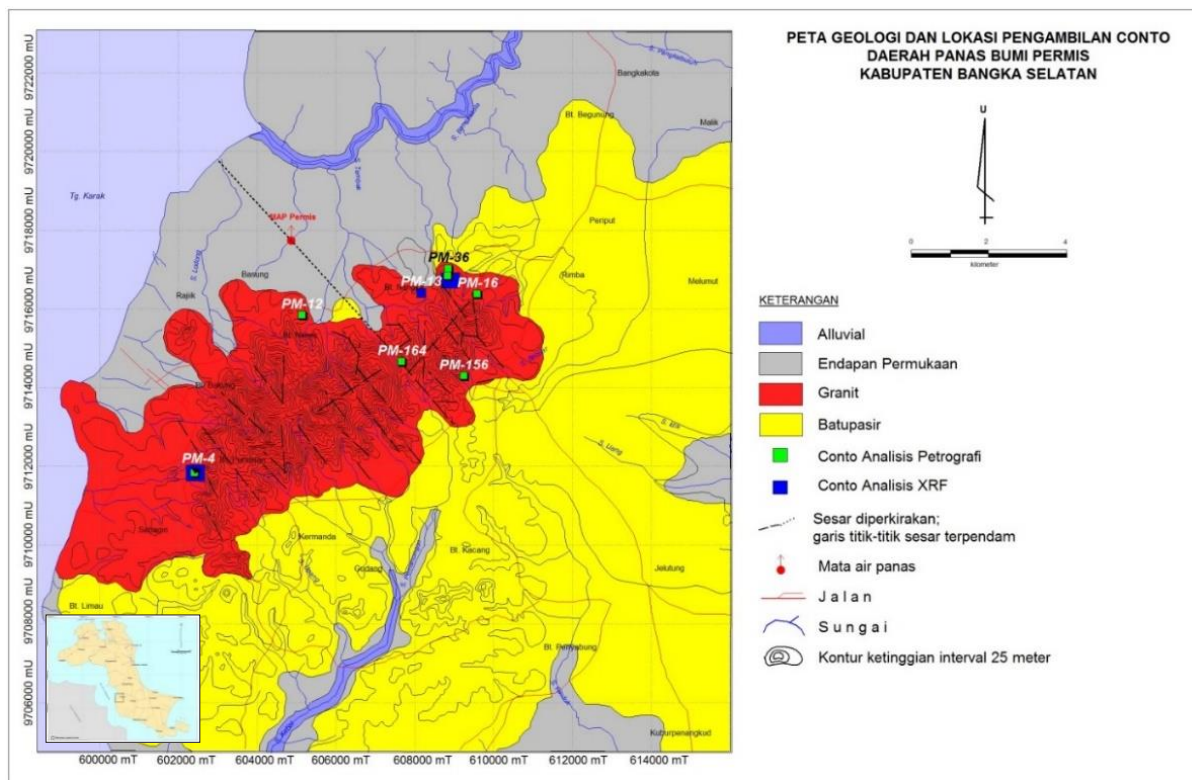
Satuan batuan granit tersingkap di bagian tengah dan barat laut daerah Permis, dicirikan oleh warna abu-abu terang sampai putih, bertekstur faneritik, equigranuler, holokristalin, tersusun oleh mineral kuarsa, plagioklas, K-feldspar, biotit dan muskovit yang berbentuk anedral sampai subhedral. Jika dibandingkan dengan Peta Geologi Lembar Bangka Selatan (Margono, dkk.,

1995), granit tersebut merupakan bagian dari Granit Klabat yang berumur Trias Akhir dan menerobos satuan batupasir Formasi Tanjung Genting.

Endapan permukaan terdapat di bagian utara dan tengah daerah panas bumi Permis. Sebagian besar wilayah ini merupakan lahan bekas tambang timah yang terisi oleh endapan permukaan berupa pasir, lempung, dan kerikil.

Satuan endapan aluvium terdapat di sepanjang Sungai Bangkakota dan tersusun oleh endapan pasir kuarsa dan lumpur.

Struktur geologi daerah Permis umumnya mengikuti pola struktur regional, antara lain berupa kelurusan dan sesar normal yang berarah barat laut-tenggara serta sesar mendatar berarah relatif timurlaut-baratdaya. Keberadaan struktur tersebut mengontrol pembentukan manifestasi di daerah Permis.



Gambar 2. Peta geologi dan lokasi pengambilan contoh (Modifikasi dari Anonim, 2014).

HASIL ANALISIS

Hasil pengamatan megaskopis di lapangan memperlihatkan bahwa granit di daerah penelitian memiliki K-feldspar yang berukuran besar (hingga 5 cm) dengan

tekstur fanerik (Gambar 3) dan terdapat *xenolith* berupa batupasir (Gambar 4). Kedua ciri tersebut dapat dijadikan sebagai salah satu indikator granit tipe-S, seperti yang diungkapkan oleh Chappel dan White (2001).



Gambar 3. Singkapan granit bertekstur fanerik.



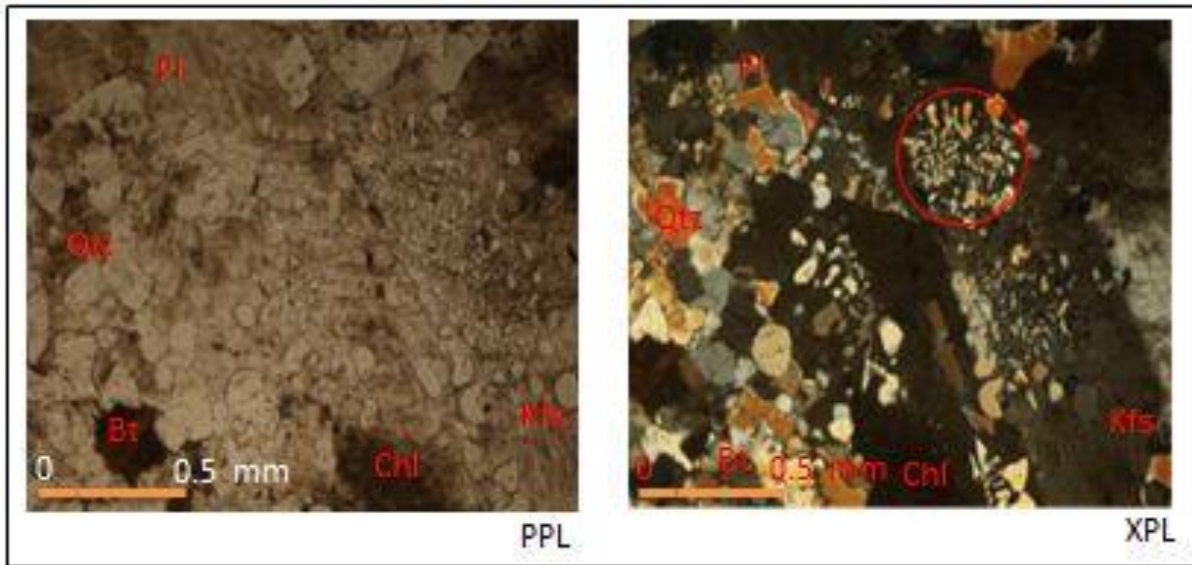
Gambar 4. Singkapan granit yang menunjukkan adanya *xenolith* batupasir (lingkaran berwarna merah).

Hasil analisis petrografi terhadap tujuh contoh granit yang tersebar di daerah Permis (Gambar 2), menunjukkan bahwa granit di daerah ini memiliki tekstur holokristalin, *equigranular* dengan ukuran 0,25 mm s.d. 20,5 mm, berbentuk subhedral s.d. anhedral dengan komposisi mineral utama terdiri dari plagioklas, K-feldspar, kuarsa, biotit dan muskovit. Plagioklas yang teramati memiliki komposisi oligoklas s.d. albit ($An_{25}Ab_{75}$ s.d. An_2Ab_{98}). K-feldspar yang hadir berupa

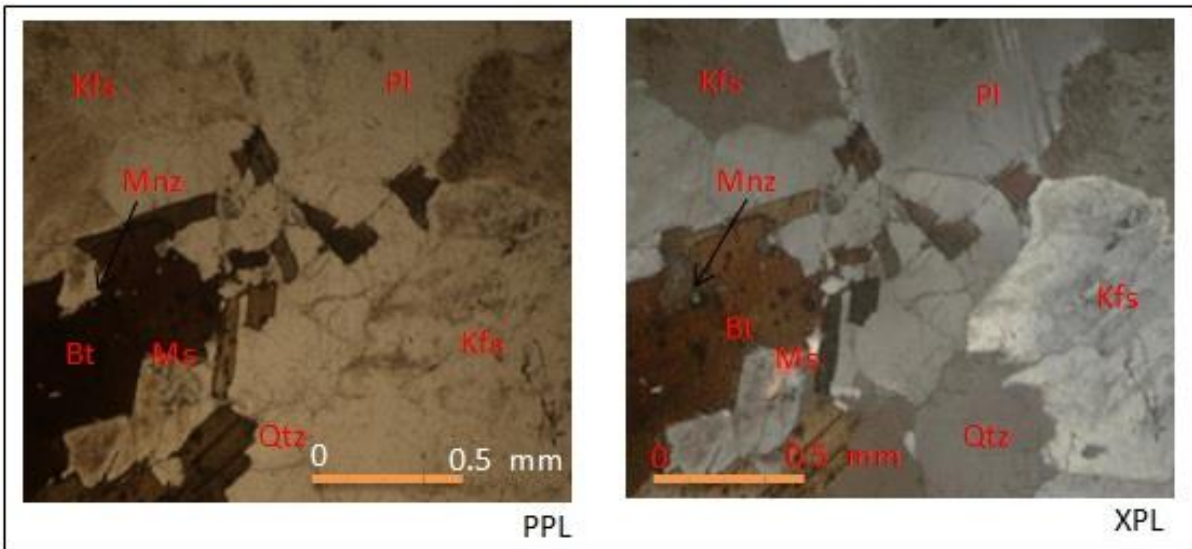
ortoklas, dicirikan dengan relief rendah dan warna putih berkabut. Kuarsa dicirikan dengan relief rendah, tidak berwarna dan berbentuk anhedral. Biotit yang teramati mulai berubah menjadi klorit, terutama pada bagian belahan. Muskovit dicirikan dengan belahan satu arah dan tidak berwarna. Kehadiran tekstur khas berupa *myrmekitik* yang menunjukkan adanya pertumbuhan bersama antara kuarsa dengan plagioklas (Gambar 5).

Mineral sekunder yang ditemukan berupa klorit, serisit dan mineral opak. Klorit hadir sebagai hasil ubahan dari biotit, sedangkan serisit merupakan hasil ubahan dari mineral feldspar, terutama plagioklas. Mineral opak hadir berwarna hitam dengan jumlah relatif sedikit. Sementara itu, mineral aksesoris yang teramati berupa monasit dengan

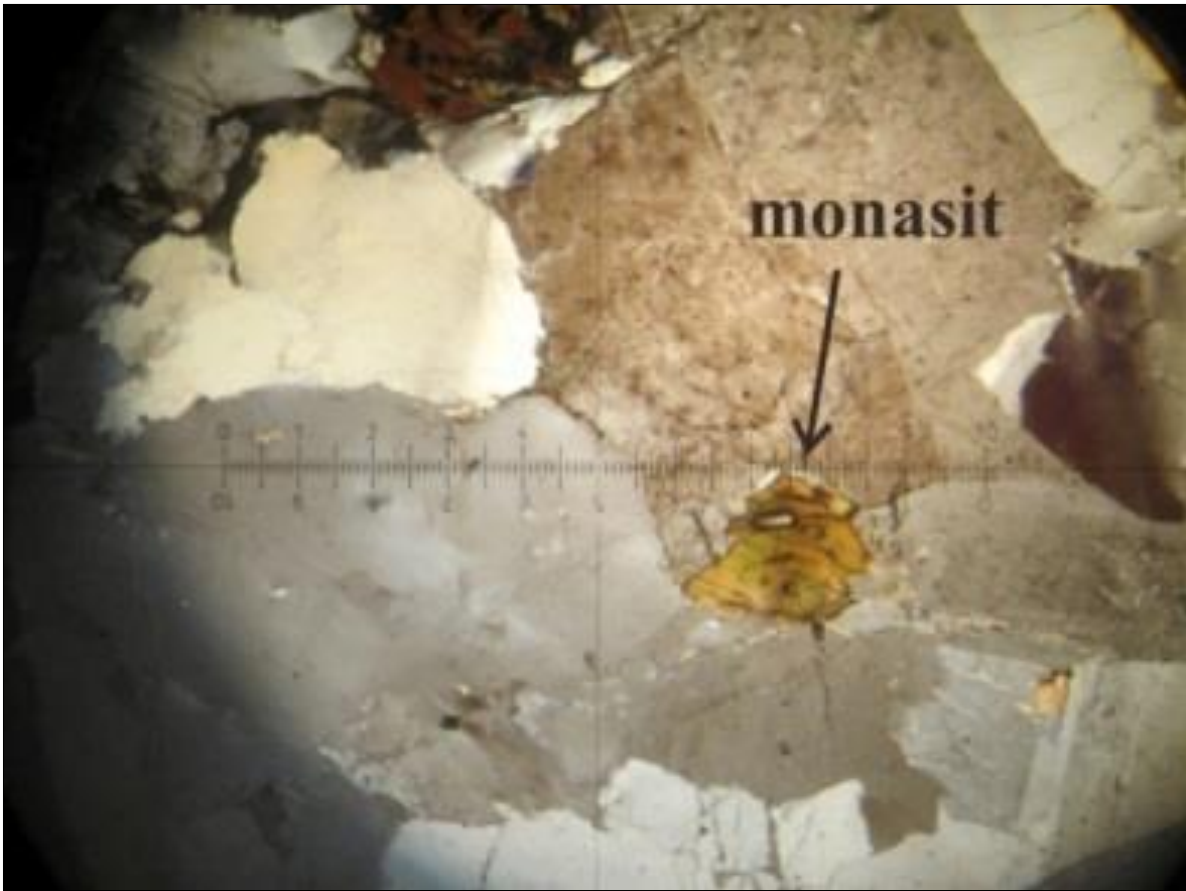
dicirikan oleh relief tinggi, hadir sebagai inklusi dalam biotit, membentuk *pleochroic halos* dan memiliki kelimpahan kurang dari 1% (Gambar 6). Kehadiran mineral monasit secara petrografis juga telah teramati dalam batuan Granit Menumbing di Bangka Barat seperti tersaji dalam Gambar 7 (Saksama dan Ngadenin, 2013)



Gambar 5. Analisis petrografi pada conto PM-16 yang menunjukkan tekstur *myrmekitik* (lingkaran berwarna merah).



Gambar 6. Analisis petrografi pada conto PM-156, menunjukkan adanya monasit (Mnz) yang hadir sebagai inklusi dalam biotit.



Gambar 7. Foto penampakan mineral monasit pada Granit Menumbing, Monasit terdapat diantara kuarsa dan *K-feldspar*. (Saksama dan Ngadenin, 2013)

Hasil analisis petrografi dengan menggunakan klasifikasi *International Union of Geological Sciences* (Le Bas dan Streckeisen, 1991), menunjukkan bahwa

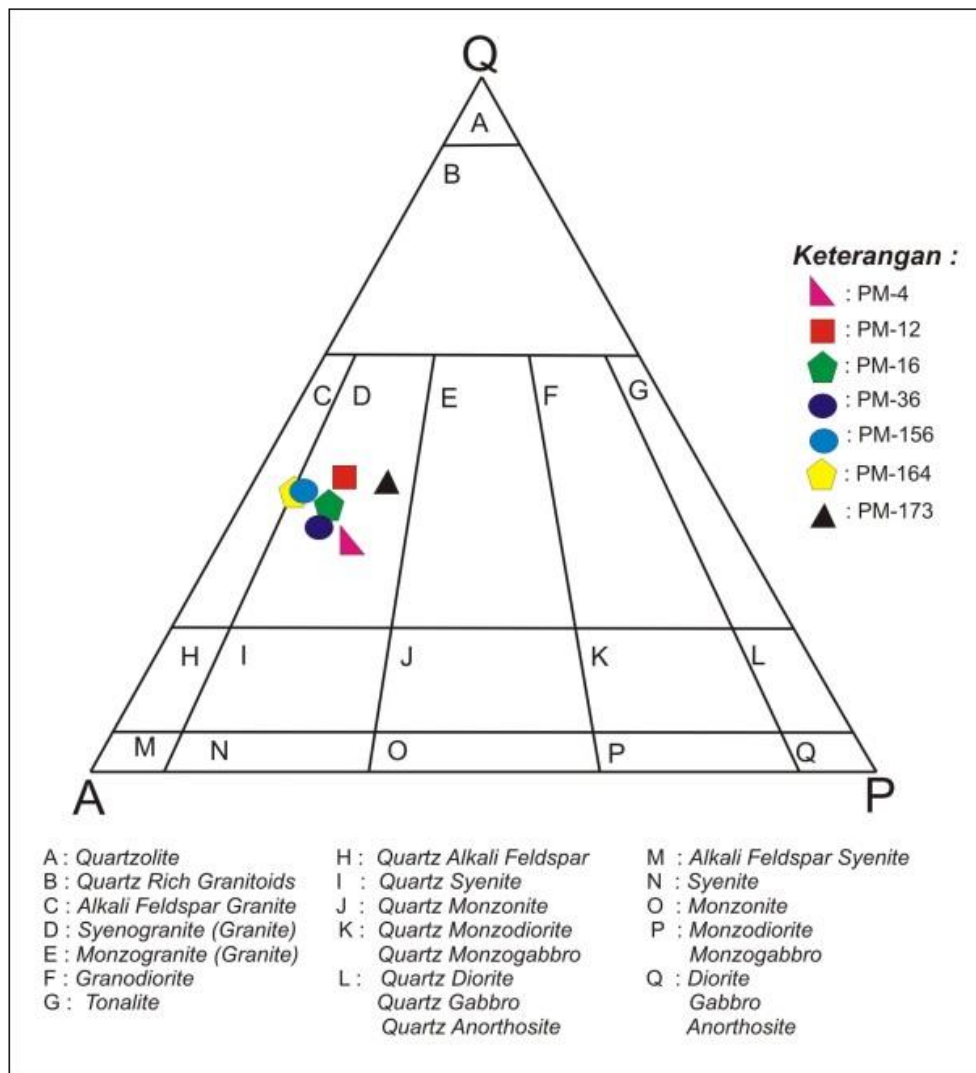
granit di daerah Permis termasuk dalam *Syenogranite* (Gambar 8). Kelimpahan mineral hasil analisis petrografi terangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelimpahan mineral pada daerah penelitian berdasarkan analisis petrografi.

KODE CONTO	Mineral Primer (%)				Mineral Sekunder (%)				Mineral Aksesoris (%)		Total (%)	Jenis Granit (Le Bas dan Streckeisen, 1991)
	Pla		Qz	Kf	Bi	Ms	Cl	Ser	Op	Mnz		
	Olg	Alb										
PM-4	15		30	45	9				1		100	<i>Syenogranit</i>
PM-12	10		35	40	13				2		100	<i>Syenogranit</i>
PM-16	10		30	43	7	4	4	1	1		100	<i>Syenogranit</i>
PM-36	10		30	45	14				1		100	<i>Syenogranit</i>
PM-156		7	32	42	13	4		1	1	Trace	100	<i>Syenogranit</i>
PM-164		4	32	45	13	4		1	1		100	<i>Syenogranit</i>
PM-173	15		35	35	14				1		100	<i>Syenogranit</i>

Keterangan:

Olg = Oligoklas Kf = K-Feldspar Cl = Klorit Mnz = Monasit
 Alb = Albit Bi = Biotit Ser = Serisit Trace = Jarang
 Qz = Kuarsa Ms = Muskovit Op = Mineral Opak



Gambar 8. Hasil plot diagram QAP (*Quartz-Alkali Feldspar- Plagioclase*) dari conto sayatan tipis berdasarkan klasifikasi IUGS (Le Bas dan Streckeisen, 1991).

Analisis geokimia batuan granit di daerah penelitian menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Contoh yang dianalisis

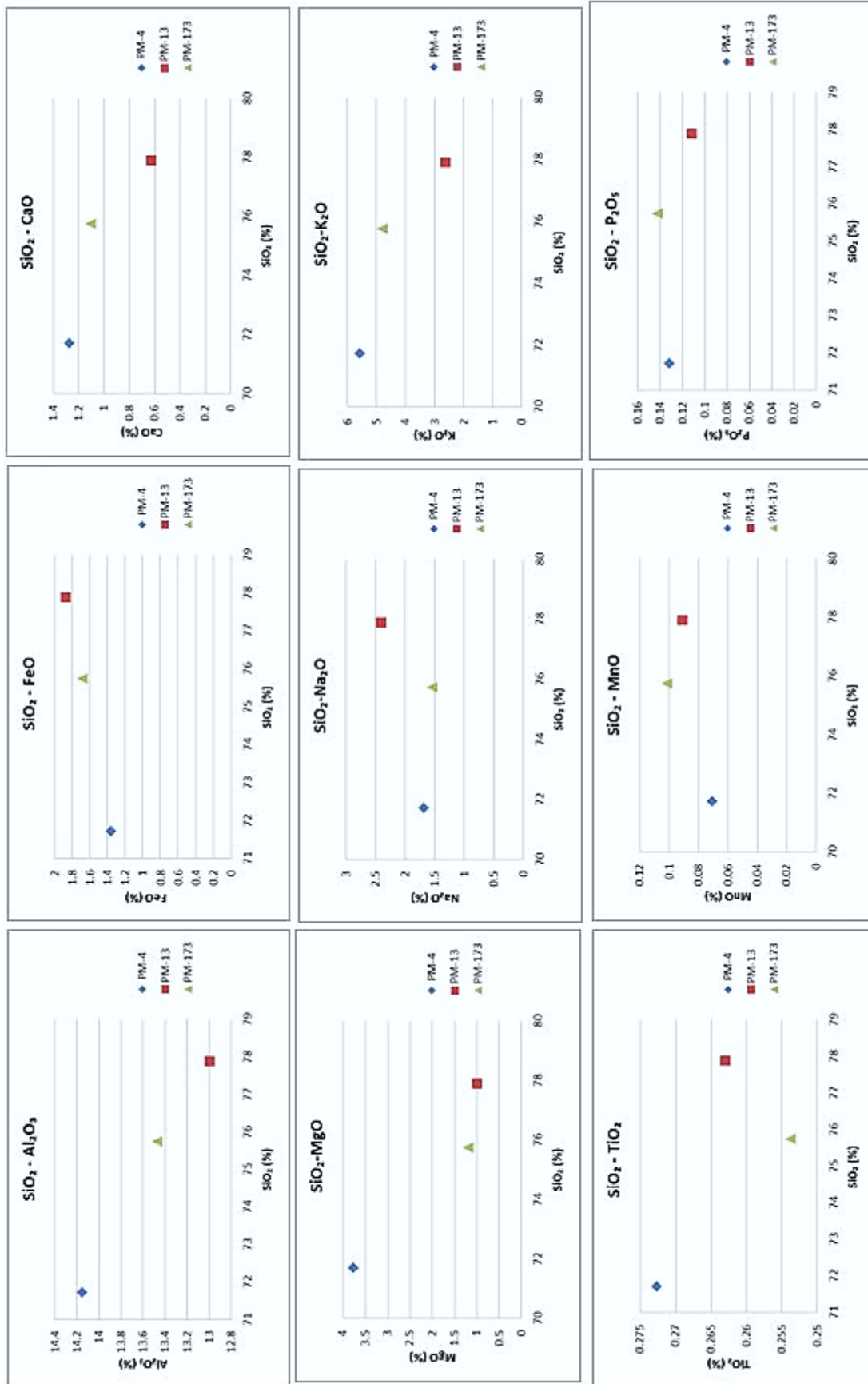
dengan menggunakan XRF berjumlah tiga contoh dengan hasil analisis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil analisis XRF unsur utama (*major element*).

KODE	KANDUNGAN (%)										
CONTO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total
PM-4	71.01	14.05	1.35	1.26	3.73	1.66	5.56	0.27	0.07	0.13	99.09
PM-13	77.02	12.85	1.85	0.62	1.11	2.38	2.59	0.26	0.09	0.11	98.88
PM-173	74.64	13.27	1.65	1.09	1.17	1.51	4.71	0.25	0.10	0.14	98.53

Tabel 3. Hasil analisis XRF unsur utama (*major element*) setelah dinormalisasi.

KODE	KANDUNGAN (%)										
CONTO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Total
PM-4	71.66	14.18	1.36	1.27	3.77	1.68	5.61	0.27	0.07	0.13	100.00
PM-13	77.89	13.00	1.87	0.63	1.12	2.41	2.62	0.26	0.09	0.11	100.00
PM-173	75.75	13.47	1.68	1.11	1.19	1.53	4.78	0.25	0.10	0.14	100.00

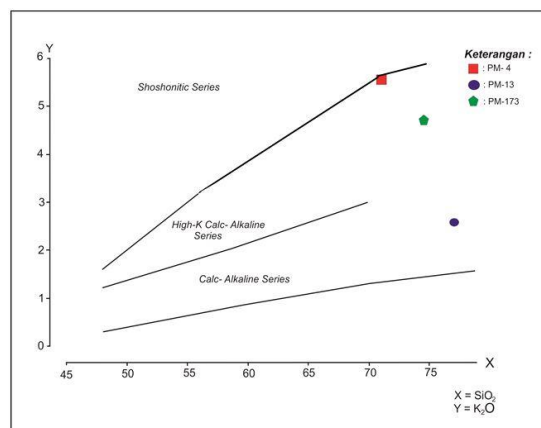


Gambar 9. Variasi diagram Harker pada batuan granit di daerah penelitian.

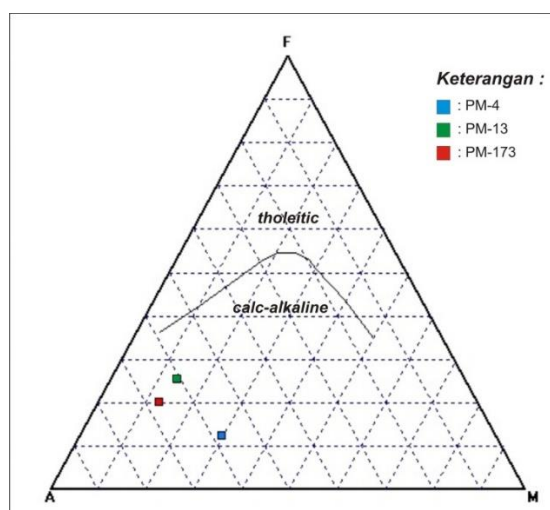
Berdasarkan diagram (Harker, 1909 dalam Rollinson, 1993), batuan granit di daerah penelitian menunjukkan adanya penurunan kandungan Al_2O_3 , CaO , K_2O , P_2O_5 dan MgO terhadap peningkatan SiO_2 , sedangkan unsur Na_2O dan MnO terlihat mengalami kenaikan terhadap peningkatan kandungan SiO_2 (Gambar 9). Hal tersebut terjadi sebagai akibat adanya fraksinasi kristal dari mineral-mineral seperti K-feldspar, plagioklas, biotit, muskovit dan monasit.

Hasil analisis XRF (Tabel 3) menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki kandungan SiO_2 berkisar 71,66% s.d. 77,89%, K_2O 2,62% s.d. 5,61% dan TiO_2 0,25% s.d. 0,27%. Hasil *plotting* SiO_2 terhadap K_2O (Peccerillo dan Taylor, 1976

dalam Harahap, 2007), menempatkan granit di daerah Permian termasuk ke dalam afinitas magma seri *calc-alkaline* sampai *high calc-alkaline* (Gambar 10), sedangkan perbandingan kandungan antara Na_2O dan K_2O , FeO , dan MgO dalam diagram A-F-M (Irvine dan Baragar, 1971 dalam Harahap, 2007) memperlihatkan bahwa granit di daerah penelitian berafinitas magma *calc-alkaline* (Gambar 11). Menurut Chappel dan White (2001), kandungan Na_2O yang relatif rendah ($< 3,2\%$) dan K_2O yang tinggi ($\pm 5\%$), seperti yang terdapat pada granit di daerah Permian, mencirikan bahwa granit di daerah penelitian termasuk tipe S. Sementara itu, kandungan $TiO_2 < 1,5\%$ mengindikasikan bahwa daerah penelitian memiliki keterkaitan dengan zona subduksi (Gill, 1981 dalam Rollinson, 1993).



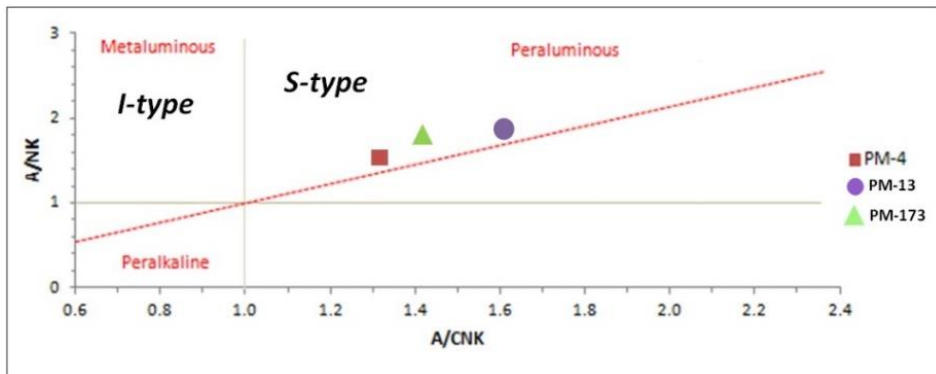
Gambar 10. Grafik hubungan antara kandungan SiO_2 dengan K_2O daerah Permian (Modifikasi dari Peccerillo dan Taylor, 1976 dalam Harahap, 2007).



Gambar 11. Perbandingan antara kandungan Na_2O dan K_2O (A), FeO (F), dan MgO (M) daerah Permian (Modifikasi dari Irvine dan Baragar, 1971 dalam Harahap, 2007)

Berdasarkan tingkat saturasi alumina (Shand, 1943 dalam Clarke, 1992), melalui formulasi rasio A/CNK (mol Al_2O_3 /mol $\text{CaO} + \text{mol Na}_2\text{O} + \text{mol K}_2\text{O}$) dan A/NK (mol Al_2O_3 /mol $\text{Na}_2\text{O} + \text{mol K}_2\text{O}$), menempatkan batuan granit di daerah penelitian ke dalam jenis *peraluminous* (Gambar 12). Karakter

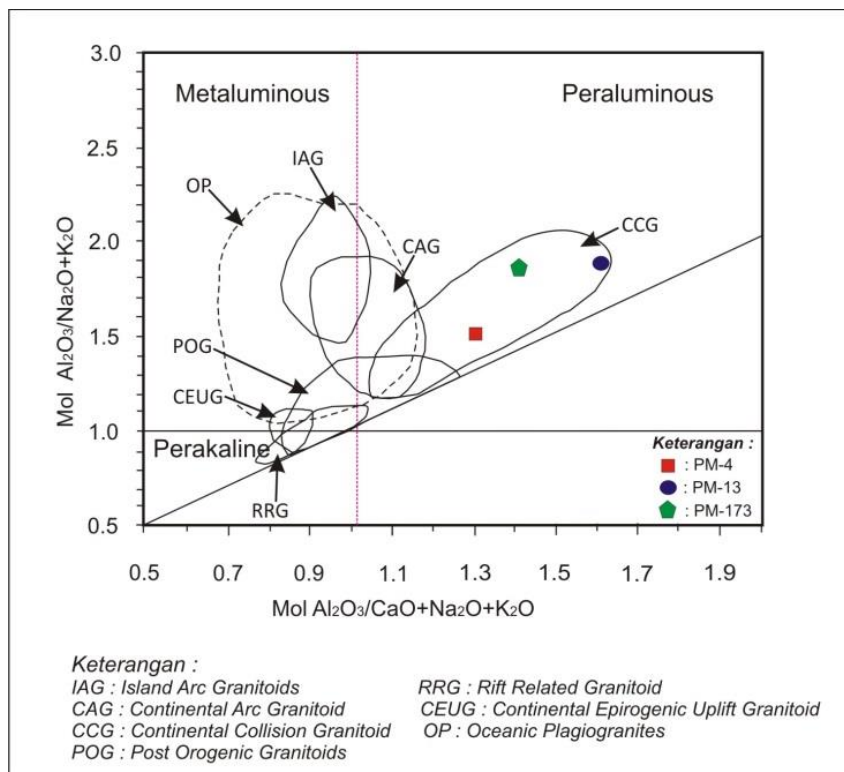
peraluminous yang terdapat di daerah penelitian berhubungan dengan kandungan mineral utama yang mengandung aluminium, seperti biotit dan muskovit sebagaimana dikonfirmasi oleh data mikroskopis.



Gambar 12. Grafik hubungan antara kandungan Al_2O_3 (A) dengan CaO (C), Na_2O (N), dan K_2O (K) pada batuan granit daerah Permian (Modifikasi dari Shand, 1943 dalam Clarke, 1992).

Untuk mengetahui lingkungan tektonik daerah penelitian digunakan diagram *aluminium saturation index* (Maniar dan Picolli, 1989), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Hasil *plotting* pada

diagram *aluminium saturation index* memperlihatkan bahwa daerah penelitian berada pada lingkungan tektonik *Continental Collision Granitoid*.



Gambar 13. Hasil interpretasi lingkungan tektonik daerah penelitian berdasarkan diagram *aluminium saturation index* (Modifikasi dari Maniar dan Picolli, 1989).

PEMBAHASAN

Secara umum, sistem panas bumi di Pulau Bangka didominasi oleh kehadiran batuan intrusif yang sisa panasnya telah berkurang namun masih dapat menyimpan panas (Anonim, 2010). Di daerah penelitian tidak ditemukan intrusi muda yang dapat diyakini sebagai sumber panas yang biasa ditemukan dalam suatu sistem panas bumi aktif di daerah non-vulkanik. Sun dkk. (2015) menyebutkan bahwa panas yang dihasilkan oleh intrusi granit dapat berasal dari proses peluruhan unsur radioaktif.

Keberadaan intrusi granit di daerah penelitian diperkirakan berasosiasi dengan aktivitas peluruhan radioaktif yang dapat berperan sebagai sumber panas. Hal tersebut didukung oleh ditemukannya monasit di daerah penelitian berdasarkan pendekatan analisis petrografi pada conto PM-156. Monasit merupakan mineral yang mengandung unsur radioaktif seperti uranium dan thorium. Nurdiana (2015) menyebutkan bahwa batuan granit di daerah Permis mempunyai kadar uranium sebesar 6,9 ppm, thorium 33,3 ppm dan potasium 43.400 ppm. Data kadar tersebut dapat digunakan untuk mengetahui besarnya panas radioaktif yang dihasilkan oleh batuan granit melalui formulasi sebagai berikut (Rybach, 1988 dalam Alabi, dkk., 2007):

$$Q = (95.2 C_u + 25.6 C_{th} + 0.00348 C_k)$$

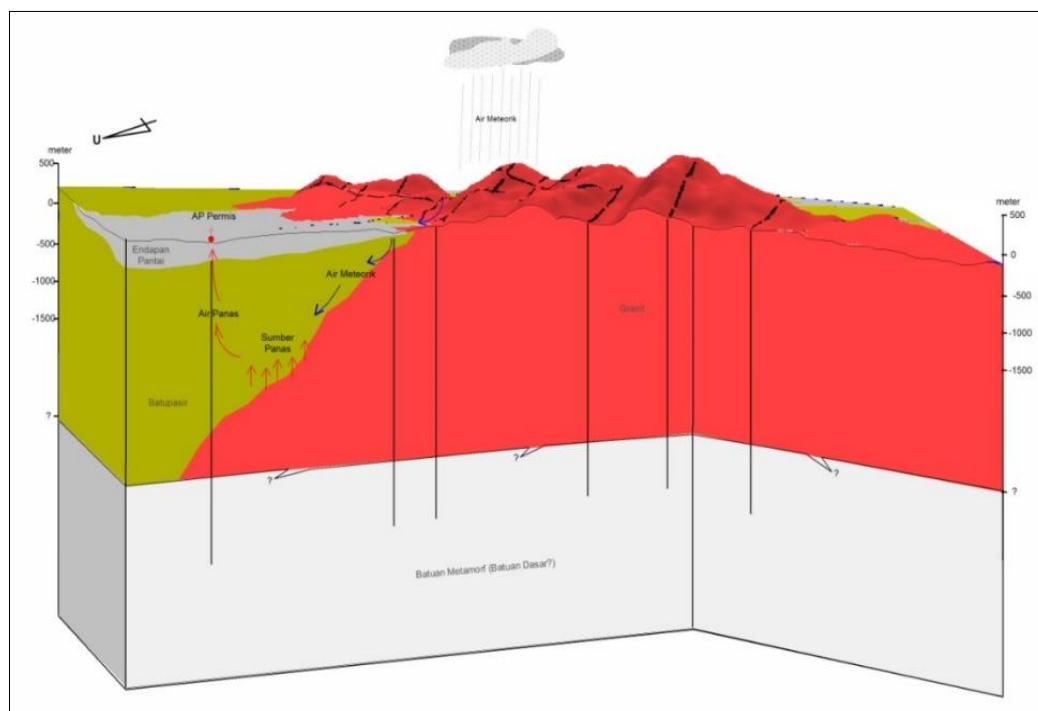
C_u , C_{th} dan C_k secara berurutan merupakan kandungan uranium, thorium dan potasium dalam satuan ppm. Hasil perhitungan dengan menggunakan formulasi tersebut, diperoleh nilai panas radioaktif yang dihasilkan oleh granit di daerah penelitian sekitar 1660,39 pW kg⁻¹.

Panas yang dihasilkan oleh batuan granit mengindikasikan adanya aktivitas unsur radioaktif yang terkait dengan kehadiran mata air panas di daerah penelitian, dalam

hal ini kehadiran aktivitas unsur radioaktif berperan sebagai penyedia sumber panas pada sistem panas bumi daerah Permis.

Berdasarkan karakteristik geokimia granit, diagram *aluminium saturation index* dan adanya variasi afinitas magma, menunjukkan bahwa daerah penelitian berada pada lingkungan tektonik *continental collision* yang melibatkan kondisi tektonik subduksi hingga kolisi. Peristiwa tektonik yang terjadi di daerah penelitian sesuai dengan pendapat Metcalfe, (2000) yang menyebutkan bahwa selama periode Perm hingga Trias Akhir terjadi peristiwa subduksi samudera *Paleo-Thetys* yang diikuti oleh tumbukan antara Blok Sibumasu (Siam-Burma-Malaysia-Sumatera) dengan Malaya Timur. Menurut Mitchell (1977 dalam Widana, 2011), akibat adanya tumbukan antara Blok Malaysia Timur dan Malaysia Barat (Sibumasu) di sepanjang Sutar Bentong Raub, menimbulkan kegiatan magmatisme yang dapat membentuk granit tipe I dan S di wilayah Semenanjung Malaysia, Thailand dan Pulau Bangka.

Proses yang terjadi pada sistem panas bumi daerah Permis berkaitan erat dengan aktivitas unsur radioaktif yang dapat menghasilkan akumulasi energi panas, sedangkan keberadaan tektonik regional yang bekerja di sekitar daerah penelitian mengakibatkan daerah Permis memiliki zona berpermeabilitas tinggi. Pasokan fluida sistem panas bumi daerah Permis berasal dari air meteorik yang dapat mengalami penetrasi sangat dalam melalui zona struktur patahan. Selama berinteraksi dengan tubuh batuan granit melalui media kekar atau sesar, air meteorik mampu menyapu panas hasil aktivitas radioaktif sebagai salah satu unsur penyusun granit, sebelum akhirnya membentuk fluida panas yang kemudian bergerak menuju ke permukaan melalui kontrol patahan sebagai mata air panas seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 14.



Gambar 14. Model sistem panas bumi tentatif daerah panas bumi Permis (Anonim, 2014).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik granit di daerah penelitian tergolong kedalam granit tipe S dengan kandungan unsur radioaktif dalam monasit yang dapat menghasilkan akumulasi energi panas. Ketidakhadiran intrusi muda yang dapat diyakini sebagai sumber panas dalam suatu sistem panas bumi non-vulkanik seperti di daerah Permis, memberikan indikasi bahwa sumber panas dalam sistem panas bumi di daerah ini berasal dari hasil peluruhan unsur radioaktif yang terkandung dalam granit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Koordinator Kelompok Penyelidikan Panas Bumi yang telah memberikan izin penggunaan data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Santia Ardi Mustofa yang telah membantu dalam penyediaan data sekunder dan tim editor yang telah memberikan koreksi dan saran dalam perbaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabi, O.O., Akinluyi, F.O., Ojo, M.O., and Adebo, B.A., 2007. *Radiogenic Heat Production of Rock from Three Rivers in Osun State of Nigeria*. Journal of Applied Science, Vol. 7, No. 12. Hal 1661-1663.
- Anonim, 2010. Potensi dan Pengembangan Sumber Daya Panas Bumi Indonesia. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi. Bandung.
- Anonim, 2014. Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Permis, Kabupaten Bangka Selatan, Provinsi Bangka Belitung. Pusat Sumber Daya Geologi - Badan Geologi, Bandung.
- Barber, A.J., Crow, M.J., and Milsom, J.S. (editor)., 2005. *Sumatera: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society, London, Memoir No. 31.
- Chappel, B. W., and White, A. J. R., 2001. *Two Contrasting Granite Types: 25 Years Later*. Australian Journal of Earth Sciences. Hal. 489 - 499.

- Clarke, D.B., 1992. *Granitoid Rocks*. Department of Earth Sciences Dalhousie University Halifax.
- Cobbing, E.J., Pitfield, P.E.J., Darbyshire, D.P.F., and Mallick, D.I.J., 1992. *The Granites of the South-East Asian Tin Belt*. Overseas Memoir of the British Geological Survey, No.10.
- Harahap, B.H., 2007. *Petrologi Batuan Magmatis Neogen Daerah Pangkalan Kotabaru Limapuluh Kota Sumatera Barat*. Jurnal Sumber Daya Geologi, Vol.27 No. 4, Hal. 207-217.
- Le Bas, M. J., Streckeisen, A. L., 1991. *The IUGS Systematics of Igneous Rocks*. Journal of the Geological Society, London, Vol 148, Hal. 825-833.
- Maniar, P.D., dan Piccoli, P.M., 1989. *Tectonic Discrimination of Granitoids*. Bulletin of the American Geological Society, Vol.101, Hal. 635-643.
- Margono, Supandjono dan Partoyo, 1995. Peta Geologi Lembar Bangka Selatan, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Metcalfe, I., 2000. *The Betong-Raub Suture Zone*. Journal of Asian Earth Sciences. Hal. 691 - 712.
- Ngadenin, 2011. *Sebaran Monasit pada Granit dan Aluvial di Bangka Selatan*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol.13, No. 2, Hal. 102-110.
- Nurdiana, A., 2015. *Evolusi Tektonik Pulau Bangka Bagian Selatan Berdasarkan Analisis Petrografi dan Geokimia Granitoid*. Skripsi. Departemen Teknik Geologi - Institut Teknologi Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Pearson Prentice Hall: Malaysia
- Sun, Z., Wang, A., Liu, J., Hu, B., and Chen G., 2015. *Radiogenic Heat Production of Granites and Potential for Hot Dry Rock Geothermal Resources in Guangdong Province, Southern China*. Proceeding World Geothermal Congress 2015, Australia.
- Saksama, K.D., dan Ngadenin, 2013. *Geologi Daerah Muntok dan Potensi Granit Menumbing Sebagai sumber Uranium (U) dan Thorium (Th)*. Buletin Eksplorium. Vol.34, No. 2, Hal.137-149.
- Widana, K.S., 2013. *Karakterisasi Granitoid Pulau Bangka Berdasarkan Analisis Geokimia Spektroskopi*. Tesis Magister. Departemen Teknik Geologi - Institut Teknologi Bandung. Tidak dipublikasikan.

Diterima	: 4 Maret 2016
Direvisi	: 22 April 2016
Disetujui	: 16 Mei 2016

GROUND PENETRATING RADAR DATA ANALYSIS BY USING MODELLING WITH FINITE DIFFERENCE METHOD: CASE STUDY IN BELAWAN PORT**ANALISIS DATA GROUND PENETRATING RADAR MENGGUNAKAN PEMODELAN DENGAN METODE FINITE DIFFERENCE: STUDI KASUS DERMAGA BELAWAN**

Hans Elmaury Andreas Siregar
Centre for Geological Resources
Jalan Soekarno Hatta No.444 Bandung
hans.elmauri@gmail.com

ABSTRACT

Ground Penetrating Radar (GPR) is one of non destructive geophysics methods which is appropriate used to identify subsurface object with depth penetration less than 70 meter. High data resolution as well as relatively unprolonged and manageable data acquisition make this method becoming convenient supporting method to increase near surface data for other geophysics methods. The depth penetration of GPR varies with the frequency of antenna. Getting optimum depth penetration before field acquisition data some numerical simulation should be accomplished in order to perceive antenna frequency and processing technique that used, so the depth of target zone can be achieved. The Finite Difference (FD) is one of numerical analysis technique that mostly used to determine differential equation. By using FD method, the solution of electromagnetic waves equation can be obtained and the image of numerical simulation can be displayed. In line with this radar image from numerical simulation, the relationship of frequency and depth penetration on the media used is acquired. Media used in this simulation are sand, clay, sandy clay, clayey sand and concrete. Through numerical simulation from this research, we conclude that GPR method able to distinguish boundary layer among each medium. Processing technique is accomplished to comprehend suitable processing stages for high resolution radar image that can be interpreted. Data acquisition and processing technique from simulation have been implemented in field experiment and very helpful to apprehend GPR characteristic signal in subsurface map in Belawan port.

Keywords: Ground Penetrating Radar, numerical simulation, finite difference, processing technique.

SARI

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah salah satu metode geofisika non-destruktif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bawah permukaan dengan penetrasi kurang dari 70 meter. Data resolusi tinggi dengan akuisisi yang tidak lama dan relatif sederhana membuat metode ini sangat sesuai sebagai pendukung untuk metode geofisika yang lain dalam pendataan bawah permukaan yang tidak dalam. Penetrasi kedalaman GPR akan sangat tergantung dari frekuensi antena yang digunakan. Untuk mendapatkan penetrasi kedalaman yang optimum, maka perlu dilakukan simulasi numerik sebelum pendataan lapangan dilakukan untuk mendapatkan frekuensi antena dan teknik pemrosesan yang tepat sesuai dengan target kedalaman yang ingin dicapai. Metode Finite Difference adalah salah satu teknik analisis dalam menentukan persamaan diferensial. Dengan metode FD ini akan didapat persamaan gelombang elektromagnetik dan gambaran dari citra simulasi numeriknya. Sejalan dengan citra radar dari simulasi numerik, akan didapat hubungan antara frekuensi dan penetrasi kedalaman dari media/material bawah permukaan. Media yang dipakai dalam simulasi ini berupa pasir, lempung, lempung pasiran, pasir lempungan

dan beton. Dari hasil simulasi numerik dapat disimpulkan bahwa metode GPR ini dapat membedakan batas lapisan setiap media. Teknik pemrosesan dilakukan untuk mendukung interpretasi citra radar beresolusi tinggi. Akuisisi data dan teknik pemrosesan dari simulasi ini telah diimplementasikan dalam percobaan di lapangan dan sangat membantu dalam menganalisis karakteristik signal GPR dalam peta bawah permukaan di Pelabuhan Belawan.

Kata kunci: Ground Penetrating Radar, simulasi numerik, finite difference, teknik pemrosesan

INTRODUCTION

In understanding the working principle of electromagnetic waves, the first thing that need to know is the four Maxwell's Equations. These Maxwell's equations describe the physical relationships in electromagnetic waves. The four equations are:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= q \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

where:

\vec{E} = Electric field (V/m)
 \vec{H} = Magnetic field (A/m)
 \vec{B} = Magnetic induction (Vs/m²)
 \vec{D} = Electric displacement (As/m²)
 \vec{J} = Current density (A/m²)
 q = Charge density (As/m³)

The equations above generally show the relationship between the magnetic field and the electric field. Moreover, the equation shows that the current flow microstructure in a space can generate a magnetic field with a linear comparison.

Constitutive equation is an equation which links Maxwell's equations and inhomogeneous earth medium. Constitutive equation quantifies material physical parameters and explains the influence of the electromagnetic field's presence on the electron/atom or even ion. The equations are:

$$\begin{aligned}\vec{J} &= \sigma \vec{E} \\ \vec{D} &= \epsilon \vec{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \\ \vec{B} &= \mu \vec{H} = \mu_r \mu_0 \vec{H}\end{aligned}$$

(Baker and Harry, 2007)

where:

σ = Conductivity (Siemens/m)
 ϵ = Medium permittivity (Farad/m);

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

ϵ_r = Relative medium permittivity
 ϵ_0 = Permittivity in a vacuum chamber = 8.85x10⁻¹² (Farad/m)

μ = Magnetic permeability of the medium (Henry/m);

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

μ_r = Relative magnetic permeability of the medium

μ_0 = Magnetic permeability of the vacuum chamber = 4 π x10⁻⁷ (Henry/m)

The recovering of radar image is a forward modelling. In this study, the data input is the electromagnetic impedance or reflection coefficient (RC) series of the medium itself which then forward modelled into raw radar image.

The numerical simulation involves representing a simulated system by a mathematical model. Type of model used normally depends on parameter such as the required accuracy, the total simulation time, the type of results required, the frequency bandwidth, and so on (Buchanan, 1996). The finite difference method provides a direct solution to Maxwell's equation with little complexity. In formulation, Maxwell's continuous equations are converted into a discrete form (Buchanan, 1996). The software then solves this discrete form and creates raw radar image. Buchanan (1996) stated that the advantage over other methods that it takes into account all fields (electric and magnetic) in a 2D model and is well suited to parallel processing. Comparatively study between processing result and

synthetic model leads us into understanding of processing stages.

The purpose of modeling in this study are (modification from Annan, 2003):

1. To understand physical behavior and quantifying response
2. Providing performance requirements for design of GPR tool
3. Predicting response and sensitivity to parameter changes
4. Optimizing survey design
5. Understanding how to process data to extract information
6. Enabling interpretation at a variety of levels of complexity

Hopefully this study can be a preliminary study before conducting GPR data acquisition in the field.

METHODS

Method that used in high frequency electromagnetic wave simulations is the one that take into account changes in the physical and dielectric structure. This study simply used finite difference as numerical simulation method. The software used to generate the model in this simulation is reflexW.

The first step is model generation. Figure 1 is the synthetic model based on various dielectric value of the medium. The model itself has the limitation in space due to computer limitation in storing the data. The boundary condition is applied from the software to attenuate or absorb the wave energy must be used.

The next step is simulation by using finite difference. It involves stepping the model through discrete interval. It models the propagation through the element using a discrete form of Maxwell's curl equation (Buchanan, 1996). With the option raster activated first the chosen model will be rastered based on the current parameter

and the finite difference computation will be started (Sandmeier, 1998). The computation is started immediately using the current raster values stored in the different rasterfiles (Sandmeier, 1998). The program automatically controls if the size of the rasterfiles matches the currently set values of the raster increment and the model size (Sandmeier, 1998). The result of this calculation is wave field depending on x, z, and t (time) and the parameters are stored in the ASCII-file (Sandmeier, 1998). Figure 2 shows the result of finite difference simulation.

The last step is data processing technique. Figure 5 shows the processing stages conducting in this study. The synthetic model is used as the validation in data processing.

SYNTHETIC MODEL

Based on preliminary study in the location of field experiment, there are some shallow well data. From the well data, this area is underlain by five media (Table 1). In line with that information, synthetic model was generated with ReflexW software. The data from each medium are developed from various laboratory test in some textbooks. The wave type that used is electromagnetic wave. The model is generated with reflexW software. Each layer in this model is created with certain dimension and parameters (Figure 1). Those parameters are simulated with FD method. The finite difference modeling in time domain allows the simulation of electromagnetic by means of FD method for different sources (plane wave, point source as well as exploding reflector source (Sandmeier, 1998). Exploding reflector source is used in this simulation with frequency 150 MHz. As a result, a raw data in .dat file can be displayed (Figure 2). The raw data is processed with certain processing technique to obtain robust image. The image, as the forward modeling result, will be compared with the synthetic model in order to meet appropriate processing technique.

Table 1. Dielectric properties of common geological material used in this simulation (modification from McCann et al., 1988).

Medium	Permittivity (F/m)	Conductivity (S/m)
Concrete	10	0,034
Sand	30	0,005
Clay	3	0,0001
Clayey sand	5	0,0005
Sandy clay	20	0,001

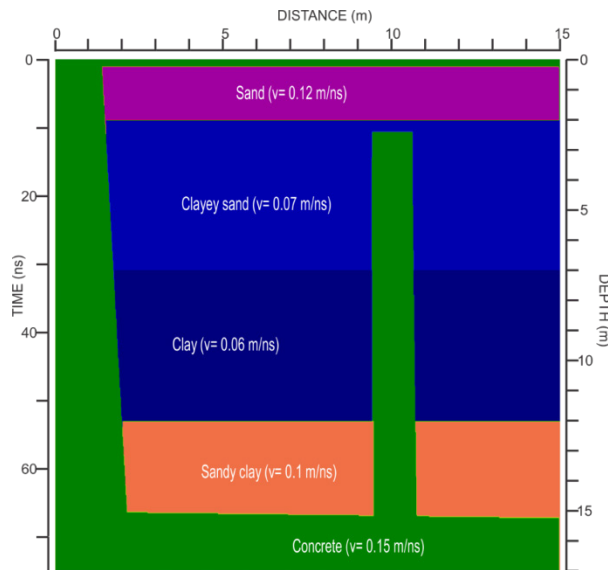


Figure 1. The synthetic model from various medium generated from different electromagnetic velocity (Siregar, 2012).

When simulation accomplished, raw data were obtained in *dat* format (Figure 2). Then the data processing was conducted using the software. In the data processing, frequency filtering of the data was attained in order to obtain the appropriate data to

the target frequency and noise removal was accomplished to clean up the data from the signals that were not expected and signal amplification was conducted to clarify the signal to be easily read and interpreted.

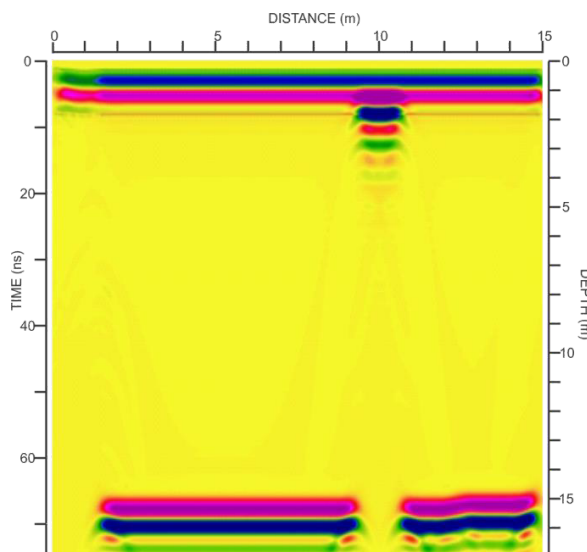


Figure 2. Raw data from the FD simulation result in *dat* format (Siregar, 2012).

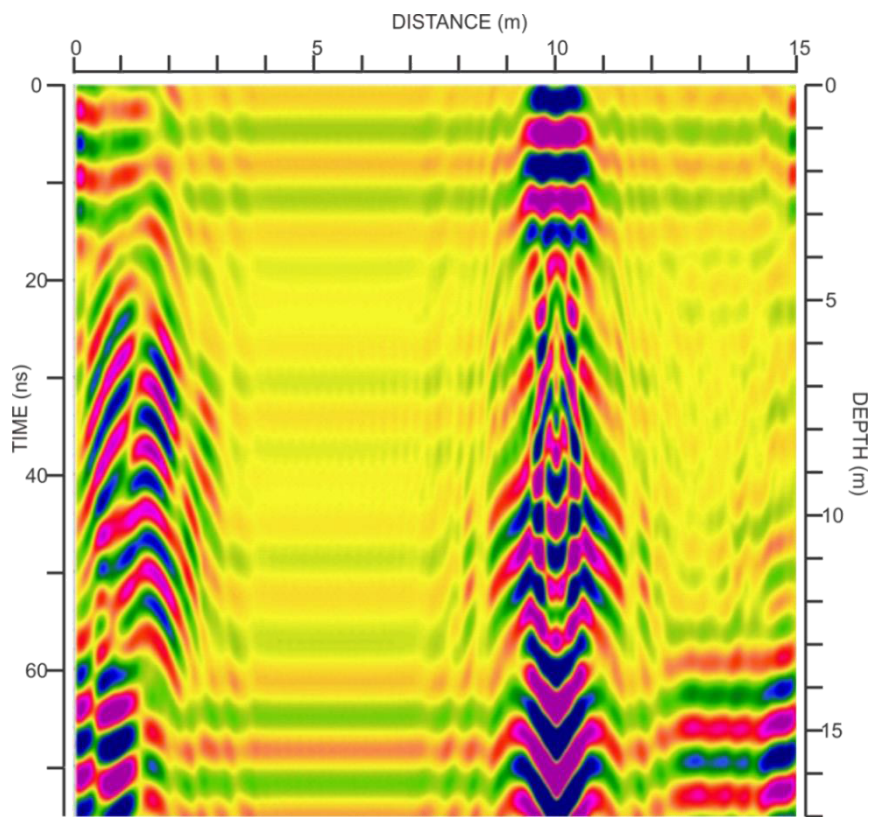


Figure 3. The radar image after processed by using several stages (Siregar, 2012).

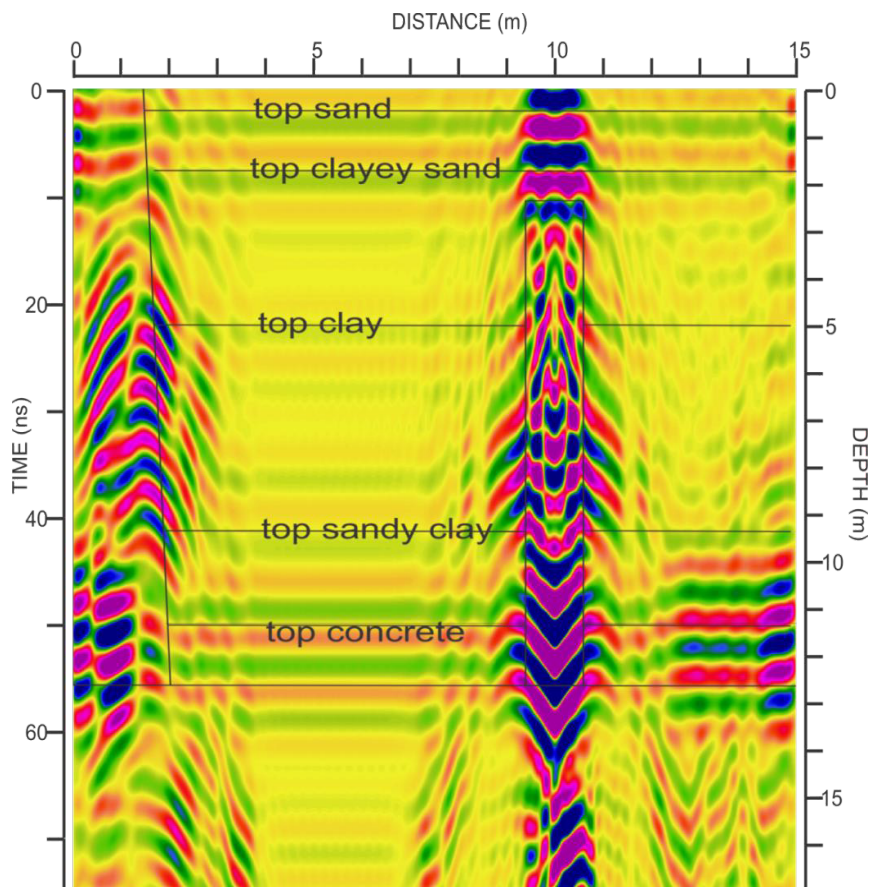


Figure 4. The radar image after interpreted by using synthetic model.

Here are the stages of the data processing that applied on the raw data

image (Figure 5) to produce high-resolution radar image:

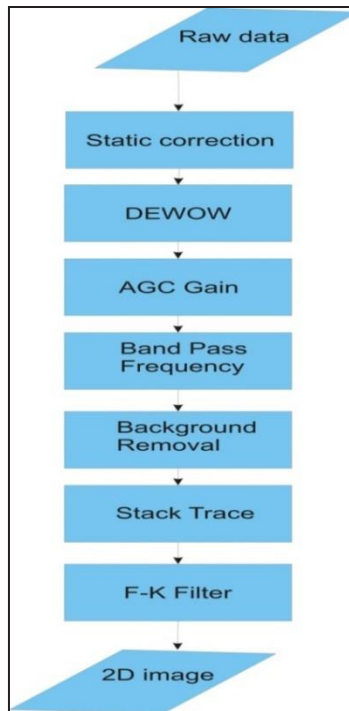


Figure 5. Flowchart of GPR data processing stages (Siregar, 2012).

FIELD EXPERIMENT

The synthetic model has been implemented to a field experiment. Electromagnetic wave data were acquired

using GPR Zond 12C frequency 150 MHz in Belawan Port, North Sumatra, KM 208, DMS coordinates 104°9'18" E and 3°59'19" N (Figure 6) on February 2012.

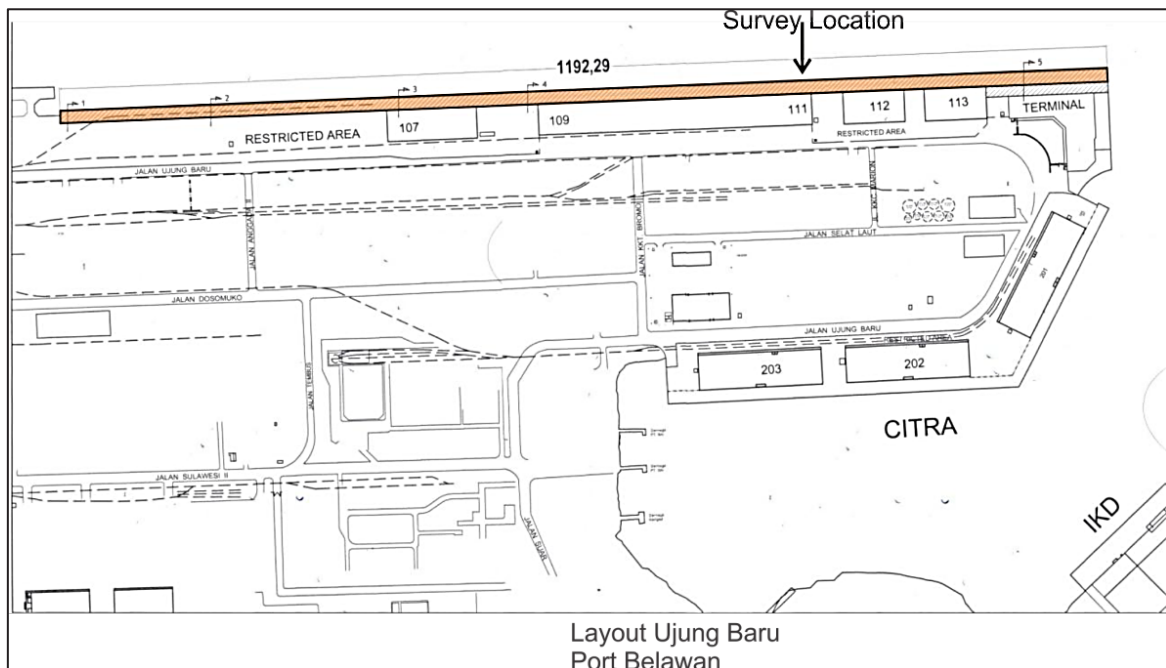


Figure 6. GPR survey location in Belawan (Siregar, 2012).

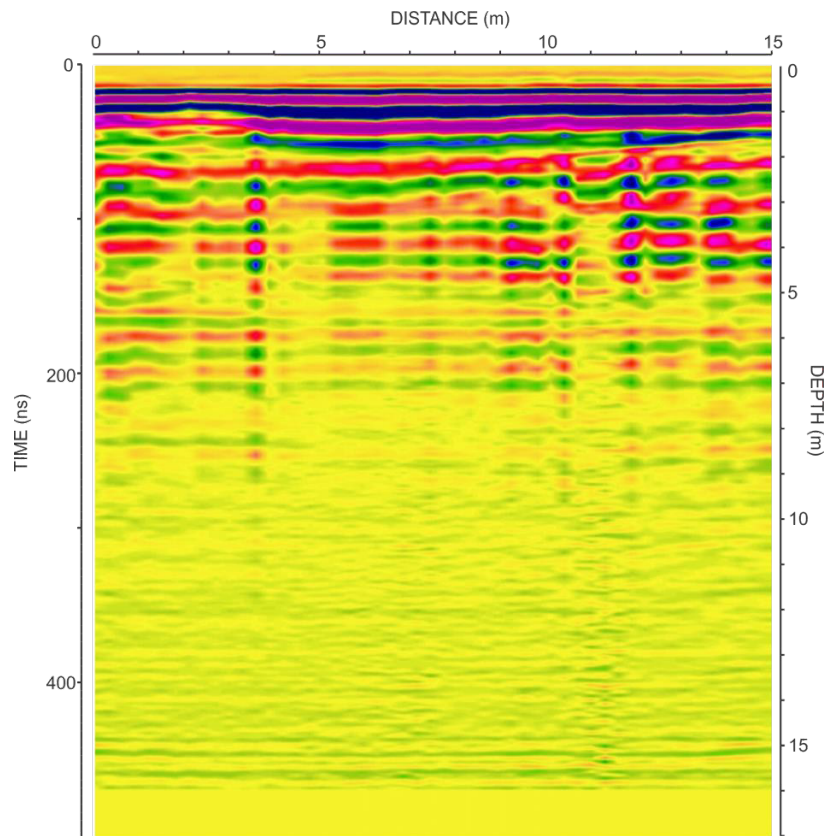


Figure 7. Raw data from the field experiment.

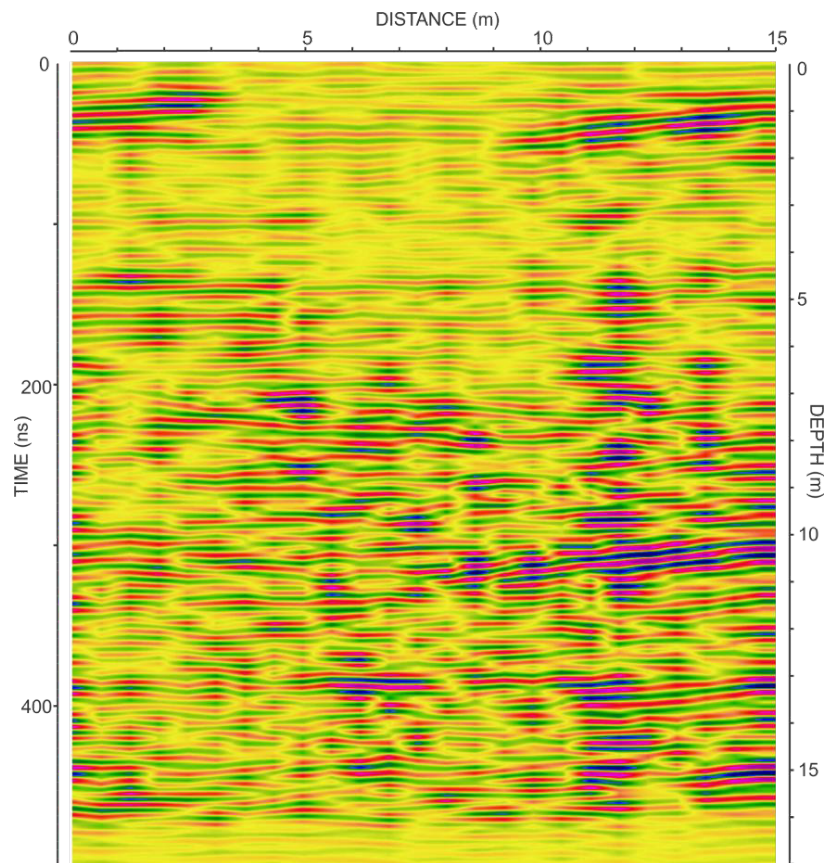


Figure 8. Processing result from the field experiment.

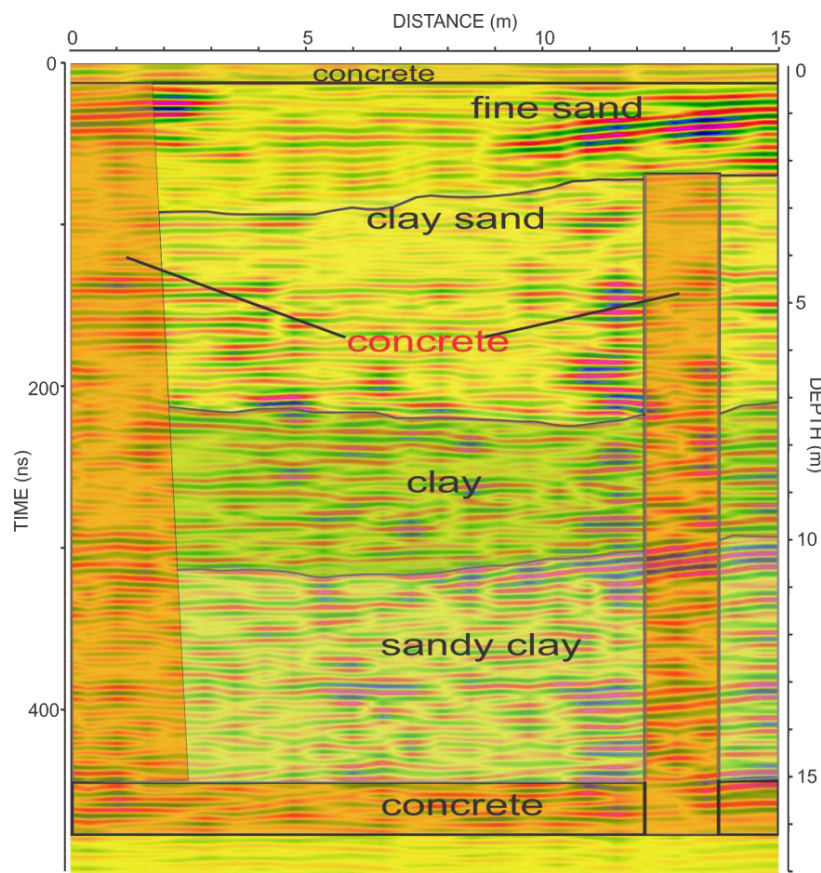


Figure 9. Interpretation result from the field experiment.

DISCUSSION

According to numerical simulation result, there are some advantages and disadvantages. The disadvantages are the numerical simulation requires relatively long simulations times and that structures may not be easily modelled (Buchanan, 1996). Naturally inhomogeneous media can only be represented by effective dielectric properties and placing small particles into a host medium never be statistically distributed (Müller, 2005). The advantages are it provides wide bandwidth responses and can be used in parallel processing (Buchanan, 1996).

Electromagnetic radiation is combination of two fields which are electric field and magnetic field. Electric field properties of physical objects are controlled by electrical conductivity and permittivity meanwhile magnetic field properties are determined by permeability magnetic. Velocity and depth penetration are controlled by

electrical permittivity whereas attenuation is determined by conductivity (Sulaiman and Taufik, 2010). Permeability magnetic shows response of atom and molecule toward magnetic field (Joll, 2001). Table 1 depicts that the dielectrical properties of the material are hardly contrast. The permittivity range from 3 to 30 F/m. Thus, the velocity range from 0,06 to 0,15 m/ns.

This study is limited to model without random noise characteristic. Moreover, the parameter in this study is generated with condition isotropy in horizontal and anisotropy in vertical (Figure 1). Generally, that is difficult to distinguish layer without any properties disparity. That can be explained by these equations:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}}$$

$$R = \frac{(V_1 - V_2)}{(V_1 + V_2)}$$

Where:

V_1, V_2 = velocity in first layer and second layer

ϵ_1, ϵ_2 = dielectric constant in first layer and second layer

R is reflectance coefficient. The higher R the stronger the amplitude of signal. If the amplitude stronger than surrounded layer, we can delineate that become one boundary layer. We can find this

phenomenon in raw data (Figure 2). There are some strong reflection and diffraction in the image. Those characteristics exist as a result of contrast impedance between adjacent object or layer.

For better understanding about the propagation of electromagnetic signal in the subsurface, the simple model of ray tracing is given below.

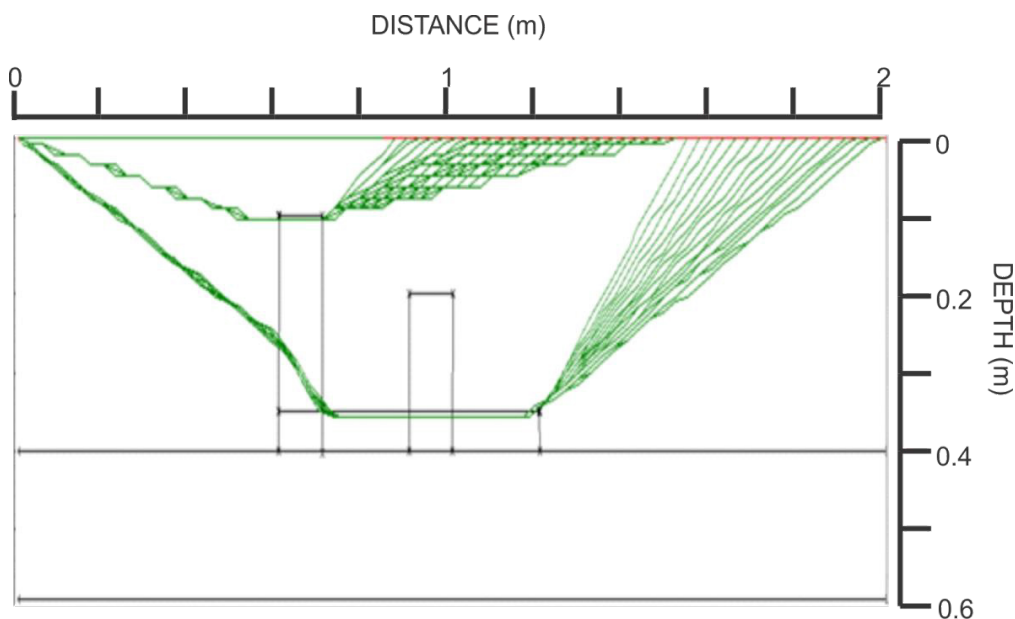


Figure 10. Various raypaths from the surface down to the individual reflecting horizons.

Fermat's principle states that light travel between two points along the path that requires the least time, as compared to other nearby paths. This principle is used as basic principle of wave propagation. The source and receiver position in Figure 10 are constant. From the Figure 10, we find that the raypath propagates through top of the concrete. It could explain about why only the response of concrete occur in the raw data.

In line with synthetic model in Figure 1, there should be a concrete, sand, clay, sandy clay and clayey sand responses in the image, however the response in the raw data is limited to concrete. Signal processing method should be applied to acquire information about these objects.

The steps of processing stages are shown

in Figure 5. With these steps, the signal is filtered and cut. After finishing processing stages, the interpretation data can be shown in Figure 4. The character of concrete responses are so clearly imaged. Other responses especially boundary layer can be identified but the response is not as clear as concrete.

From the shallow well data, the information about soil layer is gained and from the synthetic model, information about GPR signal characteristic, acquisition method, and processing technique are obtained. The raw data (Figure 7) from the field experiment processed by using processing stages in figure 5. From the processing result (Figure 8), some signal from raw data are cut and filtered in order to get better image.

Interpretation in GPR (Figure 9) relies on five things, which are amplitude uniformity, wave velocity, signal continuity, wave characteristic, radar color index. Beside those, well to radar tie is very helpful to interpret radar data.

CONCLUSIONS

The result of this numerical simulation study of the electromagnetic data lead to the following conclusions:

Numerical simulation guides us to understand relationship between antenna frequency and depth penetration. Frequency: 150 MHz, sampling frequency: 900 Mhz, sample: 2500, time window: 2776.7 ns, maximum depth: 17 m, vertical resolution: 0.25 meter.

The characteristic of signal depends on the object beneath the surface. There are diffraction, reflection and cube wave in this study. The higher the reflectance coefficient the stronger the amplitude wave.

The processing stages in this study are: static correction, dewow, AGC gain, bandpass frequency, background removal, stack trace, and FK-filter.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank all those who helped toward the entire process of drafting and publishing this study.

REFERENCES

Annan, A.P., 2003, Ground Penetrating Radar Principles, Procedures & Applications. Sensors & Software Inc., Canada, 278 h.

Annan, A.P. and Davis, 1989, Ground Penetrating Radar. Workshop Notes: Sensor & Software Inc., Canada.

Baker, G. S. and Harry, 2007, Stratigraphic Analysis Using GPR: Geological Society of America.

Buchanan, W.J., 1996. Analysis of Electromagnetic Wave Propagation using the 3D Finite-Difference Time-Domain Method with Parallel Processing. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy at Napier University, h. 1-12.

Joll, H.M., 2001, Ground penetrating radar: theory and application, Elsevier Publication.

McCann, et al., 1988, The Geology of Central Europe: The Geological Society.

Müller, K., 2005, Modelling of GPR Wave Propagation and Scattering in Inhomogeneous Media. Thesis for the degree of Master at University of Oslo, h. 13-16.

Reynold, J. M., 1997, An Introduction to Applied and Evironmental Geophysics : John Wiley & Sons, Chicester, England.

Sandmeier, K. J., 1998, ReflexW Version 5 Reference manual.

Siregar, H.E.A., 2012. Identifikasi dan Analisis Pemodelan Fisik Pada Struktur Caisson Dermaga dan Struktur Beton Rumah Tinggal Dengan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR). Skripsi Sarjana di Program Studi Teknik Geofisika Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, h. 31-33.

Sulaiman, A., dan Taufik, M., 2010, Pemodelan georadar 2D dengan metode beda hingga domain waktu. Jurnal Sains dan Teknologi Kebumian Indonesia,1, h. 31-41.

Diterima	: 4 Februari 2016
Direvisi	: 23 Maret 2016
Disetujui	: 22 April 2016

**ANALISIS DAMPAK PEMBANGUNAN SMELTER NIKEL
TERHADAP PEREKONOMIAN DAERAH DI PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

**ANALYSIS THE IMPACT OF THE NICKEL SMELTER DEVELOPMENT TOWARD THE
REGIONAL ECONOMY IN THE SOUTHEAST SULAWESI PROVINCE**

Harta Haryadi

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman No. 623 Bandung 40211
Telp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373
hartah@tekmira.esdm.go.id

SARI

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pembangunan *smelter* nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara terhadap perekonomian, dengan menghitung Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menggunakan tiga pendekatan: pendekatan produksi $Y = [(Q1 \times P1) + (Q2 \times P2) + (Qn \times Pn) \dots]$, pendekatan pengeluaran $Y = C + I + G + (X-M)$, dan pendekatan pendapatan $Y = R + W + I + P$.

Metodologi yang digunakan terdiri dari survei langsung terhadap beberapa perusahaan tambang nikel yang dijadikan studi kasus dan ditambah dengan studi pustaka untuk memperkaya hasil penelitian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rencana pembangunan *smelter* nikel ini memberikan dampak yang positif bagi perekonomian Provinsi Sulawesi Tenggara yang meningkat sebesar Rp. 85,22 triliun, serta memberikan kesempatan lapangan kerja baru sebanyak 8.100 orang yang secara tidak langsung akan meningkatkan kemampuan daya beli masyarakat.

Kata kunci: Dampak perekonomian, produk domestik regional bruto, *smelter* nikel, sulawesi tenggara.

ABSTRACT

This paper aims to understand the impact smelter development for nickel mineral in the Southeast Sulawesi Province to the economy by calculating Gross Regional Domestic Product (GRDP) using 3 approaches, i.e. production $Y = [(Q1 \times P1) + (Q2 \times P2) + (Qn \times Pn) \dots]$, spending $Y = C + I + G + (X-M)$, and yield $Y = R + W + I + P$.

Methodology consists of direct survey to several companies of Nickel Mine as cases study as well as literature study to enrich the result.

The results show that the planning to develop nickel smelter will give positive impact for the economy of Southeast Sulawesi Province as much as Rp. 85.22 trillion, and will give the new employment for 8,100 people, which indirectly will increase the purchasing power of communities.

Keywords: *Impact of economy, gross regional domestic product, nickel smelter, Southeast Sulawesi.*

PENDAHULUAN

Wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara seluas 148.140 km², terdiri dari 74,25% (110.000 km²) perairan laut dan 25,75% (38.140 km²) daratan. Provinsi Sulawesi Tenggara terdiri dari 10 wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Buton, Kabupaten Muna, Kabupaten Konawe, Kabupaten Kolaka, Kabupaten Konawe Selatan, Kabupaten Wakatobi, Kabupaten Bombana, Kabupaten Kolaka Utara, Kabupaten Buton Utara, Kabupaten Konawe Utara dan dua wilayah kota, yaitu Kota Kendari dan Kota Bau-Bau (Anonim, 2013).

Dalam Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI), Sulawesi Tenggara termasuk ke dalam Koridor Sulawesi dengan tema "Pusat Produksi dan Pengolahan Hasil Pertanian, Perkebunan, dan Perikanan serta Pertambangan Nikel Nasional". Tema pembangunan koridor ekonomi tersebut sejalan dengan potensi kekayaan yang ada di Provinsi Sulawesi Tenggara. Oleh karena itu, Provinsi Sulawesi Tenggara ideal untuk dijadikan Kawasan Ekonomi Khusus yang sedang digalakkan oleh Pemerintah (Anonim, 2011).

Keberadaan sumber daya nikel di wilayah Provinsi Sulawesi Tenggara sangat besar (Tabel 1 dan Gambar 1), namun belum memberikan manfaat yang signifikan bagi perekonomian wilayah tersebut. Hal ini disebabkan masih kurangnya kegiatan eksplorasi yang dilakukan, sehingga sumber daya tersebut belum bisa menjadi cadangan yang siap tambang, disamping itu nikel yang sudah diproduksi

selanjutnya diekspor dalam bentuk mentah (Anonim, 2015a).

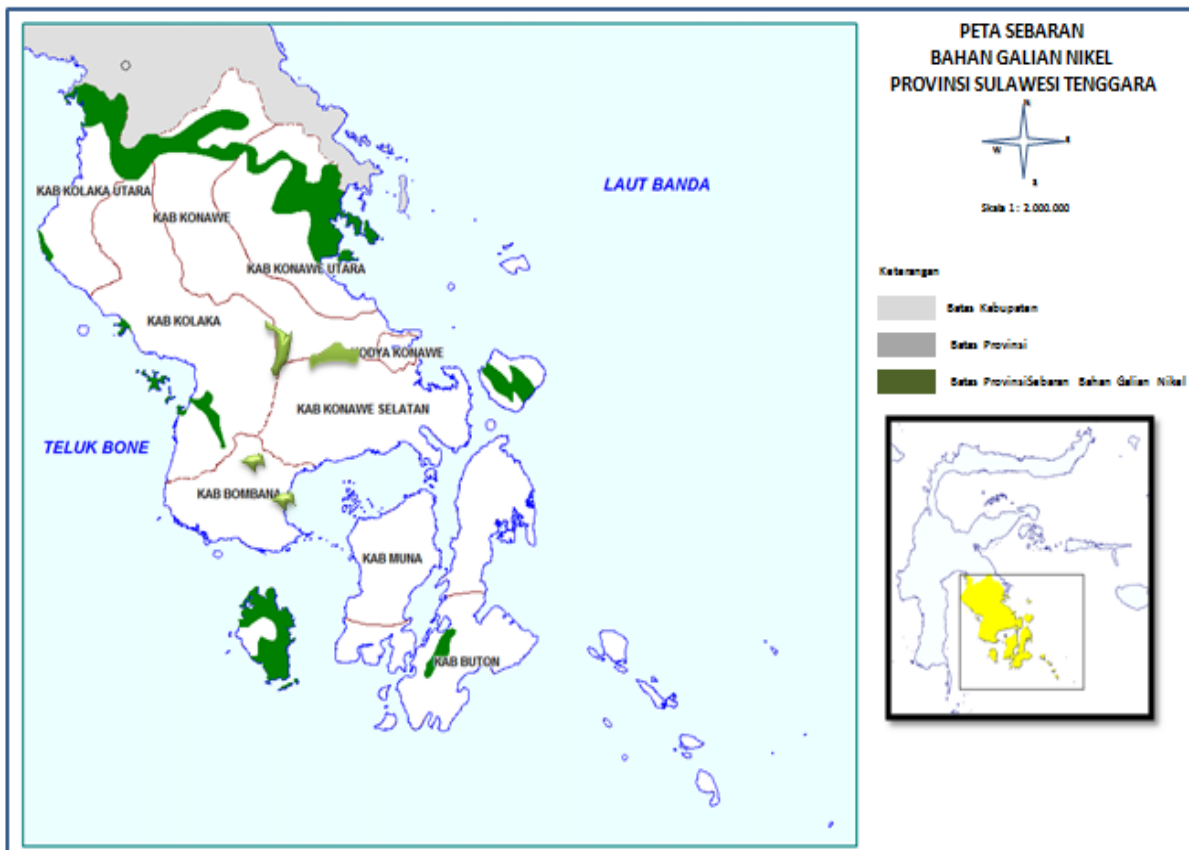
Sumber daya yang besar di Provinsi Sulawesi Tenggara sangat penting untuk dijadikan modal dasar bagi pembangunan wilayah serta untuk memberdayakan potensi tersebut menjadi kekuatan ekonomi yang riil, juga sebagai daya dukung bagi keberlangsungan pemasokan bahan baku bagi pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di wilayah tersebut. Berdasarkan data dari Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Tenggara wilayah ini memiliki sumber daya mineral nikel dalam jumlah yang cukup besar dan terbesar di Indonesia, dengan total sumber daya mencapai 97.401.593.026 ton (Anonim, 2015b). Sumber daya nikel yang besar ini diharapkan dapat mendukung rencana pembangunan 20 pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara hingga lebih dari 100 tahun, dengan tingkat kebutuhan rata-rata bahan baku untuk seluruh pabrik pengolahan dan pemurnian nikel sebesar 12.494.722 ton setiap tahunnya.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung terealisasinya pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara, sebagai amanat dari UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, dan Peraturan Menteri (Permen) ESDM No.8 Tahun 2015 Tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral di Dalam Negeri. Permen ini mewajibkan komoditi nikel diolah sebelum diekspor dan melarang perusahaan tambang menjual produknya dalam bentuk bijih dan konsentrat mulai tahun 2017.

Tabel 1. Potensi Sumber Daya Nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara.

No	Kabupaten	Sumber Daya(Ton)	Total ProduksiPeriode 2008 - 2013	Sumber DayaTersisa (Ton)	Kadar Hasil Uji Laboratorium Sampel Bahan Galian
1	Konawe Utara	46.007.440.652	16.249.021	45.991.191.631	Ni 1,91-2,4%; Fe 14,07-17,47%
2	Bombana	28.200.014.800	5.335.801	28.194.678.999	
No	Kabupaten	Sumber Daya(Ton)	Total ProduksiPeriode 2008 - 2013	Sumber DayaTersisa (Ton)	Kadar Hasil Uji Laboratorium Sampel Bahan Galian
3	Kolaka	12.819.244.028	16.071.935	12.803.172.092	Ni 2,17%; Fe 34%
4	Konawe Selatan	4.348.838.160	8.007.223	4.340.830.937	Ni 2,11-2,13%; Fe 21,96-23,03%
5	Kolaka Utara	2.763.796.196	6.654.418	2.757.141.777	Ni 1,76-1,9%; Fe 18,1-20,18%
6	Buton dan Kota Bau-Bau	1.676.332.000	2.035.966	1.674.296.034	Ni 2-2,07%; Fe 20,10-34%
7	Konawe	1.585.927.189	40.000	1.585.887.189	Ni 1,8-2%; Fe 18,03-16,25%
8	Lintas Kabupaten		2.568.344		
Jumlah		97.401.593.025	56.962.709	97.344.630.316	

Sumber: Dinas Pertambangan ESDM Provinsi Sulawesi Tenggara, 2015



Sumber : Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Tenggara, 2015

Gambar 1. Peta Sebaran Nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara.

Rencana Pabrik Pengolahan Pemurnian Nikel

Tambang nikel merupakan andalan utama Provinsi Sulawesi Tenggara, yang mampu meningkatkan perekonomian daerah. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Minerba tahun 2015 ada 20 perusahaan besar (Tabel 2).

Terbitnya UU Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, yang mewajibkan proses pengolahan dan pemurnian bagi berbagai jenis mineral termasuk mengolah nikel menjadi *Nickel Pig Iron (NPI)*, *Nickel Matte (Sponge Nickel)* dan *Ferro Nickel* sebelum diekspor, di satu sisi akan meningkatkan perekonomian dan Pendapatan Asli Daerah, serta membuka peluang bagi peningkatan penyerapan tenaga kerja. Di sisi lain, diperlukan upaya pengadaan energi dalam rangka mengoperasikan pabrik pengolahan/pemurniannya dan perbaikan/pengadaan infrastruktur. Suatu tantangan yang harus dihadapi oleh Provinsi Sulawesi Tenggara agar nikel dapat dijadikan andalan. Keseluruhan rencana pembangunan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara dapat dilihat pada Tabel 2.

Di bidang energi, tidak terlalu banyak potensi yang dapat dikembangkan, sebab Provinsi Sulawesi Tenggara tidak memiliki sumber energi yang besar sebagaimana

halnya batubara di Provinsi Kalimantan Selatan, Provinsi Kalimantan Timur dan Provinsi Sumatera Selatan (dari sektor pengadaan listrik dan gas hanya 0,03% dari struktur PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara tahun 2014). Pengolahan nikel menjadi *Nickel Pig Iron (NPI)*, *Nickel Matte (Sponge Nickel)*, *Ferro Nickel* memerlukan energi yang sangat besar, sehingga Provinsi Sulawesi Tenggara perlu membangun pembangkit listrik untuk mendukung pabrik pengolahan dan pemurnian nikel.

Peningkatan Nilai Tambah Mineral

Menurut Kementerian Perindustrian, 2015. Industri adalah kegiatan ekonomi yang mengolah bahan mentah, bahan baku, barang setengah jadi, dan/atau barang jadi menjadi barang dengan nilai yang lebih tinggi untuk penggunaannya, termasuk kegiatan rancang bangun dan perekayasaan industri. Peningkatan Nilai Tambah (PNT) di sub-sektor pertambangan diartikan secara luas berupa proses pengolahan hasil tambang dari bahan mentah (*raw material*) yang bertujuan untuk menghasilkan produk jadi, sehingga nilai ekonomi dan daya gunanya meningkat lebih tinggi. PNT ini akan memberikan dampak positif terhadap perekonomian dan sosial baik bagi daerah operasional tambang, maupun daerah non-operasional dalam satu wilayah provinsi, dan dampak positif terhadap pusat.

Tabel 2. Rencana Investasi Pembangunan Pabrik Pengolahan dan Pemurnian Nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara.

No	Nama Perusahaan	Cadangan	Input	Output	Jumlah Karyawan [Orang]	Target Penyelesaian Proyek	Investasi
		Ton & Kadar Ni	Kapasitas Ton/Tahun & Kadar Ni	Kapasitas Ton/Tahun Kadar Ni			
1	PT Wijaya Inti Nusantara	31.000.000 1,5%	2.000.000 1,6%	21.500 - 80.000 15%	1.000	Awal 2017	Rp. 32,78 Triliun
2	PT Bintang Smelter Indonesia	39.000.000 1,5%	1.000.000 1,5%	50.000--300.000 9-11%	1.450	Des- 2014 (Tahap 1)	Rp.1,43 Triliun
3	PT Cahaya Modern Metal Industri	40.000.000 1,8%	850.000 1,8%	90.000 10-12%	200	Agust-14	Rp. 500,00 Milyar
4	PT Elit kharisma utama	70.000.000 1,1%	850.000 >1,8%	90.000 10-12%	-	Pertengahan 2014	Rp. 500,00 Milyar
5	PT Kembar Emas Sultra	18.200.000 1,6-2,2%	200.000 1,4 - 1,8%	35.000 7-14%	500	Maret 2014]	Rp. 213,75 Milyar
6	PT Cinta Jaya	18.400.000 1,2-1,85%	150.000 >1,65 & Fe 23-25	16.200 4-6%	270	Apr-14	Rp. 213,75 Milyar
7	PT Karyatama Konawe Utara	80.000.000 1,6%	550.000 -	50.000 10%	500	Kuartal I 2015	Rp. 641,25 Milyar
8	PT BHINNEKA SEKARSA ADIDAYA	28.000.000 >1,7%	1.000.000 >1,7%	300.000 8-12%	250	Jul-15	Rp. 2,15 Triliun
9	PT Bososi Pratama	106.000.000 1,1-1,8%	1,1% - 1,8%	52.000 6-10%	200	2015	Rp. 826,50 Milyar
10	PT Cipta Djaya Surya	40.000.000 1,6-2,0%	-	-	-	-	-
11	PT Dharma Rosadi Internasional	30.000.000 1,6%	200.000 - 350.000 1,2-1,8%	20.000 - 40.000 20-40%	400	2017	Rp. 5,72 Triliun
12	PT Pulau Rusa tamita	24.000.000 1,8%	400.000 1,8%	10.000 - 20.000 7-11%	1200	2016	Rp. 715,00 Milyar
13	PT Tristaco Mineral Makmur	12.000.000 1,8%	240.000- 240.000 1,8%	20.160 10,1%	70	akhir 2015	Rp. 71,50 Milyar
14	PT Macika Mineral Industri	17.000.000 1,83%	503.426 1,86%	53.680 10-12%	-	2017	Rp. 597,07 Milyar
15	PT Putra Mekongga Sejahtera	15.000.000 >1,5%	500.000 1,5-1,6%	75.000 5%	350	Apr-16	Rp. 213,75 Milyar
16	PT Jilin Metal	84.000.000 1,10%	2.000.000 1,6%	21.500- 80.000 15% FeNi	1.000	awal 2017	Rp. 32,78 Triliun
17	PT Sambas Mineral Mining	60.000.000 1,8%	168.000 1,8%	132.000 10-12%	150	Sep-14	Rp.142,50 Milyar
18	PT Stargate Pacific Resources	104.000.000 1,2%	400.000 1,8%	200.000 12% FeNi	400	2016	Rp. 4,29 Triliun
19	PTIfishdeco	40.000.000 1,9%	1.000.000 1,9% & Fe 23-24%	100.000 9-11%	1.000	Des- 2015	Rp. 1,43 Triliun
20	PT Surya Saga Utama	17.000.000 1,5% & Fe 22%	60.480 1,5% & Fe 22%	10.800 >6%	164	akhir 2015	Rp. 85,00 Milyar
TOTAL			12.494.722		8.104		Rp. 85,22 Triliun

Sumber: Direktorat Jenderal Minerba, 2015 & Dinas Pertambangan ESDM Provinsi Sulawesi Tenggara, 2015

Adapun bahan baku industri (Kementerian Perindustrian, 2013), adalah bahan mentah yang diolah atau tidak diolah yang dapat dimanfaatkan sebagai sarana produksi dalam industri, misalnya *nickel pig iron* (NPI) hasil pengolahan dari bijih nikel kemudian dilakukan proses pengolahan selanjutnya menjadi *ferro nickel*. Dan barang setengah jadi adalah bahan mentah atau bahan baku yang telah mengalami satu atau beberapa tahap proses industri yang dapat diproses lebih lanjut menjadi barang jadi, misalnya *ferro nickel* untuk *nickel mate* (*sponge nickel*). Dari bahan baku industri ini apabila dilakukan pengolahan maka akan menjadi barang jadi. (Kementerian Perdagangan, 2013), barang jadi adalah barang hasil industri yang sudah siap pakai untuk konsumsi akhir ataupun siap pakai sebagai alat produksi, misalnya barang jadi logam nikel yang digunakan untuk industri konstruksi, industri mesin, industri peralatan listrik, industri mesin pengolahan makanan, industri pelat dan tabung, industri kimia, industri generator dimana seluruh industri-industri tersebut berbahan baku logam nikel.

Rancang bangun industri adalah kegiatan industri yang berhubungan dengan perencanaan pendirian industri/pabrik secara keseluruhan atau bagian-bagiannya, sedangkan perkerjasama industri adalah kegiatan industri yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan mesin/peralatan pabrik dan peralatan industri lainnya

Sehubungan dengan hal tersebut, maka pada setiap kegiatan perusahaan pertambangan mineral dan batubara diwajibkan meningkatkan nilai tambah, sesuai amanah dalam UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara dalam Pasal 102 dinyatakan bahwa "Pemegang IUP dan IUPK wajib meningkatkan nilai tambah sumber daya mineral dan/atau batubara dalam pelaksanaan penambangan, pengolahan dan pemurnian, serta pemanfaatan mineral dan batubara". Proses pengolahan

tersebut di atas ditetapkan berdasarkan Pasal 103 (1) yang menyatakan bahwa "Pemegang IUP dan IUPK Operasi Produksi wajib melakukan pengolahan dan pemurnian hasil penambangan di dalam negeri".

Pemberlakuan ketentuan mengenai PNT akan memberikan dampak negatif bagi wilayah tersebut antara lain:

- Kehilangan pendapatan sementara dari sektor pertambangan karena berhentinya kegiatan tambang, hingga pabrik pengolahan selesai dan produksi dimulai [*comisioning*].
- Terjadi pemutusan hubungan kerja (PHK) sementara hingga pabrik pengolahan selesai, sehingga terdapat angka pengangguran terhadap TK langsung dan tidak langsung untuk sementara.
- Laju pertumbuhan ekonomi bawah terhambat disebabkan CSR/Comdev dari yang selama ini diperoleh dari perusahaan tambang untuk sementara berhenti.
- Untuk sementara terjadi keresahan sosial dari masyarakat yang selama ini hidup tergantung dari pekerjaan tambang.
- Terjadi ketidak sepehaman diantara birokrat, terutama di wilayah yang kaya akan sumber daya tambang, sebagaimana Provinsi Sulawesi Tenggara.
- Terganggunya pasar tambang dunia yang selama ini tergantung kepada bahan mentah Indonesia, yang sementara berimbas kepada pasar domestik.

Di sisi lain, dengan dibangunnya pabrik pengolahan dan pemurnian akan menimbulkan dampak positif, antara lain:

- Dapat meningkatkan perekonomian daerah berupa peningkatan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB);
- Bertambahnya kesempatan untuk mendapatkan pekerjaan (meningkatkan tenaga kerja);

- Adanya peningkatan pendapatan setiap rumah tangga yang dapat meningkatkan kemampuan daya beli masyarakat.

Pengertian Produk Domestik Bruto (PDB) menurut (Sugiarto dan Herlambang. H, 2006), adalah jumlah nilai tambah barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh seluruh unit usaha ekonomi dalam suatu negara selama 1 tahun. Termasuk hasil produksi dan jasa yang dihasilkan perusahaan/orang asing yang berada di negara yang bersangkutan. Sedangkan pengertian Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah jumlah nilai tambah barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh seluruh unit usaha ekonomi dalam wilayah/kabupaten/kota/provinsi selama 1 tahun. Termasuk hasil produksi dan jasa yang dihasilkan perusahaan/orang asing yang berada di wilayah/kabupaten/kota/provinsi yang bersangkutan.

Menurut Tulus dan Simon(2004), PDRB, baik atas dasar harga berlaku maupun atas dasar harga konstan merupakan indikator penting untuk mengetahui kondisi ekonomi di suatu provinsi dalam suatu periode tertentu.

- a) PDRB atas dasar harga berlaku menggambarkan nilai tambah barang dan jasa yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada setiap tahun untuk mengetahui pergeseran dan struktur ekonomi wilayah/kabupaten/kota/provinsi/negara bersangkutan.
- b) PDRB atas dasar harga konstan menggambarkan nilai tambah barang dan jasa yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada satu tahun tertentu sebagai tahun dasar untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi dari tahun ke tahun wilayah/kabupaten/kota/provinsi/negara bersangkutan.

Berdasarkan harga konstan tahun 2010, pada tahun 2012 PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara tercatat sebesar Rp. 59,78 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.345.465 jiwa maka pendapatan perkapita sebesar Rp.

25.489.785. Di tahun 2013 pendapatan regional meningkat menjadi Rp. 64,27 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.369.713 jiwa dan pendapatan perkapita sebesar Rp. 26.817.472.

Pada tahun 2014 PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara meningkat lagi menjadi 68,30 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.448.081 jiwa dengan pendapatan per kapita sebesar Rp. 27.898.883 (lihat Tabel 3). Selama 3 tahun terakhir (2012-2014), perkembangan ekonomi Sulawesi Tenggara menunjukkan peningkatan PDRB rata-rata sebesar 6,26% setiap tahunnya lebih tinggi dari pertumbuhan nasional yang mencapai 6,02%. Sub-sektor pertambangan memberikan kontribusi paling tinggi kedua setelah sektor pertanian dan kehutanan (Anonim, 2015d).

PDRB berdasarkan harga berlaku menurut lapangan usaha pada tahun 2012 Provinsi Sulawesi Tenggara tercatat sebesar Rp. 64,69 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.345.465 jiwa maka pendapatan perkapita sebesar Rp. 27.582.584. Di tahun 2013 pendapatan regional meningkat menjadi Rp. 71,04 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.369.713 jiwa dan pendapatan perkapita sebesar Rp. 29.641.133. Pada tahun 2014 PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara meningkat lagi menjadi 78,62 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.448.081 jiwa dengan pendapatan per kapita sebesar Rp. 32.115.109 (Tabel 4).

Berdasarkan Pusat Data dan Teknologi Informasi KESDM tahun 2015, Selama tiga tahun terakhir (2012-2014), perkembangan ekonomi Sulawesi Tenggara berdasarkan harga berlaku menunjukkan pertumbuhan ekonomi (PDRB) rata-rata sebesar 10,24% setiap tahunnya. Dari Tabel 5 dapat diketahui sektor pertambangan memberikan kontribusi paling tinggi kedua (20,14%) setelah sektor pertanian dan kehutanan (25,64%), sementara sektor penyumbang terkecil bagi pendapatan regional Provinsi

Sulawesi Tenggara selama periode tersebut adalah sektor pengadaan listrik dan gas (0,03%).

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan dua metode, yaitu:

- Pengumpulan data melalui studi pustaka yang terkait dengan penelitian dan kunjungan ke beberapa perusahaan yang merencanakan membangun pabrik pengolahan nikel yang menjadi studi kasus.
- Pengolahan data dilakukan melalui metode berikut:
 - a. Analisis deskriptif terhadap data yang berhubungan dengan dampak pembangunan *smelter* nikel terhadap perekonomian daerah untuk merancang kebijakan PNT nikel.
 - b. Perhitungan PDRB berdasarkan pada rencana pembangunan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel dengan tiga pendekatan, yaitu:

Metode Nilai Produksi

Untuk menghitung pendapatan regional dengan menjumlahkan seluruh nilai tambah barang dan jasa yang diproduksi/total output seluruh sektor ekonomi masyarakat dalam satu tahun. Untuk menghitung PDRB dengan pendekatan ini dapat dirumuskan :

$$Y = [(Q_1 \times P_1) + (Q_2 \times P_2) + \dots + (Q_n \times P_n) \dots]$$

Y = Pendapatan Nasional
 Q = kuantitas, P = harga
 n = tahun

Jumlah output masing-masing sektor merupakan jumlah output seluruh perekonomian. Ada kemungkinan output yang dihasilkan suatu sektor perekonomian berasal dari output sektor lain/bisa juga merupakan input bagi sektor ekonomi yang lain lagi. Untuk menghindari terjadi penghitungan ganda (*double*

counting), maka dalam perhitungan PDB dengan metode nilai produksi, yang dijumlahkan adalah nilai tambah (*value added*) masing-masing sektor (Pujoalwanto, 2014).

Metode Pengeluaran atau Konsumsi

Untuk menghitung PDRB dengan metoda pengeluaran atau konsumsi yaitu dengan menjumlahkan seluruh pengeluaran yang dilakukan seluruh rumah tangga ekonomi/pelaku ekonomi dalam suatu provinsi selama satu tahun. Untuk menghitung PDRB dengan pendekatan ini dapat dirumuskan :

$$Y = C + I + G + (X - M)$$

Y = pendapatan nasional
 C = konsumsi
 I = investasi
 G = pengeluaran pemerintah
 X = ekspor
 M = impor

- Pengeluaran RT Konsumen/ Masyarakat (*Household Consumption*) / C = Pengeluaran rumah tangga dipakai untuk konsumsi akhir, baik barang dan jasa yang habis dalam tempo setahun atau kurang (*durable goods*) maupun barang yang dapat dipakai lebih dari setahun/barang tahan lama (*non-durable goods*) Untuk mencukupi kebutuhan rumah tangga seperti membeli beras/lauk pauk/bayar listrik dll.
- Pengeluaran RT Perusahaan (*Investment Expenditure*) / I = Pembentukan Modal Tetap Domestik Bruto (PMTDB) merupakan pengeluaran sektor dunia usaha [perubahan stok, baik berupa barang jadi maupun barang setengah jadi]. Menurut (Ratya A, Michael R., 2009), ada dua macam pembentukan modal domestik:
 - a. Investasi untuk pembelian modal tetap (investasi gedung/mesin).
 - b. Investasi untuk pembelian persediaan (investasi bahan baku/bahan setengah jadi dan bahan jadi).

Dalam metoda penghitungan berdasarkan Pengeluaran = Pengeluaran Perusahaan & Pengeluaran Pemerintah disatukan dalam komponen pembentukan modal tetap domestik bruto [PMTDB] dan komponen perubahan stok.

- o Pengeluaran RT Pemerintah (*Government Consumption*)/G = yang digunakan untuk membeli barang dan jasa akhir (*government expenditure*). Sedangkan pengeluaran-pengeluaran untuk tunjangan-tunjangan sosial tidak masuk dalam perhitungan konsumsi pemerintah. Untuk melayani kepentingan masyarakat, ada 2 macam:
 - a. Pengeluaran untuk konsumsi (perlengkapan dan peralatan kantor/bayar gaji pegawai).
 - b. Pengeluaran untuk investasi (bangung jembatan/irigasi/pembangkit listrik/jalan, dll).
- o Ekspor Neto (*Net Export*)/selisih nilai ekspor dengan impor. Ekspor neto (X - M) yang positif menunjukkan ekspor > impor. Perhitungan ekspor neto dilakukan bila perekonomian melakukan transaksi dengan perekonomian negara lain. Yang harus diperhitungkan dalam pendapatan nasional ini adalah Ekspor Netonya (Amir M.S, 2004).

Metode Pendapatan

Untuk menghitung PDRB dengan metoda pendapatan yaitu dengan menjumlahkan dari seluruh pendapatan (*sewa/rent, gaji/wage, bunga/interest, keuntungan/profit*) yang diterima pemilik faktor produksi [pemilik tanah/gedung, tenaga kerja, pemilik modal/uang/aset, pengusaha] dalam suatu provinsi selama satu tahun.

- Y = r + w + i + p**
- Y = pendapatan nasional
 - r = pendapatan rent
 - w = pendapatan wage
 - i = pendapatan interest
 - p = pendapatan profit

Dari ketiga metoda perhitungan pendapatan regional tersebut, maka dengan metoda pengeluaran yaitu: **Y = C + I + G + (X - M)** dapat dihitung dampak adanya pembangunan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel terhadap peningkatan PDRB daerah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dampak Terhadap Perekonomian/ Produk Regional Bruto

Sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2, seluruh rencana pembangunan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel yang berjumlah 20 perusahaan akan menanamkan modalnya dalam bentuk investasi sebesar USD.5.904.900.000 atau dengan kurs rupiah saat ini (Oktober 2014 sebesar Rp. 14.250 per 1 USD sama dengan Rp. 84.144.825.000.000,-) dan Rp. 1.085.000.000.000. Sehingga total seluruh investasi dari seluruh pabrik pengolahan dan pemurnian di Provinsi Sulawesi Tenggara berjumlah Rp. 85,229.825.000.000 (Rp. 85,22 triliun), yang akan selesai pembangunan seluruh mulai tahun 2016 sampai tahun 2018. Sehingga rata-rata investasi selama tiga tahun adalah Rp. 28.409.941.666.000 per tahun (Rp. 28,41 triliun).

Keberadaan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara akan memberikan dampak positif yang besar bagi pengembangan wilayah tersebut dengan meningkatnya pendapatan regionalnya setelah berjalannya pabrik pengolahan dan pemurnian mulai tahun 2016 sebesar jumlah investasi yang ditanamkan oleh pabrik tersebut, yaitu sebesar $Y = C + I + G + (X - M)$. Ini berarti pada tahun 2016,

pendapatan nasional yang terdiri dari konsumsi ditambah pengeluaran pemerintah berupa pendapatan ekspor dikurangi pengeluaran impor akan mendapat tambahan investasi sebesar Rp. 28,41 triliun (Tabel 2).

Sebagaimana diketahui, PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara berdasarkan harga konstan tahun 2010, pada tahun 2012 tercatat sebesar Rp. 59,78 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.345.465 jiwa maka pendapatan perkapita sebesar Rp. 25.489.785. Di tahun 2013 PDRB meningkat menjadi Rp. 64,27 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.369.713 jiwa dan pendapatan perkapita sebesar Rp. 26.817.472. Pada tahun 2014 PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara meningkat lagi menjadi 68,30 triliun dengan jumlah penduduk sebanyak 2.448.081 jiwa dengan pendapatan per kapita sebesar Rp. 27.898.883 (Tabel 3)

Dengan adanya investasi dari pabrik pengolahan dan pemurnian selama tahun 2016–2018 rata-rata sebesar Rp. 28.409.941.666.000 per tahun (Rp. 28,41 triliun). Maka PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara pada tahun 2016 meningkat menjadi Rp. 68.298.724,30 juta + investasi pabrik (Rp. 28.409.941,66 juta) = Rp. 96.708.665,96 juta (Rp. 96,71 triliun). Tahun 2017 meningkat menjadi Rp. 96,71 triliun + Rp. 28,41 triliun = Rp. 125,12 triliun. Dan pada tahun 2018 setelah seluruh pabrik selesai meningkat menjadi Rp. 125,12 triliun + Rp. 28,41 triliun = Rp. 153,53 triliun (Tabel 3 dan 4, dan asumsi

Produk Domestik Bruto dihitung sampai 2017).

Dampak Terhadap Tenaga Kerja (SDM)

Kesempatan kerja berkaitan dengan peningkatan PDRB, sehingga tingginya jumlah pekerja akan menyebabkan naiknya barang dan jasa yang dihasilkan dan menyebabkan PDRB wilayah tersebut juga meningkat. Selanjutnya peningkatan ini dapat digunakan untuk investasi yang berpotensi akan memperbesar kesempatan kerja. Dampak lain yang berkaitan dengan PDRB dan kesempatan kerja adalah tingkat produktivitas tenaga kerja wilayah tersebut. PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara akan naik jika terjadi peningkatan angkatan kerja juga peningkatan produktivitas tenaga kerja di wilayah tersebut.

Hal sebaliknya, pengangguran kerja secara tidak langsung berkaitan juga dengan PDRB. Tingginya jumlah pengangguran di wilayah bersangkutan akan menyebabkan turunnya PDRB. Makin banyak pengangguran makin sedikit barang dan jasa yang dihasilkan, makin kecil PDRB wilayah tersebut, selanjutnya pendapatan untuk investasi juga menurun, dan akan memperkecil peluang kesempatan kerja.

Tabel 3. PDRB Atas Dasar Harga Konstan (Juta Rupiah) Menurut Lapangan Usaha Tahun Dasar 2010, 2012-2014.

No	Lapangan Usaha	2012	2013	2014	LP
1	Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	14.625.406,59	15.508.217,36	16.921.607,78	9,11
2	Pertambangan dan Penggalian	13.833.548,85	14.866.536,76	14.148.927,78	-4,83
3	Industri Pengolahan	3.669.856,82	3.824.676,91	4.120.653,04	7,74
4	Pengadaan Listrik, Gas	27.241,53	30.958,17	34.240,72	10,60
5	Pengadaan Air	119.052,07	130.165,84	139.232,37	6,97
6	Konstruksi	6.849.365,64	7.441.991,91	8.380.774,94	12,61
7	Perdagangan Besar dan Eceran, dan Reparasi Mobil dan Motor	6.888.012,93	7.515.269,82	8.139.100,97	8,30
8	Transportasi dan Pergudangan	2.635.367,94	2.805.301,60	2.949.138,28	5,13
9	Penyediaan Akomodasi	330.957,84	358.542,18	392.293,18	9,41

No	Lapangan Usaha	2012	2013	2014	LP
	dan Makan Minum				
10	Informasi dan Komunikasi	1.314.981,83	1.496.449,83	1.540.202,45	2,92
11	Jasa Keuangan	1.184.844,54	1.352.627,27	1.480.342,34	9,44
12	Real Estate	1.044.642,05	1.103.427,99	1.176.666,07	6,64
13	Jasa Perusahaan	113.427,93	128.187,50	140.671,54	9,74
14	Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib	3.247.714,52	3.388.607,67	3.828.331,51	12,98
15	Jasa Pendidikan	2.533.177,05	2.824.985,14	3.219.902,00	13,98
16	Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	544.734,91	605.007,88	678.375,94	12,13
17	Jasa Lainnya	823.066,02	892.829,95	1.008.264,41	12,93
Produk domestik regional bruto Sulawesi Tenggara		59.785.399,06	64.273.783,78	68.298.724,30	6,26
Penduduk pertengahan tahun		2.345.465	2.396.713	2.448.081	
PDRB perkapita ADHB tahun dasar 2010 (rupiah)		25.489.785	6.817.472	7.898.883	

Sumber: BPS, Sulawesi Tenggara Dalam Angka, 2015.

Tabel 4. PDRB Atas Dasar Harga Berlaku (Juta Rupiah) Menurut Lapangan Usaha Tahun Dasar 2010, 2012-2014.

No	Lapangan Usaha	2012	2013	2014	Struktur PDRB
1	Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	16.305.585,70	18.095.983,92	20.158.060,05	25,64
2	Pertambangan dan Penggalian	14.865.627,39	15.582.057,71	15.832.070,66	20,14
3	Industri Pengolahan	3.874.685,94	4.181.864,04	4.692.250,20	5,97
4	Pengadaan Listrik, Gas	24.456,08	25.355,00	27.431,10	0,03
5	Pengadaan Air	122.135,52	138.821,87	163.052,85	0,21
6	Konstruksi	7.401.424,51	8.329.077,35	9.690.353,19	12,33
7	Perdagangan Besar dan Eceran, dan Reparasi Mobil dan Motor	7.262.524,25	8.076.246,80	9.225.945,13	11,73
8	Transportasi dan Pergudangan	2.813.820,12	3.160.530,12	3.433.715,89	4,37
9	Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum	364.024,29	404.096,43	454.959,19	0,58
10	Informasi dan Komunikasi	1.286.578,22	1.451.309,48	1.478.510,56	1,88
11	Jasa Keuangan	1.343.962,42	1.601.078,14	1.829.106,63	2,33
12	Real Estate	1.116.048,23	1.194.101,81	1.293.200,08	1,64
13	Jasa Perusahaan	119.711,83	136.981,16	154.808,82	0,20
14	Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan	3.669.747,34	4.035.943,63	4.748.428,74	6,04

No	Lapangan Usaha	2012	2013	2014	Struktur PDRB
	Jaminan Sosial Wajib				
15	Jasa Pendidikan	2.681.164,20	3.020.320,62	3.585.496,40	4,56
16	Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	589.730,01	662.907,14	760.782,18	0,97
17	Jasa Lainnya	852.758,51	944.613,63	1.092.217,49	1,39
Produk domestik regional bruto		64.693.984,56	71.041.288,85	78.620.389,17	100,00
Penduduk pertengahan tahun		2.345.465	2.396.713	2.448.081	
PDRB perkapita ADHB tahun dasar 2010 (rupiah)		27.582.584	29.641.133	32.115.109	

Sumber: BPS, Sulawesi Tenggara Dalam Angka, 2015.

Sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 5. Selama kurun waktu 2009-2014 angkatan kerja di Provinsi Sulawesi Tenggara meningkat rata-rata setiap tahunnya sebesar 1,71%. Pada tahun 2009 tenaga kerja di Provinsi Sulawesi Tenggara berjumlah 998.195 jiwa dan meningkat menjadi 1.085.509 jiwa pada tahun 2014.

Adanya pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara (Tabel 2), memberikan dampak positif dengan adanya penyerapan tenaga kerja mulai tahun 2015 sebanyak 8.104 jiwa dan akan terus meningkat setiap tahunnya sesuai dengan dimulainya operasi pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di

wilayah tersebut. Sehingga jumlah tenaga kerja di Provinsi Sulawesi Tenggara pada tahun 2015 berjumlah 1.085.509 jiwa, bertambah 8.104 jiwa menjadi 1.093.613 jiwa, dan akan terus meningkat sesuai dengan rencana penyelesaian pabrik pengolahan.

Dampak Terhadap Pendapatan Rumah Tangga (RTK)

Menghitung PDRB dengan memakai metoda pendapatan, yaitu dengan menjumlahkan seluruh pendapatan sewa (*rent*) yang diterima oleh faktor produksi pemilik gedung/tanah ditambah dengan penjumlahan seluruh gaji (*wage*) atau seluruh pendapatan rumah tangga yang diterima oleh faktor produksi tenaga kerja

ditambah penjumlahan bunga (*interest*) yang diterima faktor produksi pemilik modal/aset ditambah penjumlahan seluruh keuntungan (*profit*) yang diterima pemilik faktor produksi pengusaha dalam suatu negara selama 1 tahun, yang dirumuskan :

$$Y = R + W + I + P$$

Y = pendapatan nasional

R = pendapatan *rent*,

W = pendapatan *wage*,

I = pendapatan *interest*,

P = pendapatan *profit*.

Oleh sebab itu rencana pembangunan pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara yang berjumlah 20 perusahaan, berdasarkan analisis sebelumnya akan meningkatkan PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara (Y).

Berdasarkan analisis sebelumnya, adanya investasi dari pabrik pengolahan dan pemurnian selama tahun 2016–2018 rata-rata sebesar Rp. 28.409.941.666.000 per tahun (Rp. 28,41 triliun). Maka PDRB Provinsi Sulawesi Tenggara pada tahun 2016 meningkat menjadi Rp. 68.298.724,30 juta + investasi pabrik (Rp. 28.409.941,66 juta) = Rp. 96.708.665,96 juta (Rp. 96,71 triliun). Tahun 2017 meningkat menjadi Rp. 96,71 triliun + Rp. 28,41 triliun = Rp. 125,12 triliun. Dan pada tahun 2018 setelah seluruh pabrik selesai meningkat menjadi Rp. 125,12 triliun + Rp. 28,41 triliun = Rp. 153,53 triliun.

Dengan meningkatnya PDRB (Y) dari tahun 2014 sebesar Rp. 68,30 triliun menjadi Rp. 96,71 triliun tahun 2016, dan meningkat kembali pada tahun 2017 menjadi Rp. 125,12 triliun, serta meingkat kembali pada tahun 2018 menjadi Rp. 153,53 triliun. Maka peningkatan PDRB di Provinsi Sulawesi Tenggara yang disebabkan oleh adanya pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di wilayah tersebut akan memberikan dampak yang positif dari sisi pendapatan rumah tangga yaitu meningkatkan pendapatan/gaji yang diterima rumah tangga atau pendapatan/gaji yang diterima faktor produksi tenaga kerja. (Tabel 6).

Ada beberapa aspek yang dapat meningkatkan pendapatan rumah tangga

atau pendapatan yang diperoleh oleh tenaga kerja akibat meningkatnya Produk Domestik Regional Bruto di Provinsi Sulawesi Tenggara, yang secara langsung adalah meningkatnya UMR (upah minimum regional) yang akan berubah setelah selesainya pabrik pengolahan dan pemurnian nikel di wilayah tersebut. Aspek kedua, yang juga dapat meningkatkan pendapatan rumah tangga/tenaga kerja adalah peningkatan upah karena adanya peningkatan keahlian yang diberikan tenaga kerja, yang biasanya sebagai tenaga kerja buruh yang bekerja pada sektor pertambangan penghasil bahan mentah, menjadi tenaga kerja yang berkeahlian (profesional) yang bekerja pada sektor pertambangan penghasil bahan olahan.

Tabel 5. Penduduk Usia 15 Tahun Keatas Menurut Kegiatan (2009 -2014).

KEGIATAN UTAMA	2009	2010	2011	2012*	2013**)	2014**)
Penduduk Usia Kerja (15 Tahun Ke atas)	1.418.144	1.455.372	1.482.880	1.548.392	1.582.401	1.623.264
1. Angkatan Kerja	998.195	1.045.899	1.058.999	1.043.390	1.042.947	1.085.509
a. Bekerja	950.876	997.678	1.026.548	1.000.570	997.231	1.037.419
b. Pengangguran	47.319	48.221	32.451	42.820	45.716	48.090
2. Bukan Angkatan Kerja	419.949	409.473	423.881	505.002	539.454	537.755
3. Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja(%)	70,39	71,86	71,42	67,39	65,91	66,87
4. Tingkat Pengangguran (%)	4,74	4,61	3,06	4,10	4,38	4,43
5. Pekerja Tidak Penuh	-	-	-	438.285	490.173	427.953
Setengah Penganggur	-	-	-	154.931	131.566	118.844
Paruh Waktu	-	-	-	283.354	358.607	309.109

Sumber: Sulawesi Tenggara dalam Angka, Tahun 2015.

Tabel 6. Produk Domestik Bruto Provinsi Sulawesi Tenggara Atas Dasar Harga Konstan Sebelum dan Sesudah Smelter Berjalan (juta rupiah)

PDB	2012	2013	2014	2016	2017	2018
Sebelum ada smelter	59.785.399,06	64.273.783,78	68.298.742,30			
Setelah ada smelter				96.708.665,96	125.118.607,62	153.528.548,00

Catatan : Smelter mulai berjalan 2006-2018, selama tahun 2016-2018 meningkat setiap tahunnya Rp. 28,41 triliun dari investasi smelter.

Peningkatan PDRB di Provinsi Sulawesi Tenggara dapat meningkatkan pendapatan rumah tangga atau pendapatan gaji yang diterima oleh tenaga kerja di wilayah tersebut dapat dirumuskan, sebagai berikut:

Dimana Y (meningkat) = R (meningkat) + W (meningkat) + I

(meningkat) + P (meningkat), dengan peningkatan secara fluktuatif dimana salah satu indikator bisa tidak meningkat dan indikator yang lain meningkat lebih besar. R = pendapatan rent/sewa dari pemilik tanah/bangunan, W =pendapatan wage/gaji dari rumah tangaga/tenaga kerja, I = pendapatan interest/bunga

dari pemilik modal/aset, $P =$ pendapatan profit/laba dari pengusaha/pemilik entrepreneur/kewirausahaan.

KESIMPULAN

Atas dasar perhitungan ekonomi di atas, yang menghasilkan PDRB bagi Provinsi Sulawesi Tenggara sebesar Rp. 85,22 triliun dan meningkatkan peluang penambahan tenaga kerja sebanyak 8.100 orang yang secara tidak langsung akan meningkatkan kemampuan daya beli masyarakat daerah tersebut, maka pengembangan industri pabrik pengolahan nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara agar segera direalisasikan dan memerlukan upaya dan kerja keras baik dari pemerintah pusat maupun pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara dan pemerintah kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi untuk mendukung rencana tersebut sehingga seluruhnya bisa berjalan dan beroperasi sesuai rencana yaitu pada tahun 2018.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Data Dan Teknologi Informasi Kementerian ESDM yang memberi kepercayaan kepada penulis selaku kontributor laporan, juga kepada Kepala Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Tenggara beserta stafnya, kepada Direktur PT Wijaya Inti Nusantara (PT Jilin Metal), Direktur PT Cahaya Modern Metal Industri (CMMI), Direktur PT Bintang Semelter Indonesia (PT Ifishdeco) yang telah memberikan data dan informasi mengenai industri nikel yang sangat bermanfaat dalam mendukung kajian ini. Semoga kajian ini memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan terhadap industri dan pertambangan nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara, khususnya industri pertambangan nikel di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Amir, M.S, 2004. *Seluk beluk dan teknik perdagangan luar negeri*, Jakarta. 389 halaman.
- Anonim, 2015. Daftar Rencana Pembangunan Pabrik Pengolahan dan Pemurnian di Provinsi Sulawesi Tenggara. Kendari. Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Tenggara.
- Anonim, 2011. Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia, 2011-2025. Jakarta. Kantor Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian.
- Anonim, 2015. *Sulawesi Tenggara Dalam Angka, 2014*. Kendari. Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tenggara. 510 halaman.
- Bank Indonesia. (2013). Laporan Bank Indonesia ke Dewan Perwakilan Rakyat Indonesia Kuartal II Tahun 2013. Bank Indonesia.
- Anonim, 2015. *Statistik potensi dan neraca sumber daya mineral, dan batubara*. Jakarta. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. 97 halaman.
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, 2015. *Indonesia mineral, coal, geothermal and groundwater statistics, 2014*. Jakarta. 129 halaman.
- Dinas Pertambangan Propinsi Sulawesi Tenggara, 2015. *Pertambangan Propinsi Sulawesi Tenggara*. Kendari. 127 halaman.
- Haryadi, H. 2010. *Perkembangan dan Prospek Bahan Galian Non-Logam Indonesia*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol. 6 No.1 Januari 2010. Bandung, hal 45-62.
- Kementerian Perdagangan, 2013. *Perdagangan ekspor dan impor Indonesia*, Pusat Data dan Informasi Kementerian Perdagangan, Jakarta. 203 halaman.
- Kementerian Perindustrian, 2013. *Sambutan Menteri Perindustrian Pada Acara Forum Ekspor Industri Manufaktur*. Jakarta 2013.

- Kementerian Perindustrian, 2015. *Laporan Tahunan Kementerian Perindustrian, 2014*. Jakarta, 2015.
- Kementerian Keuangan. 2015. *Nota Keuangan Dan Rancangan Anggaran Pendapatan Belanja Negara Tahun Anggaran 2014*.
- Permana, D. 2010. *Pengkajian Peraturan Daerah (Perda) di Bidang Pertambangan Umum (Mineral dan Batubara)*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol. 6 No.3 Juli 2010. Bandung, hal 108-105.
- Permana, D. 2010. *Dampak Penerapan Undang-Undang No. 4 Tahun 2009 Tentang Pengembangan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol. 6 No.4 Oktober 2010. Bandung, hal 165-173.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, 2010. *Kamus Pertambangan*. Bandung. 862 Halaman.
- Pusat Sumber Daya Geologi, 2015. *Mineral Potential Map, Sulawesi, Flores, and West Timor*. Bandung 78 halaman.
- Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM, 2015. *Dampak Pembangunan Smelter Di Kawasan Ekonomi Khusus Provinsi Sulawesi Tenggara*. Jakarta 102 halaman.
- Pujoalwanto, B. 2014. *Perekonomian Indonesia, Tinjauan Historis, Teoritis dan Empiris*. Jakarta : Graha Ilmu.
- Provinsi Sulawesi Tenggara, 2013. *"Letak Geografis Propinsi Sulawesi Tenggara, 2012"*. www.sultraprov.go.id/Sulawesi_Tenggara_09/index.php. Diunduh 11 Januari 2015, jam 10.25.
- Ratya, A. dan Michael, R., 2009. *Bisnis dan perdagangan internasional*, Jakarta. 196 halaman.
- Sugiarto dan Herlambang T., 2006. *Ekonomi Makro Teori, Analisis dan Kebijakan Dalam Bisnis Manajemen dan Keuangan*. Gramedia, Jakarta. 296 halaman.
- Tulus, T., dan Simon, K., 2004. *Perdagangan internasional dan neraca pembayaran, teori dan temuan empiris*. LP3ES Jakarta. 217 halaman.

Diterima	: 1 Maret 2016
Direvisi	: 14 April 2016
Disetujui	: 9 Mei 2016

PENDEKATAN STATISTIK MULTIVARIAT TERHADAP DATA GEOKIMIA TANAH MULTI-UNSUR UNTUK MENGIDENTIFIKASI MINERALISASI Au-Cu EPITERMAL SULFIDA TINGGI DI DAERAH PROSPEK "X", KECAMATAN BATANG ASAI, KABUPATEN SAROLANGUN, PROVINSI JAMBI

MULTIVARIATE STATISTICAL APPROACH OF MULTI-ELEMENT SOIL GEOCHEMICAL DATA FOR IDENTIFYING THE HIGH SULFIDATION EPITHERMAL Au-Cu MINERALIZATION AT "X" PROSPECT, BATANG ASAI, SAROLANGUN DISTRICT, JAMBI PROVINCE

Fiandri I. Rinawan¹, Mega F. Rosana¹, Bronto Sutopo² dan Euis T. Yuningsih¹

¹Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Sumedang, 45363

²PT ANTAM Tbk Unit Geomin, Jl. Letjen TB Simatupang No. 1, Lingkar Selatan, Tanjung Barat, Jakarta, 12530
fiandriir_geounpad07@yahoo.com

ABSTRAK

Analisis statistik multivariat dilakukan terhadap data analisis kimia multi-unsur conto tanah menutupi endapan mineral yang menempati litologi batuan vulkanik Formasi Hulu Simpang berumur Oligosen Akhir - Awal Miosen, terletak di daerah Prospek "X", Kabupaten Sarolangun, Jambi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara Au dan Cu dengan unsur-unsur lain agar dapat teridentifikasi kemungkinan mineralisasi Au-Cu endapan sulfida tinggi dari data geokimia tanah. Penelitian ini difokuskan pada 12 unsur terdiri Au, Ag, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, Pb, Zn, Sn, dan Mo. Hasil analisis kimia 376 conto tanah kisi dari daerah penelitian dengan luas berkisar 5,3 km² disajikan dengan menggunakan statistik multivariat yang terdiri analisis korelasi dan analisis klaster hirarki. Kedua metode statistik multivariat tersebut mengindikasikan kompilasi hasil analisis yang bersifat representatif yaitu Klaster I Cu-As-Sb-Te dengan nilai korelasi berkisar 0.50-0.93 dan Klaster II Au-Bi dengan nilai korelasi 0.26; adapun yang bersifat tidak representatif yaitu Klaster III Pb-Mo-Zn dengan nilai korelasi berkisar 0.09-0.10 dan Klaster IV Sn-Hg-Ag dengan nilai korelasi berkisar 0.02-0.25. Klaster I dan II berkaitan dengan kumpulan asosiasi unsur indikasi mineralisasi Au-Cu epitermal sulfida tinggi. Daerah mineralisasi ini tersusun oleh ubahan argilik lanjut dari breksi vulkanik, tuf, andesit, dan dasit; serta dicirikan oleh kehadiran mineral bijih enargit, luzonit, kalkopirit, arsenopirit, dan kovelit.

Kata kunci: Analisis Multivariat, Multi-Unsur, Geokimia Tanah, Epitermal Sulfida Tinggi, Sarolangun

ABSTRACT

Multivariate statistical analyses had been applied to the data of soil samples multi-elements covering mineral sediment in the volcanic rocks of the Late Oligocene to Early Miocene Hulusimpang Formation in the X prospect area of Sarolangun Regency, Jambi Province. This paper aims to reveal the relationships between Au and Cu with other elements to identify the probability of high sulphide Au-Cu mineralization from soil geochemistry data. This study focuses on 12 elements i.e. Au, Ag, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, Pb, Zn, Sn and Mo. Result of chemical analysis from 376 soil samples of gridding pattern as large 5.3 km² is presented multivariate analysis consists of correlation and hierarchy cluster analyses. Both of this method indicate the compilation of representative samples for Cluster I Cu-As-Sb-Te with correlation coefficient of 0.50 – 0.93 and Cluster II Au-Bi with coefficient of 0.26. The non-representative samples are for Cluster III Pb-Mo-Zn with coefficient of 0.09 – 0.10 and Cluster IV Sn-Hg-Ag with coefficient of 0.02 – 0.25. Cluster I and II is correlated with the

element association of high sulphide Au-Cu mineralization. This mineralization zone is composed of advance argillic alteration from volcanic breccia, tuff, andesite and dacite, as well as characterized by the occurrence of ore minerals i.e. enargite, luzonite, chalcopyrite, arsenopyrite and covelite.

Keywords: *Multivariate Analyses, Multi-Elements, Soil Geochemistry, High Sulphide Epithermal, Sarolangun*

PENDAHULUAN

Daerah prospek "X" sebagai daerah penelitian, merupakan bagian dari IUP Eksplorasi PT ANTAM Tbk yang termasuk dalam kawasan Batang Asai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi. Daerah ini ditempati satuan batuan vulkanik yang merupakan bagian dari busur vulkanik Pegunungan Barisan berumur Tersier, yang dipengaruhi oleh sesar mendatar *Sumatra Fault System* (SFS) berarah baratlaut-tenggara, dikenal sebagai Zona Sesar Semangko (Darman and Sidi, 2000). Zona sesar ini diinterpretasikan berkaitan dengan zona mineralisasi hidrotermal di daerah penelitian. Di daerah prospek tersebut, telah dilakukan eksplorasi oleh Unit Geomin (2014), diantaranya dilakukan pemetaan geologi, alterasi dan mineralisasi, geofisika, serta pengambilan conto geokimia tanah horison B. Berdasarkan hasil eksplorasi, terdapat indikasi endapan tipe epitermal sulfida tinggi.

Eksplorasi geokimia tanah, berkaitan erat dengan analisis kimia multi unsur diantaranya sebagai *pathfinder*, diterapkan untuk dapat menunjukkan unsur-unsur yang menjadi target sebagai *blind deposits* (Joyce, 1984). Unsur *pathfinder* yaitu unsur-unsur kimia tertentu berfungsi sebagai unsur penciri yang memiliki hubungan genetik/kekerabatan dengan unsur target sehingga dapat diterapkan dalam menentukan zona anomali sebagai indikasi potensi komoditi pada tipe endapan tertentu (Niton, 2012). Untuk dapat mengetahui hubungan antara unsur target dan unsur penciri, digunakan pendekatan statistik multi-unsur (McQueen, 2002).

Berkaitan dengan hal tersebut, dalam penelitian ini, metode statistik multivariat digunakan untuk mengevaluasi data geokimia tanah multi unsur. Metode statistik ini secara kuantitatif dapat memfasilitasi pemahaman tentang variasi suatu unsur dan hubungan antara unsur target dengan unsur-unsur yang lain. Metode ini berguna dalam penentuan kemungkinan unsur-unsur yang saling memiliki kekerabatan, khususnya Au dan Cu sebagai unsur target yang mengindikasikan mineralisasi epitermal sulfida tinggi.

GEOLOGI DAN MINERALISASI

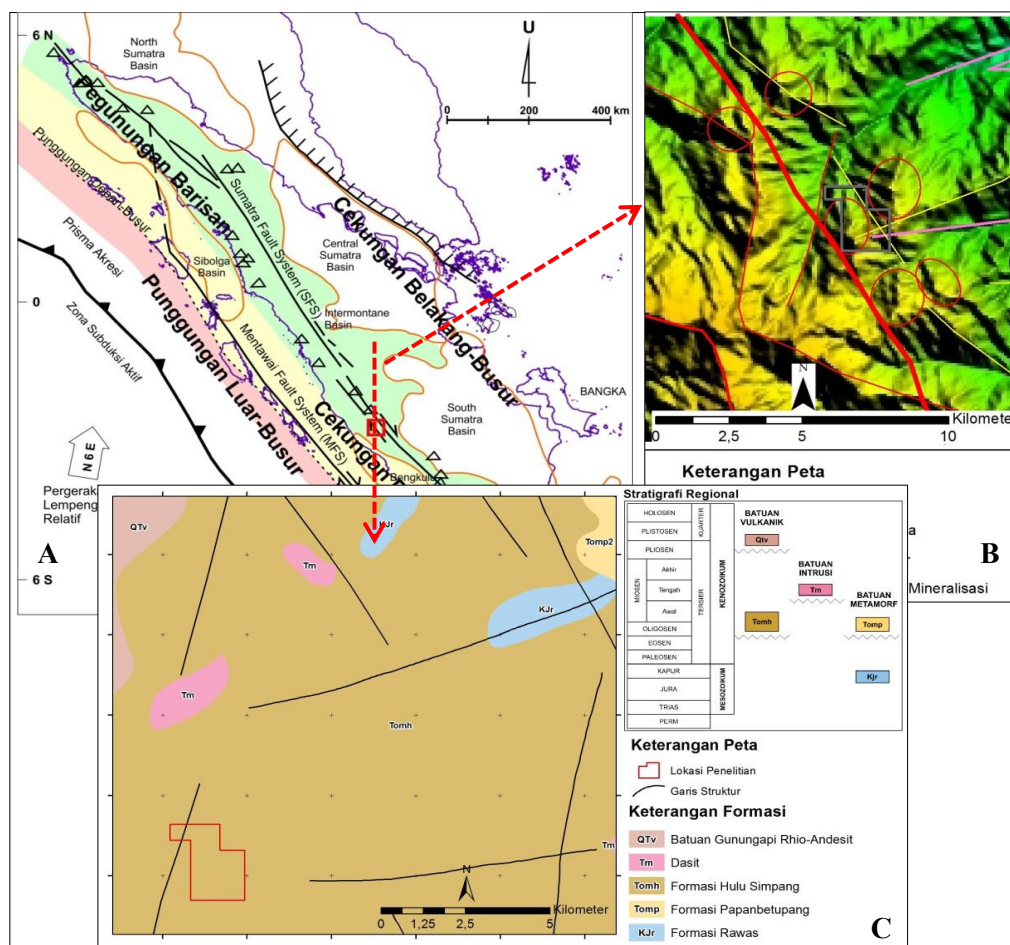
Busur vulkanik Pegunungan Barisan berumur Tersier, yang dipengaruhi oleh sesar mendatar berarah baratlaut-tenggara, dikenal sebagai Zona Sesar Semangko (Pulunggono, 1993, dalam Darman dan Sidi, 2000). Zona sesar ini memberikan pola lineasi struktur di daerah Prospek "X" dan sekitarnya oleh Unit Geomin (2014) yang diinterpretasikan berhubungan dengan zona mineralisasi di daerah penelitian (Gambar 1A, Gambar 1B).

Daerah penelitian menempati batuan vulkanik Formasi Hulusimpang berumur Oligosen Akhir - Miosen Awal yang tersusun oleh breksi vulkanik, konglomerat, batupasir tufan, dan setempat perselingan batupasir dan batulempung lanauan, umumnya berubah. Formasi Hulu Simpang menindih secara tidak selaras Formasi Papanbetupang berumur Oligosen dan Formasi Rawa berumur Kapur-Jura, dan diintrusi oleh Dasit berumur Miosen Tengah (Suwarna dkk., 1992) (Gambar 1C).

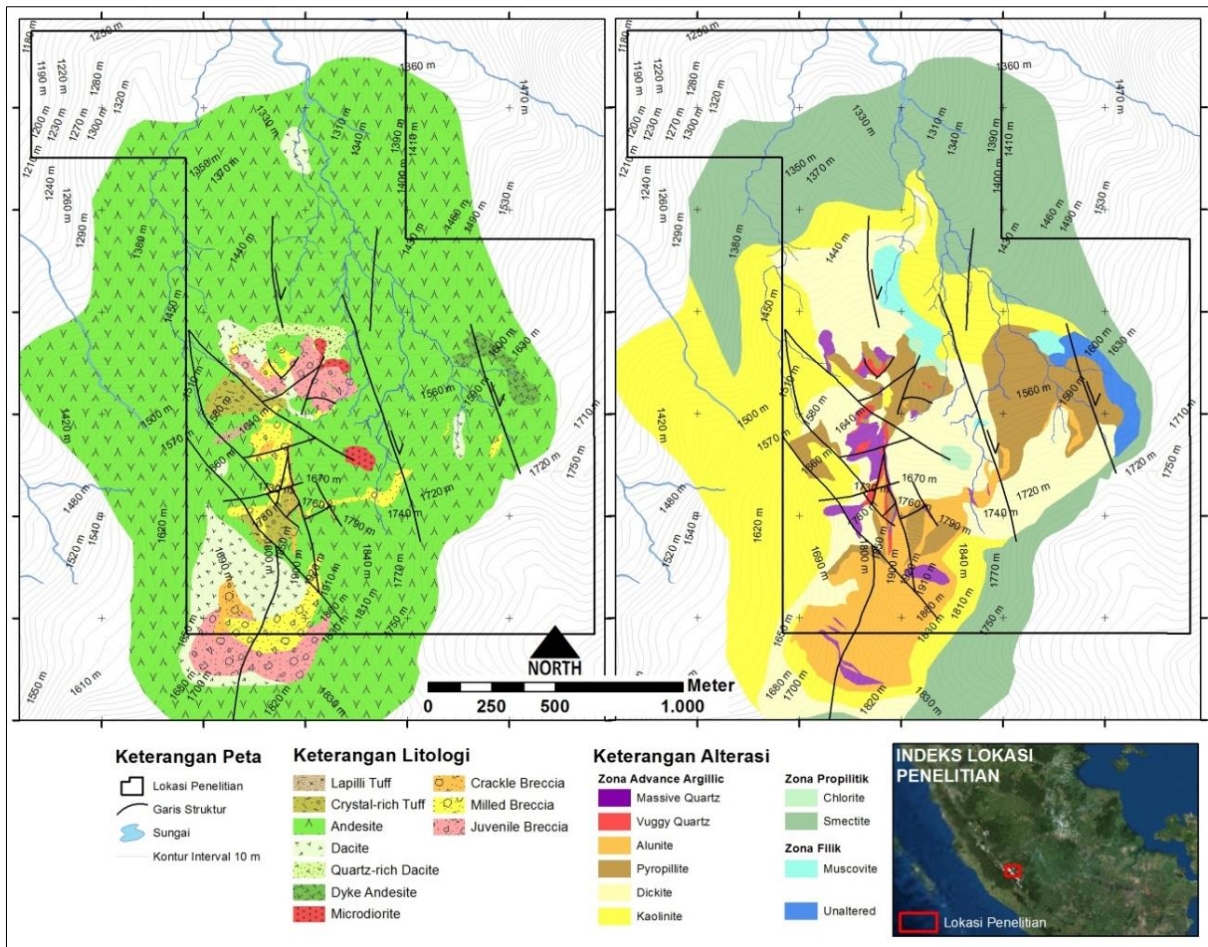
Berdasarkan hasil eksplorasi Unit Geomin (2014), di daerah Prospek "X" terdapat indikasi endapan tipe epitermal sulfida tinggi pada breksi vulkanik sebagai batuan induk. Setempat diintrusi retas andesit dan mikrodiorit, adapun litologi andesit dan dasit terbentuk relatif jauh dari batuan induk. Breksi vulkanik tersusun oleh ubahan argilik lanjut/breksi *juvenile*, breksi hidrotermal, *crackle breccia*, dan *milled breccia*. Ubahan argilik lanjut berkomporsi mineral ubahan *vuggy-massive quartz*, alunit, pirofilit, kaolinit, dan dickit. Pada *massive-vuggy quartz* dan alunit, terdapat potensi mineralisasi bijih yang teroksidasi sebagian terdiri pirit, enargit, luzonit, kovelit, kalkosit, tenantit, dan tetrahedrit (Gambar 2).

METODOLOGI

Conto-conto tanah di area seluas berkisar 5,3 km² diambil pada horison B-C menggunakan *hand auger* dengan kedalaman sekitar 100 cm secara kisi 100 m x 50 m, masing-masing conto memiliki titik koordinat (Gambar 3). Kandungan unsur Au pada conto-conto tersebut dianalisis dengan menggunakan *Fire Assay Atomic Absorption Spectrophotometry* (FA-AAS), sedangkan unsur-unsur Ag, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, Pb, Zn, Sn, dan Mo menggunakan *Induced Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Unsur-unsur tersebut mengacu pada White dan Hedenquist (1995) dikarenakan hubungannya dengan keterdapatannya mineralisasi bijih sulfida.



Gambar 1. Peta geologi dan struktur geologi regional daerah lapangan "X", (A) skema kerangka tektonik Pulau Sumatera (Darman and Sidi, 2000); (B) SRTM interpretasi lineasi struktur dan zonasi alterasi-mineralisasi (modifikasi Unit Geomin, 2014); (C) Geologi regional (Suwarna, dkk., 1992).

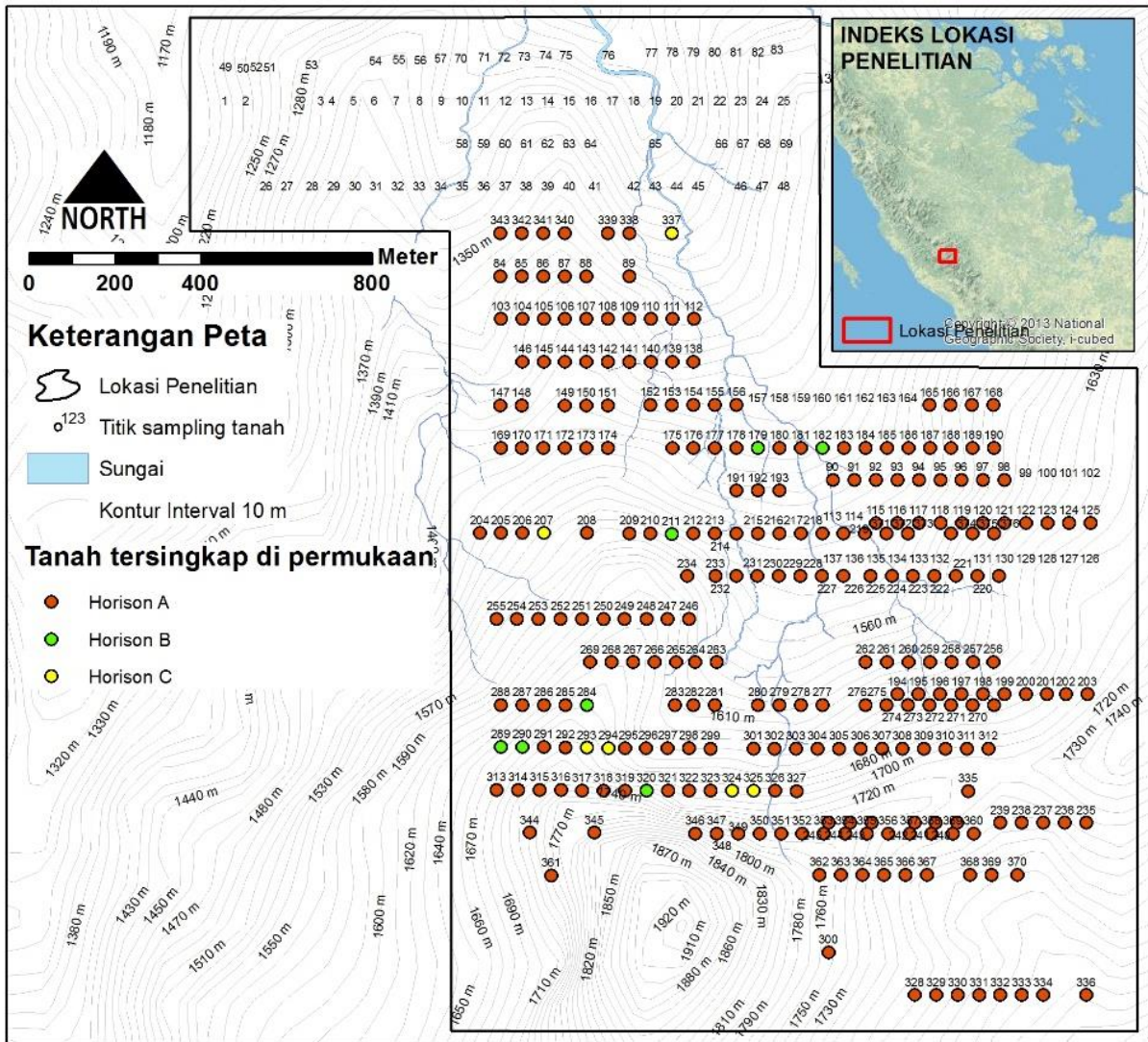


Gambar 2. Peta Geologi dan Alterasi daerah Prospek "X", Batang Asai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi (modifikasi Anonim, 2014).

Metode statistik telah diterapkan secara luas untuk menginterpretasi set data geokimia tanah dan menentukan anomali yang mencerminkan karakteristik geokimia tertentu. Khususnya, integrasi terhadap observasi lapangan, mendeteksi respon mineralisasi, dan menunjang data geologi (Amor, 2011).

Analisis Korelasi dan Analisis Kluster Hirarki diterapkan pada set data geokimia multivariat. Analisis korelasi digunakan untuk menentukan hubungan antara dua variabel dan saling berkaitan satu dengan yang lain. Koefisien korelasi (r) merupakan besar kecilnya nilai hubungan antara dua variabel yang dinyatakan dalam jumlah korelasi dengan kisaran nilai $-1 \leq r \leq +1$. Tiap nilai korelasi memiliki tingkatan hubungan (Sugiyono, 1999). Analisis

kluster hirarki merupakan salah satu teknik kluster yang telah diterapkan secara luas dalam bidang ilmu kebumih (Davis, 2002). Teknik ini menggunakan metode aglomeratif yang masing-masing objeknya dianggap sebagai kluster terpisah. Dua objek kluster dihubungkan dengan menggunakan metode korelasi Ward. Metode Ward menggunakan nilai kedekatan yaitu korelasi dan atau kovarians untuk mengevaluasi jarak antara kluster dan dapat menghasilkan pengelompokan kluster. Perpaduan antar kluster yang paling mirip kemudian dihubungkan ke objek kluster lain sehingga membentuk semacam "pohon" dimana ada hirarki (tingkatan) antar kluster yang dikenal sebagai Dendrogram (Timm, 2002).



Gambar 3. Lokasi pengambilan contoh-conto tanah di daerah Prospek "X".

HASIL

Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif unsur Au, Ag, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, Pb, Zn, Sn, dan Mo

menunjukkan nilai *range*, *variance*, *skewness*, dan *kurtosis* relatif tinggi. Khususnya nilai intensitas anomali geokimia tiap unsur umumnya bernilai positif (Tabel 1).

Tabel 1. Statistik deskriptif contoh tanah daerah prospek "X".

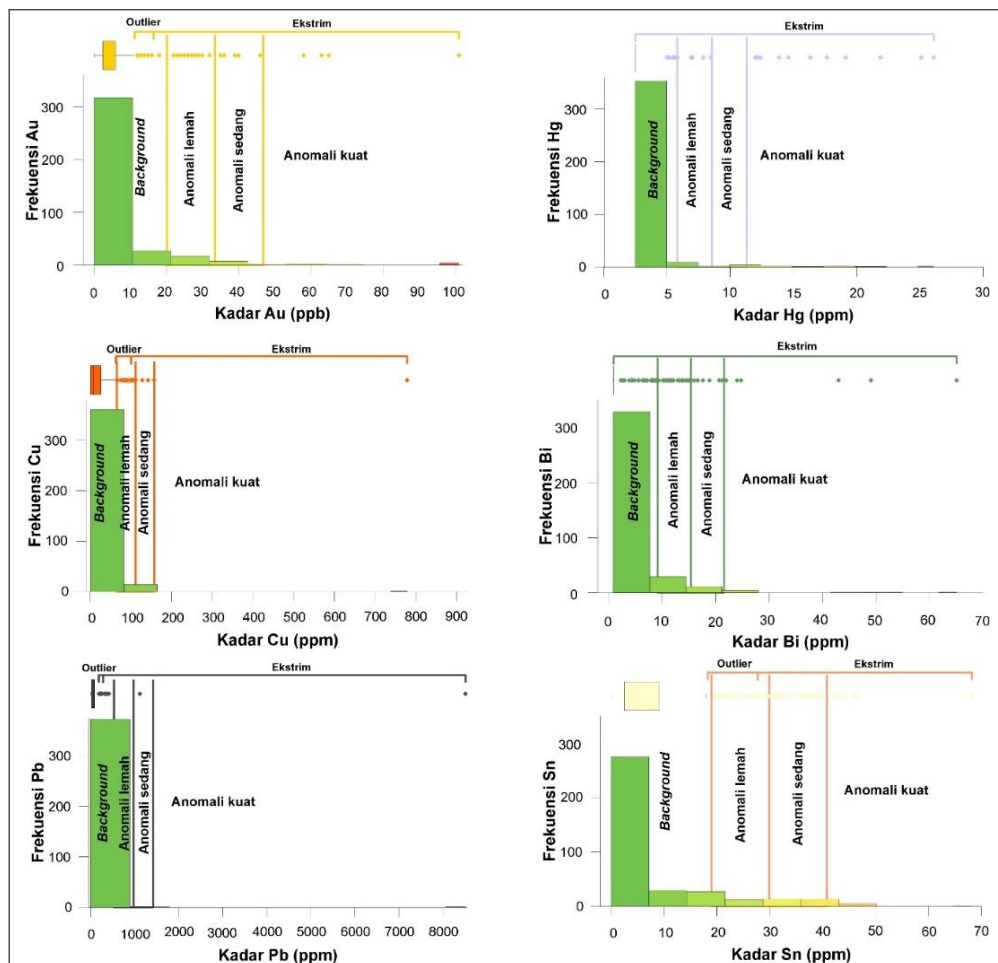
	Au (ppb)	Ag (ppm)	Hg (ppm)	Te (ppm)	S b (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)	S n (ppm)	Mo (ppm)
Jumlah data	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376
Kelas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum	0,100	1,500	2,500	1,000	2,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,500
Maximum	101,000	173,910	26,090	831,700	199,410	2743,940	65,000	778,520	8513,000	926,410	68,190	61,910
Rentang	100,900	172,410	23,590	830,700	197,410	2743,940	64,000	777,520	8513,000	925,410	68,190	60,410
Interval	10,622	18,149	2,484	87,443	20,78	288,836	6,737	81,845	896,106	97,412	7,178	6,359
Mean	6,859	6,971	3,069	7,995	7,168	53,314	3,018	19,819	86,825	52,522	8,097	3,313

	Au (ppb)	Ag (ppm)	Hg (ppm)	Te (ppm)	S b (ppm)	As (ppm)	Bi (ppm)	Cu (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)	S n (ppm)	Mo (ppm)
Standar Dev	13,334	18,644	2,749	43,933	15,257	147,654	6,191	46,041	443,198	65,382	10,904	5,181
Varians	177,808	347,588	7,556	1930,113	232,784	21801,846	38,328	2119,770	196424,829	4274,758	118,901	26,843
Skewness	4,720	5,770	5,857	17,714	6,367	16,269	5,344	12,308	18,459	7,635	2,160	6,106
Kurtosis	27,202	39,555	37,116	331,880	67,735	295,839	39,356	197,520	351,093	90,973	4,430	53,313
Anomali lemah	20,194	25,615	5,818	51,928	22,425	200,969	9,209	65,860	530,023	117,903	19,001	8,494
Anomali sedang	33,528	44,258	8,567	95,861	37,682	348,623	15,400	111,901	973,222	183,285	29,906	13,676
Anomali kuat	46,862	62,902	11,316	139,794	52,939	496,278	21,591	157,942	1416,420	248,667	40,810	18,857

Histogram dan *Box-whisker plots*

Histogram yang dihasilkan oleh tiap unsur berdasarkan kelas interval dan frekuensi kumulatif digunakan untuk mengidentifikasi distribusi kecondongan/*skewness* dan kelengkungan/*kurtosis* suatu data. *Box-*

whisker plot mengidentifikasi distribusi *box* berupa bidang *Interquartile Range* (IQR), *median*, garis *whisker*, *outlier*, dan ekstrim suatu data. Dilakukan penentuan antara nilai *background* dan intensitas anomali terdiri dari anomali lemah (*mean + 1SD*), sedang (*mean + 2SD*), hingga kuat (*mean + 3SD*) pada diagram ini (Gambar 4).



Gambar 4. Histogram dan *box-whisker plots* unsur Au, Hg, Cu, Bi, Pb, dan Sn di daerah prospek "X".

Histogram dan *box-whisker plots* yang direpresentasikan oleh beberapa unsur tersebut di atas menunjukkan bahwa data umumnya terdistribusi tidak normal. Histogram umumnya condong ke arah kanan, nilai kecondongan bersifat positif memberikan nilai anomali positif dengan intensitas anomali bervariasi. *Box-whisker plots* didapat variabel unsur-unsur yang memiliki nilai IQR dan tidak memiliki IQR. Unsur Au, Ag, Te, Cu, Pb, Zn, dan Sn memiliki nilai IQR dan *whisker* sehingga teridentifikasi *outlier* pada $> 1.5 \times IQR$, disertai nilai ekstrim pada $> 3.0 \times IQR$. Unsur Hg, Sb, Bi, dan Mo tidak memiliki nilai IQR dan *whisker* sehingga hanya didapat nilai ekstrim.

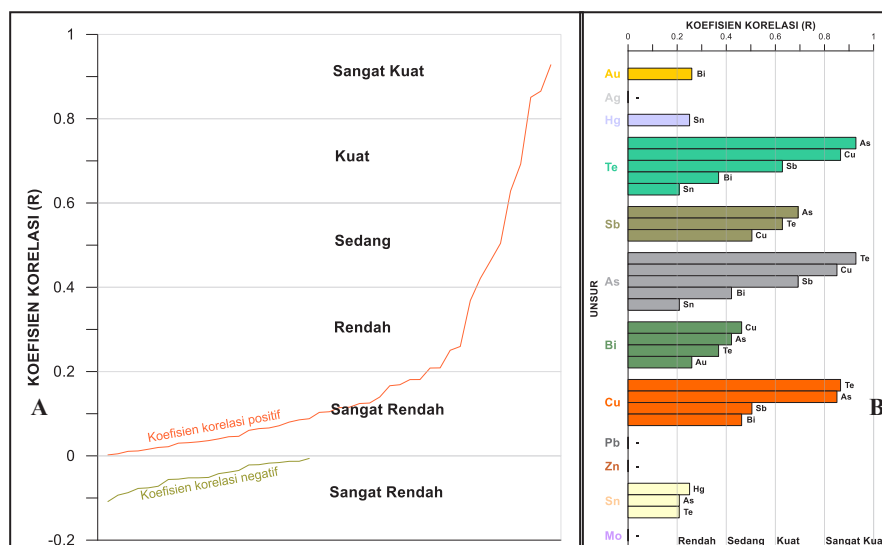
Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk melihat kaitannya dengan tingkat hubungan nilai koefisien korelasi. Jumlah individu koefisien korelasi tersebut adalah sebanyak 132 individu. *Range* nilai koefisien korelasi semua individu tersebut dibagi menjadi dua, yaitu *range* korelasi negatif (-) berkisar -0.006 s/d. -0.109 memiliki tingkat hubungan sangat rendah, dan *range* korelasi positif (+) berkisar 0.002 s/d 0.928 memiliki tingkat hubungan sangat rendah hingga sangat kuat (Gambar 5A). *Range* nilai koefisien

korelasi dibatasi mulai dari tingkat hubungan rendah yaitu pada nilai korelasi 0.2 s/d 1.0 agar analisis korelasi unsur bersifat representatif untuk dilakukan (Gambar 5B). Berdasarkan diagram tersebut, terdapat korelasi unsur Au, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, dan Sn bersifat representatif dicirikan nilai koefisien korelasi $> 0,2$, sedangkan Ag, Pb, Zn, dan Mo bersifat tidak representatif dicirikan nilai koefisien korelasi $< 0,2$.

Analisis Kluster Hirarki

Dendrogram yang dihasilkan oleh kluster hirarki dengan menggunakan metode korelasi *Ward* dikelompokkan menjadi empat kluster. Kluster I terbentuk pada jarak perhubungan 0,53 dan nilai kemiripan 73,60, menghasilkan kekerabatan unsur Cu, As, Sb, dan Te. Kluster II terbentuk pada jarak perhubungan 0,74 dan nilai kemiripan 62,98, menghasilkan ke-kerabatan unsur Au dan Bi. Kluster III terbentuk pada jarak perhubungan 0,91 dan nilai kemiripan 54,38, menghasilkan kekerabatan unsur Pb, Mo, dan Zn. Kluster IV terbentuk pada jarak perhubungan 1,02 dan nilai kemiripan 49,01, menghasilkan kekerabatan unsur Sn, Hg, dan Ag (Tabel 2).



Gambar 5. Diagram koefisien korelasi, (A) Sebaran nilai koefisien korelasi secara berurut menggambarkan tingkat hubungan; (B) Koefisien korelasi unsur-unsur saling berkaitan satu dengan yang lain pada tingkat hubungan 02.-1.0.

Tabel 2. Nilai-nilai jarak, kemiripan, dan koefisien korelasi pada tiap klaster.

Klaster	I	II	III	IV
Unsur	Cu-As-Sb-Te	Au-Bi	Pb-Mo-Zn	Sn-Hg-Ag
Nilai kemiripan	73,602	62,979	54,3776	49,015
Nilai jarak	0,528	0,740	0,912	1,019
Range koefisien korelasi	0,504-0,927	0,259	0,085-0,115	0,016-0,251
	Klaster representatif		Klaster tidak representatif	
	As-Te 0,927	Au-Bi 0,259	Pb-Zn 0,103	Sn-Hg 0,251
	Cu-Te 0,865		Mo-Pb 0,115	Ag-Sn 0,080
Koefisien korelasi (r)	As-Cu 0,851		Zn-Mo 0,085	Hg-Ag 0,016
	Sb-As 0,693			
	Te-Sb 0,629			
	Cu-Sb 0,504			

Berdasarkan identifikasi pengelompokan klaster di atas, unsur Cu, As, Sb, dan Te memiliki kekerabatan dengan nilai kemiripan relatif tinggi. Nilai kemiripan tinggi mengindikasikan bahwa kekerabatan antar unsur relatif kuat. Secara berurut diikuti pula oleh kekerabatan unsur Au dan Bi; Pb, Mo, dan Zn; serta Sn, Hg, dan Ag.

Hasil analisis korelasi dan analisis klaster hirarki pada tabel tersebut di atas dapat dicocokkan. Hal tersebut dilakukan agar kekerabatan suatu unsur dapat dibuktikan oleh bagaimana sebaran nilai koefisien korelasi pada tiap klaster tersebut.

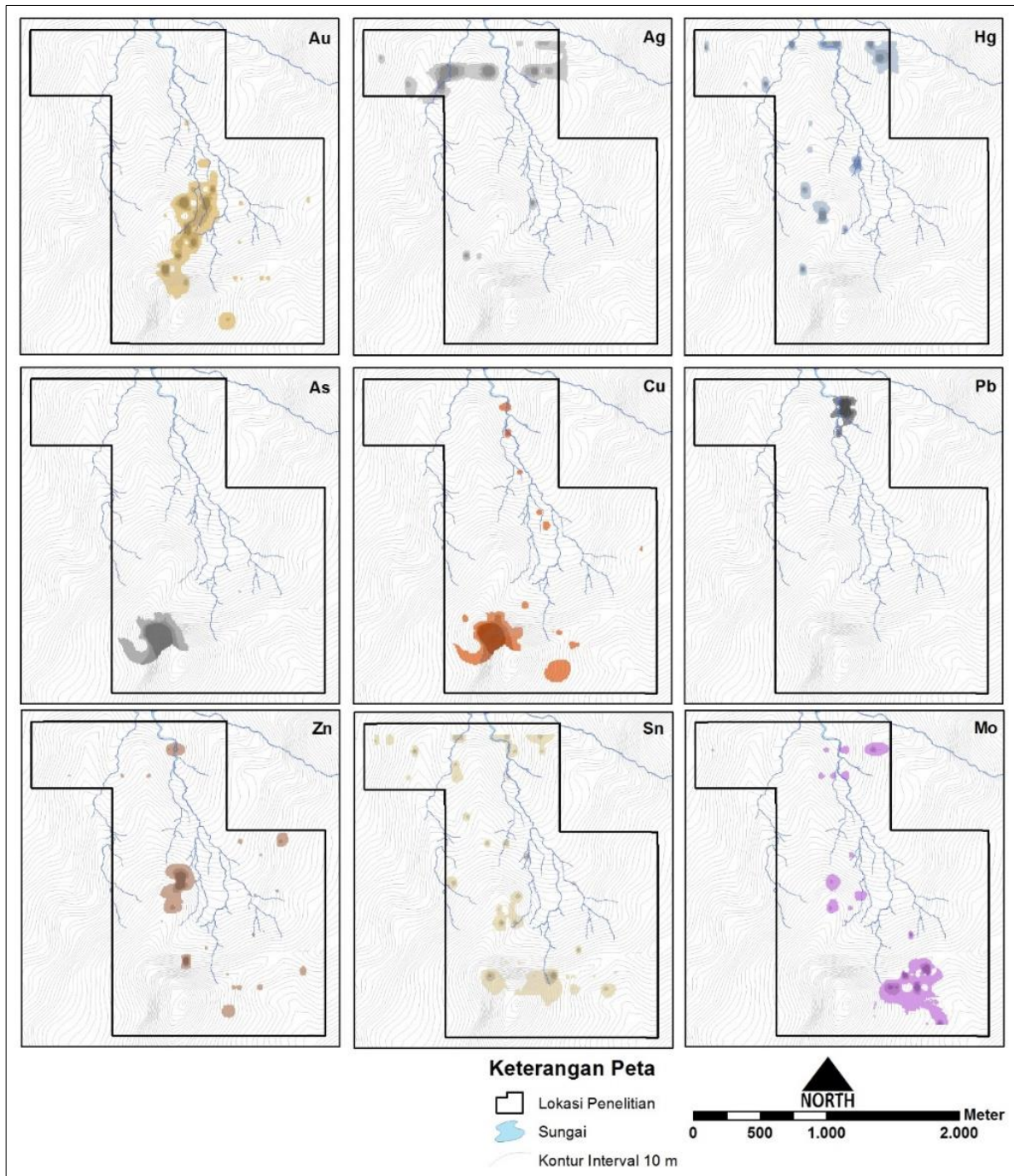
Kombinasi dari kedua analisis tersebut menghasilkan klaster yang bersifat representatif terdiri dari Klaster I dan II, serta tidak representatif terdiri dari Klaster III dan IV (Tabel 2).

PEMBAHASAN

Zona Anomali Geokimia Unsur Tunggal

Zona anomali geokimia unsur tunggal berupa penentuan zona anomali berdasarkan intensitas anomali unsur yang telah dikalkulasi secara statistik. Masing-masing unsur menunjukkan zona anomali tidak merata dan terdapat pada posisi tertentu (Gambar 6).

Peta zona anomali tiap unsur yang direpresentasikan oleh beberapa unsur tersebut di atas menunjukkan intensitas anomali mulai dari yang lemah hingga kuat. Unsur-unsur dengan sebaran anomali ≥ 200 m, terdiri Au, Ag, Mo, Sb, dan As. Unsur-unsur dengan sebaran anomali ≤ 200 m, terdiri Hg, Cu, Zn, Te, Bi Pb, dan Sn.

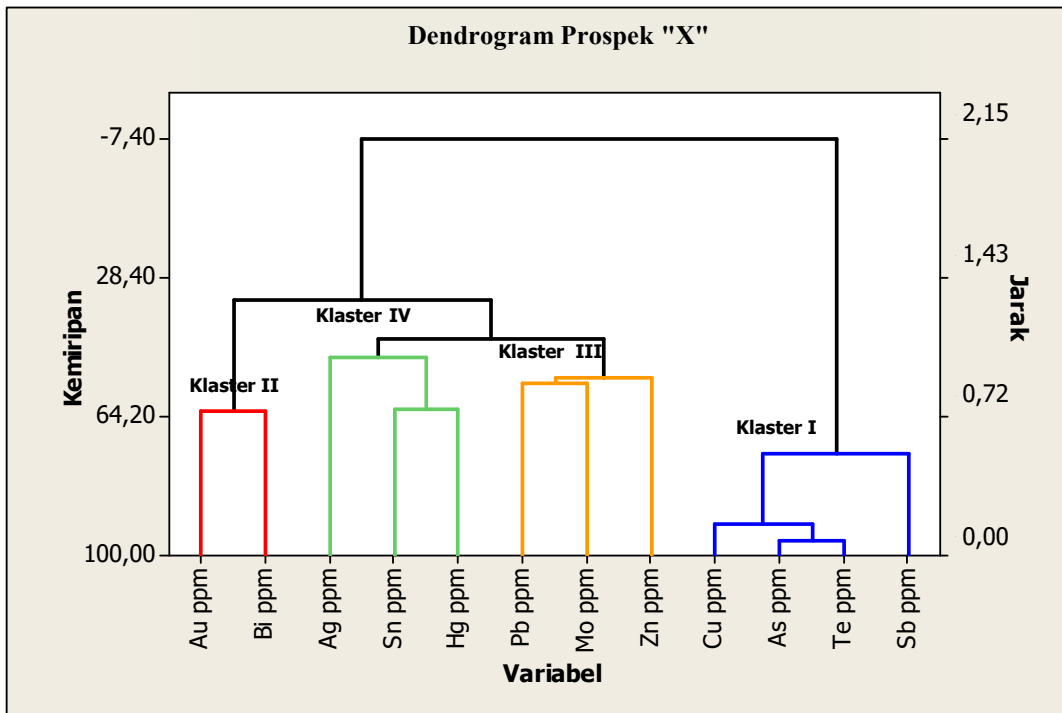


Gambar 6. Peta zona anomali tiap unsur geokimia tanah Au, Ag, Hg, As, Cu, Pb, Zn, Sn, dan Mo.

Zona Anomali Geokimia Multi Unsur

Dalam penentuan zona anomali geokimia unsur, telah dijelaskan bahwa analisis statistik multivariat didapat empat kluster yang mana tiap kluster mencerminkan karakteristik kekerabatan antar unsur (Gambar 7). Pemodelan zona anomali ini

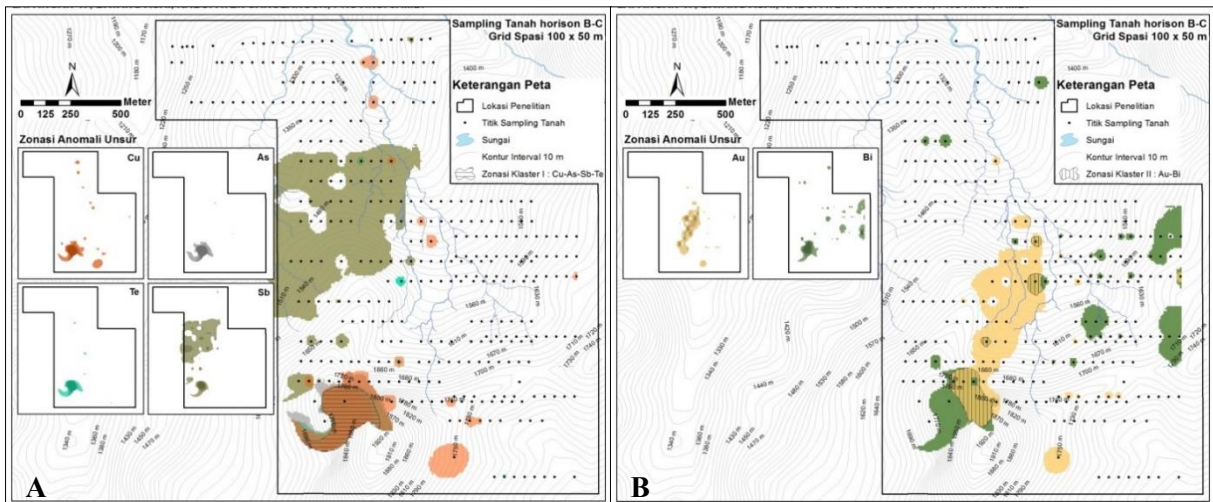
berupa interpretasi zona anomali geokimia tanah berdasarkan kluster yang mencirikan kekerabatan antar unsur. Interpretasi zona anomali kluster yaitu dengan cara *overlay* terhadap unsur-unsur yang telah di-kelompokkan oleh tiap kluster.



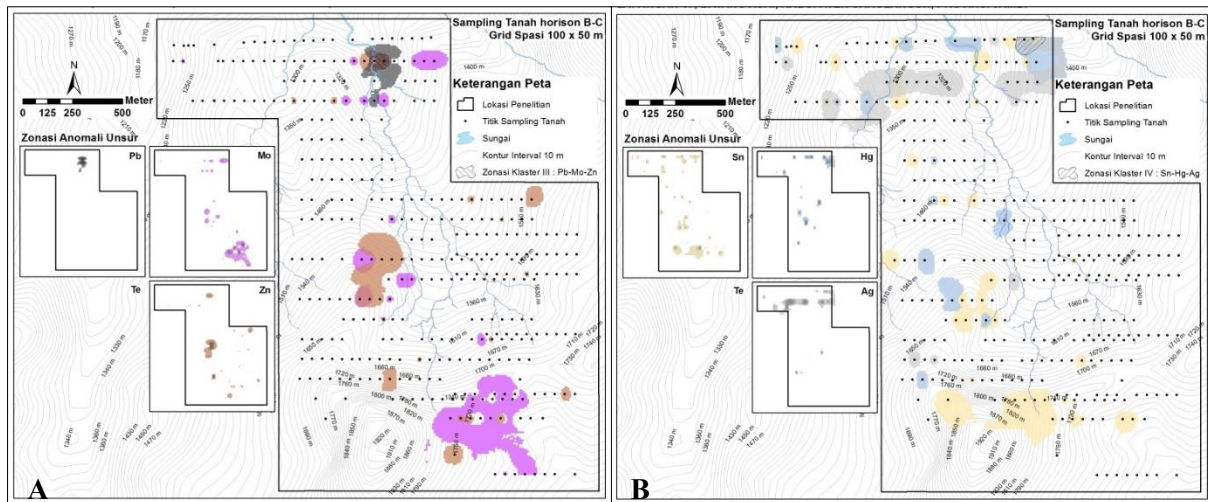
Gambar 7. Dendrogram prospek "X" menunjukkan hirarki pengelompokan kekerabatan unsur yang terbagi menjadi empat klaster.

Klaster yang bersifat representatif terdiri dari Klaster I Cu-As-Sb-Te dan Klaster II Au-Bi. Zona anomali Klaster I untuk tiap unsurnya cenderung berkumpul dan saling tumpang tindih di satu tempat yaitu pada bagian baratdaya lokasi penelitian (Gambar 8A). Zona anomali Klaster II untuk tiap unsurnya cenderung saling tumpang tindih di empat tempat, namun sebagian besar hanya terdapat di satu tempat yaitu pada bagian baratdaya lokasi penelitian (Gambar 8B).

Klaster yang bersifat tidak representatif terdiri dari Klaster III Pb-Mo-Zn dan Klaster IV Sn-Hg-Ag. Zona anomali Klaster III untuk tiap unsurnya cenderung saling tumpang tindih di satu tempat yaitu pada bagian utara lokasi penelitian (Gambar 9A). Begitu pula dengan zona anomali Klaster IV, umumnya terdapat pada bagian utara lokasi penelitian (Gambar 9B).



Gambar 8. Peta zona anomali klaster, (A) Klaster I Cu-As-Sb-Te; (B) Klaster II Au-Bi.



Gambar 9. Peta zona anomali klaster, (A) Klaster III Pb-Mo-Zn; (B) Klaster IV Sn-Hg-Ag.

Interpretasi Anomali Geokimia, Litologi, Alterasi, dan Mineralisasi

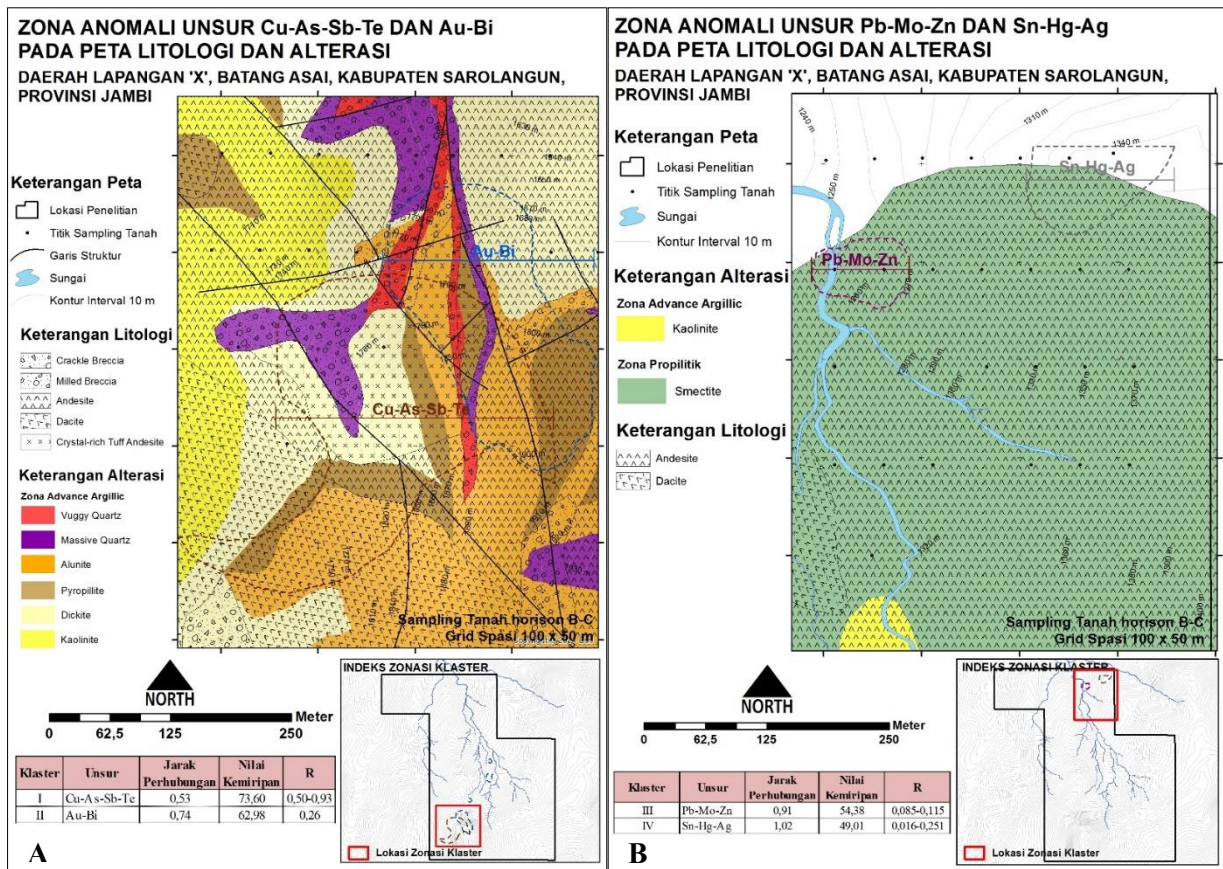
Zonasi anomali klaster tersebut mencirikan kekerabatan antar unsur yang menghasilkan dua variabel klaster yaitu klaster yang bersifat representatif dan klaster yang bersifat tidak representatif. Dua variabel tersebut akan diinterpretasi hubungannya terhadap litologi, alterasi, dan mineralisasi di permukaan.

Distribusi zona anomali unsur Cu-As-Sb-Te dan Au-Bi merupakan zona yang dikategorikan representatif untuk dapat dilakukan interpretasi. Interpretasi yang mengacu pada kumpulan asosiasi unsur tersebut, berkaitan dengan keterdapatan mineralisasi sulfida. Mineralisasi tersebut mencerminkan karakteristik litologi dan alterasi. Kedua zona tersebut memiliki zona anomali yang saling beririsan satu sama lain. Kedua zona anomali kumpulan unsur ini menempati litologi *crystal-rich tuff*, andesit, dasit, *crackle breccia*, dan *milled breccia*. Disertai pula dengan alterasi pada zona anomali tersebut menempati ubahan argilik lanjut yang

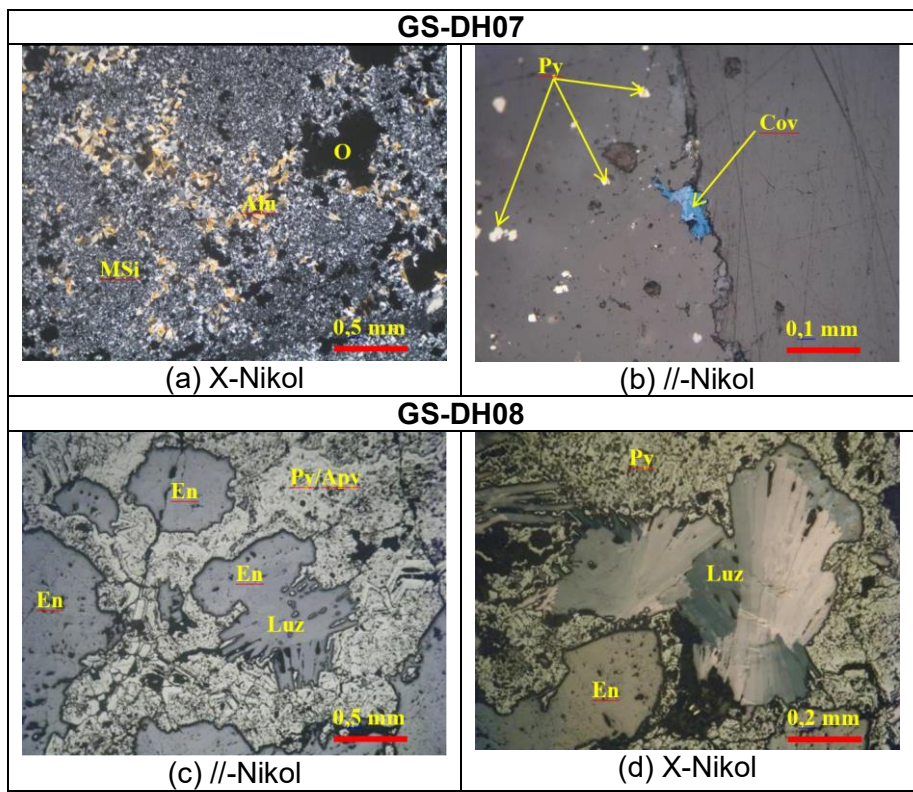
tersusun oleh kuarsa *vughs*, kuarsa masif, alunit, pirofilit, dan dickit (Gambar 10A).

Zona anomali unsur Cu-As-Sb-Te berdasarkan deskripsi petrografi dan mineragrafi diwakili oleh conto inti bor yang terdapat pada zona tersebut yaitu GS-DH07 dan GS-DH08. Conto-conto tersebut berkomporsi mineral sulfida terdiri dari enargit $Cu_3(As,Sb)S_4$, luzonit $Cu_3(As,Sb)S_4$, kovelit CuS , kalkopirit $CuFeS_2$, dan arsenopirit $FeAsS$ pada batuan terubah silisifikasi berkomporsi mikrogranular silika dan alunit (Gambar 11). Tetapi, untuk zona anomali unsur Au-Bi tidak dijumpai indikasi mineralisasi yang mewakili kumpulan unsur tersebut.

Distribusi zona anomali unsur Pb-Mo-Zn dan Sn-Hg-Ag merupakan zona yang dikategorikan tidak representatif untuk dapat dilakukan interpretasi. Hal tersebut dikarenakan kedua kumpulan unsur tersebut menempati litologi dan alterasi yang tidak representatif pula. Zona anomali unsur Pb-Mo-Zn dan Sn-Hg-Ag menempati litologi andesit terubah smektit (Gambar 10B).



Gambar 10. Zona anomali unsur Cu-As-Sb-Te dan Au-Bi pada peta litologi dan alterasi.



Gambar 11. Fotomikrograf sayatan tipis dan fotomikrograf sayatan poles contoh GS-DH07 dan GS-DH08.

KESIMPULAN

Hasil analisis statistik univariat mengindikasikan zona anomali geokimia tiap unsur yang berkaitan dengan zona anomali berdasarkan kalkulasi statistik deskriptif, histogram, dan *box-whisker plots* sehingga dapat diidentifikasi nilai *background* dan intensitas anomali. Hasil analisis statistik multivariat mengindikasikan interpretasi zona anomali geokimia klaster yang bersifat representatif dan tidak representatif. Klaster yang bersifat representatif terdiri Klaster I Cu-As-Sb-Te dan Klaster II Au-Bi, sedangkan klaster yang bersifat tidak representatif terdiri Klaster III Pb-Mo-Zn dan Klaster IV Sn-Hg-Ag. Kumpulan asosiasi unsur geokimia tanah Cu-As-Sb-Te dan Au-Bi merupakan unsur-unsur signifikan yang mengindikasikan anomali permukaan. Anomali ini diterapkan untuk menginterpretasi keberadaan potensi mineralisasi Au-Cu epitermal sulfida tinggi yang tersusun oleh ubahan argilik lanjut dari breksi vulkanik, tuf, andesit, dan dasit; serta dicirikan oleh kehadiran mineral bijih enargit, luzonit, kalkopirit, arsenopirit, dan kovelit. Adapun sebagian hasil analisis geokimia tanah khususnya unsur Te dan Bi tidak menunjukkan kaitannya dengan mineralisasi Au-Cu. Hal tersebut diinterpretasikan bahwa keberadaan unsur Te dan Bi dapat berupa ion yang mengisi kisi kristal pada zona mineralisasi Au-Cu tersebut. Sedangkan kumpulan asosiasi unsur geokimia tanah Pb-Mo-Zn dan Sn-Hg-Ag merupakan unsur-unsur non-signifikan dalam kaitannya dengan keberadaan potensi mineralisasi Au-Cu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh PT ANTAM Tbk Unit Geomin. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Eko Martias sebagai *General Manager*, Bapak Hartono sebagai *Vice President*, dan Bapak Bronto Sutopo sebagai pembimbing teknis, karena

diberikan izin untuk mengumpulkan data dan mempublikasikannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amor, S., 2011, *Data Presentation and Interpretation Requirements for Geochemical Exploration*, Consultant, Burlington.
- Darman, H., and Sidi, F.H., 2000, *An Outline of The Geology of Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta.
- Davis, J.C., 2002, *Statistics and Data Analysis in Geology : Third Edition*, Kansas Geological Survey, The University of Kansas, John Wiley & Sons, Inc., New York, 656 p.
- Joyce, A.S., 1984, *Geochemical Exploration*, The Australian Mineral Foundation Inc., Brisbane.
- McQueen, K.G., 2002, *Identifying Geochemical Anomalies*, CRC LEME, Department of Earth and Marine Sciences, Australian National University, Canberra.
- Niton, 2012, *Application of the Thermo Scientific Portable XRF Analyzer in PGE Exploration*, Thermo Fisher Scientific Inc., USA.
- Sugiyono, 1999, *Statistika Untuk Penelitian*, CV. Alfabeta, Bandung.
- Suwarna, N., Soeharsono, Gafoer, S., Amin. T.C., Kusnama, dan Hermanto., B, 1992, *Peta Geologi Lembar Sarolangun, Sumatera, Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Timm, N.H., 2002, *Applied Multivariate Analysis*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Springer-Verlag New York, Inc., New York.
- Anonim, 2014, *Laporan Akhir Eksplorasi Emas dan Mineral Pengikutnya, daerah Batangasai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi*, PT ANTAM Tbk Unit Geomin, Jakarta. Tidak dipublikasikan.

White, N.C., and Hedenquist, J.W., 1995,
*Epithermal Gold Deposits: Styles,
Characteristics, and Exploration,*

Society of Economic Geologists
Newsletter No. 23, p. 9-13.

Diterima	: 3 Maret 2016
Direvisi	: 28 April 2016
Disetujui	: 23 Mei 2016

RESPONSE OF STABLE OVERALL SLOPE GEOMETRY OF OPEN PIT COAL MINE IN WARUKIN FORMATION TO DEWATERING AND PEAK GROUND SEISMIC IN SOUTH KALIMANTAN, INDONESIA

RESPONS GEOMETRI LERENG MENYELURUH STABIL TAMBANG TERBUKA PADA FORMASI WARUKIN, AKIBAT PENYALIRAN DAN GEMPA DI KALIMANTAN SELATAN, INDONESIA

Agus Wiramsya Oscar^{1*}, Dicky Muslim^{2*}, Nana Sulaksana², Febri Hirnawan²

¹Postgraduated Programe of Geological Engineering, Padjadjaran University, Bandung, Indonesia

²Faculty of Geological Engineering, Padjadjaran University, Bandung, Indonesia
oscar.agus@yahoo.co.id; d.muslim@unpad.ac.id

ABSTRACT

Understanding of the response of the mine slope stability is very important regarding the safety of life and investment / productivity / environment, as anticipation of landslide prevention based on the latest research. Mine slope behavior previously discussed widely in terms of the response due to dewatering and seismic (Peak Ground Acceleration) as well through verification. This paper aims to obtain a broad dimension of design criteria that are not only unstable slopes, but the slope is stable under various conditions of the rock mass saturation (dewatering) and seismic condition. Response of slope stability per geotechnical rocks unit from different formations or any engineering formation as a result of environmental influences, for example, the same quake, will be different. This means that the geometry of the same slope in other formation will have different stability conditions (safety factor of the slope) due to the same seismic acceleration. This is also similar due to dewatering. The method used for this study is the deductive-probabilistic method with a hypothetical verification approach. The Standard statistical analysis is used to test the data normality and homogeneity, average and independent differences, as well as regression-correlation test. The research results show that dewatering activity can decrease ground water level (GWL/MAT) of the slope, so the durability of sliding along the sliding plane is reduced (increasing slope safety factor). At the same time earthquake reduces shear strength and increases driving force, so the safety factor of the slope suddenly downs. Slope stability decreased due to the earthquake, but dewatering improves slope stability. Thus, the slope in dewatering conditions will be kept stable through simulation to anticipate earthquake.

Keywords: Overall slope, Safety Factor, dewatering, Peak Ground Acceleration

ABSTRAK

Pemahaman respon dari stabilitas lereng tambang sangat penting terkait keselamatan jiwa dan investasi / produktivitas / lingkungan, sebagaiantisipasi pencegahan longsor berdasarkan penelitian terbaru. Perilaku lereng tambang dibahas sebelumnya secara luas dalam hal respon karena penyaliran dan seismic serta melalui verifikasi kualitatif. Makalah ini bertujuan untuk mendapatkan dimensi yang luas kriteria desain yang tidak hanya lereng yang tidak stabil, namun lereng stabil dalam berbagai kondisi dari kejenuhan massa batuan (penyaliran) dan kondisi seismic/getaran. Respon dari stabilitas lereng per unit satuan batuan geoteknik dari formasi yang berbeda atau pembentukan keteknikan satuan batuan

sebagai akibat dari pengaruh lingkungan, misalnya, gempa yang sama, akan berbeda. Ini berarti bahwa geometri lereng yang sama dalam formasi lainnya akan memiliki kondisi stabilitas yang berbeda (faktor keamanan dari lereng) karena percepatan gempa yang sama. Ini juga mirip karena penyaliran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respons geometri lereng menyeluruh stabil tambang batubara terbuka pada Formasi Warukin di Kalimantan Selatan akibat penyaliran dan gempa. Penelitian ini menggunakan metode deduktif-probabilistik dengan pendekatan verifikasi hipotetik. Analisis kemiringan lereng dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan lereng di daerah penelitian. Analisis statistik seperti uji korelasi regresi yang sebelumnya telah dilakukan juga uji normalitas dan homogenitas data serta menguji perbedaan rata-rata dan independen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas penyaliran dapat menurunkan elevasi muka air tanah (MAT) di dalam tubuh lereng, sehingga daya tahan geser di sepanjang bidang gelincir menjadi turun (faktor keamanan lereng meningkat). Gempa menurunkan gaya tahan geser sekaligus menaikkan gaya dorong geser pada saat yang bersamaan, sehingga faktor keamanan lereng turun dengan tiba-tiba. kestabilan lereng menurun akibat gempa, tetapi penyaliran meningkatkan kestabilan lereng. Dengan demikian lereng dalam kondisi dewatering akan dapat dijaga tetap stabil melalui simulasi untuk mengantisipasi terjadinya gempa.

Kata kunci: Lereng menyeluruh, faktor keamanan, dewatering, seismik dasar puncak

INTRODUCTION

Determination of the angle of comprehensive slope (overall slope), the largest stable at a maximum depth of an open pit mine is an aspect of the geotechnical part of mine planning, so that the mining operation is capable of producing optimal cost (recovery) for mineable reserves in a safe condition (slope with no landslide). Such circumstances should always be maintained, and is a joint responsibility of all parties involved in a mining organization. Therefore management of mine to maintain the condition of safety along with the acquisition of optimal production is in accordance with the government rules of mining techniques (Good Mining Practice).

Rock formation genetically has specific physical and mechanical characteristics along with composition and variety of rock types with distinct physical characteristics, biological, and chemical, known as facies. This understanding is used as the basis for tracking the physical and mechanical characteristics in carrying out geotechnical mapping to the systematic division of geotechnical rock units. Dearman (1991)

explained the rank of geotechnical rock units in descending order:

1. engineering types (scale 1: 5,000 or greater),
2. lithological types (scale 1; 5000-1: 10,000),
3. engineering formations (scale 1: 10000-1: 200,000),
4. engineering groups (scale 1: 200,000 or smaller).

In mining operations, which are generally large-scale geotechnical issues will involve large-scale map, so that the study of various phenomena of slope instability will focus on geotechnical rock units at the level of engineering formation until the lithological type. This research studies on all three levels of the units.

Response of slope stability per unit geotechnical rocks of different formations or any engineering formation as a result of environmental influences, for example, the same seismicvibration, will be different. It means that the geometry of the same slope made in the formation of the others will have different slope stability conditions (safety factor) though the Peak Ground Acceleration (PGA) are the same.

Similarly, due to dewatering. Both factors cause (variable /independent factor) that will be studied to what extent the effects on some important formations that have potential coal resources that are and will be mined today and in the future.

Benefits of the research is to support the efficiency and safety of mining operations warranty optimally profitable production. This study focused on the analysis of the probability of slope geometry on the open coal mine in South Kalimantan covering six study areas for the deployment of the lateral and vertical logs in Warukin Formation. The influence of PGA in Kalimantan, the effect of blasting vibration and the impact of heavy equipment are statistically considered and taken into account in determining the Safety Factor (SF).

The purpose of this research is to understand the response of stable overall slope geometry due to dewatering treatment and due to the seismic vibration (earthquake, heavy equipment or blasting). For this study, 6 cored holes have been obtained from the research area. The geology generally consists of gently folded Warukin Formation, comprising claystone, silty and sandy claystones, carbonaceous claystones and some sandstone layers alternating with several coal seams. Up to 5 m of surficial soils originating from weathered rocks of the formation are present from the Warukin Formation.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The study area is located in the Barito Basin at the edge of the eastern sub-basin of the Barito near Meratus Mountain. Sub Barito Basin is the southern part of the

Kutai basin form a vast basin and covers South and East Kalimantan during the Tertiary. Barito basin consists of four formations aged Eocene until Pleistocene namely Tanjung, Berai, Warukin and Dahor Formations (Fig.1). Warukin Formation is composed by quartz sandstone, claystone, siltstone, and conglomerates at the bottom as well as the intercalation of coal and limestone lenses. Warukin Formation is deposited in the Middle to Late Miocene on the environment of paralic up phase and delta regression (Anonymous, 2013).

The Warukin Formation (T_{mw}) is overlain unconformably by the Quaternary Dahor Formation (T_{Qd}) (Fig. 2). The Miocene Warukin Formation was deposited as shallow marine to continental sands, muds, and coals. This gentle formation is folded forming south flank of the anticlines in the study area. Warukin Formation of 1,250 meters thick consisting of alternation of fine to coarse grained quartz sandstone layers and conglomerates of 5-30 cm thick, claystones of 3-100 cm thick, sandy claystones, and coal seams of 20-50 cm thick, was deposited in the above-mentioned environment as a coal bearing formation in the study area and the vicinity. In the study area, an anticline with a southwest-northeast axis is probably cut by strike slip faults, along which Sungai Kintap Kanan and Sungai Cuka and other parallel streams going to the south coast. Sungai Rantau developing along northeast-southwest line is probably a northwest dipping reverse fault cutting the flank of the anticline. However, in the area of study, no clear indication of faults were found in either the surface layout or in the borehole cores.

STRATIGRAFI CEKUNGAN BARITO						
UMUR	STRATIGRAFI	KOLOM STRATIGRAFI	LITOLOGI	FASIES	TEBAL (m)	
KUARTER	ALLUVIUM		Depositi sungai dan rawa			
PLIOSEN	FORMASI DAHOR		Batuan klasik, konglomerat, batupasir, batu lanau dan batulempung.	LOWER DELTA PLAIN	Lebih dari 840	
			Seam batubara berketebalan 30 - 40 m, interbedded dari batulempung calcareous dan pasir halus.	UPPER DELTA PLAIN	850	
	MIOSEN	ANGGOTA TENGAH		Lapisan tebal dari sangat halus hingga kasar, batulanau, batulempung, dan beberapa seam batubara, konglomerat sebagai dasar.	LOWER DELTA PLAIN	500
				Lapisan tebal dari sangat halus hingga kasar, batulanau, batulempung, dan beberapa seam batubara, konglomerat sebagai dasar.	LOWER DELTA PLAIN	600
		ANGGOTA BAWAH		Serpilh, kadang kadang calcareous, pasir halus dan marl.	DELTA FRONT	450
				Marl, lempung, lanau dan interbedded dari lapisan batugamping tipis, berisi pita-pita batubara.	PRODELTA	225
	OLIGOSEN	FORMASI BERAI		Batugamping kristalin, interbedded lapisan tipis marl.	PRODELTA	600
				Marl, batugamping, serpilh, lanau dan beberapa interbedded seam batubara.	PRODELTA	250
	EOSEN	FORMASI TANJUNG		Interkalasi dari serpilh dan pasir dengan beberapa seam batubara tipis.	MARINE	900
				Serpilh, pasir dan konglomerat	DELTA FRONT	
PRATERSIER	BASEMENT PRATERSIER		Serpilh, kuarsil dan batuan beku			

Figure 1. Barito Basin Stratigraphy (Anonymous, 2013)

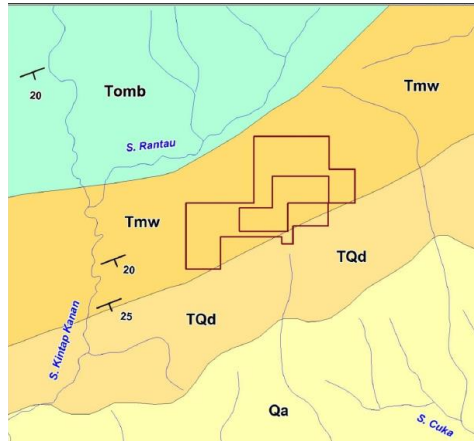


Figure 2 Geologic map of Sungai Cuka, Kintap, in Regency of Tanahlaut, South Kalimantan and the study area in Warukin Formation (Anonymous, 2013)

T_{Qd} = Dahor Formation ; T_{mw} = Warukin Formation as coal bearing formation; T_{omb} = Berai Formation; Q_a = alluvial deposits

The cores were studied for presence of fissures or jointing during geotechnical logging. The study showed that fissures and joints were frequent in the cores in the boreholes. Based on the characteristics of the borehole cores, the formation mainly consists of weathered claystones, silty and sandy claystones, and carbonaceous claystones with several intercalated coal

seams. This stratified rock formation at the site is a part of south flank of a gently to moderately folded fold caused by a weak to moderate tectonic activity. The dip ranges from 20° to 25° to the southeast direction.

Zakaria *et al.* (2013) explained about the needs to correct the slope mass rating

(SMR) for the design of open pit coal mine due to variability of rock and soil engineering characteristics in nearby area of Sangasanga, East Kalimantan.

According to Irsyam, M., *et al.*, (2010) Indonesia is divided into 6 seismic zones giving peak horizontal ground accelerations for use in stability calculations. The accelerations in those zones vary between 0.05g to 0.30g. The axis of the central zone of highest acceleration of 0.30 g is in central Sulawesi almost parallel to the east coast of Kalimantan. Along this coast the acceleration is of 0.10 g of seismic zone 2. The Kintap area is located in seismic zone 1 of zero to 0.05g. This coefficient is generally for relatively small structures with their main axis normal to the seismic wave. This acceleration should therefore be used for local and bench failures. The analysis of slope stability in the study area is carried out being conditioned in seismic loading at $\alpha = 0.05$ resulting in slightly lower safety factor values.

METHODOLOGY

Slope Stability Analyses

The stability of a slope depends on driving style and the style of the existing retaining the sliding plane in the slope. The driving force such as gravity, the force due to the acceleration of blasting and / or seismic, while the forces retaining the form of shear force, cohesion and shear strength. If the driving force is greater than the force retaining the slope unstable and landslides. But when the retaining force is greater than the driving force, then the slope is stable and will not be a landslide. If viewed from a small element that sits on a sloping sliding plane. The small element will move toward the lower left. When the driving force is composed of the heavy elements and the slope of the incline little larger than the retaining force in this case consists of the surface roughness and the slope of the sliding plane, then a small element face contact with the sliding plane can be considered as limiting balance. Furthermore, the method adopting this principle is called Limit Equilibrium Method.

If a set of small elements that form a larger mass, the stability of the masses can be analyzed based on the limit equilibrium method. At either open pit coal, minerals, or other such mass regarded as either

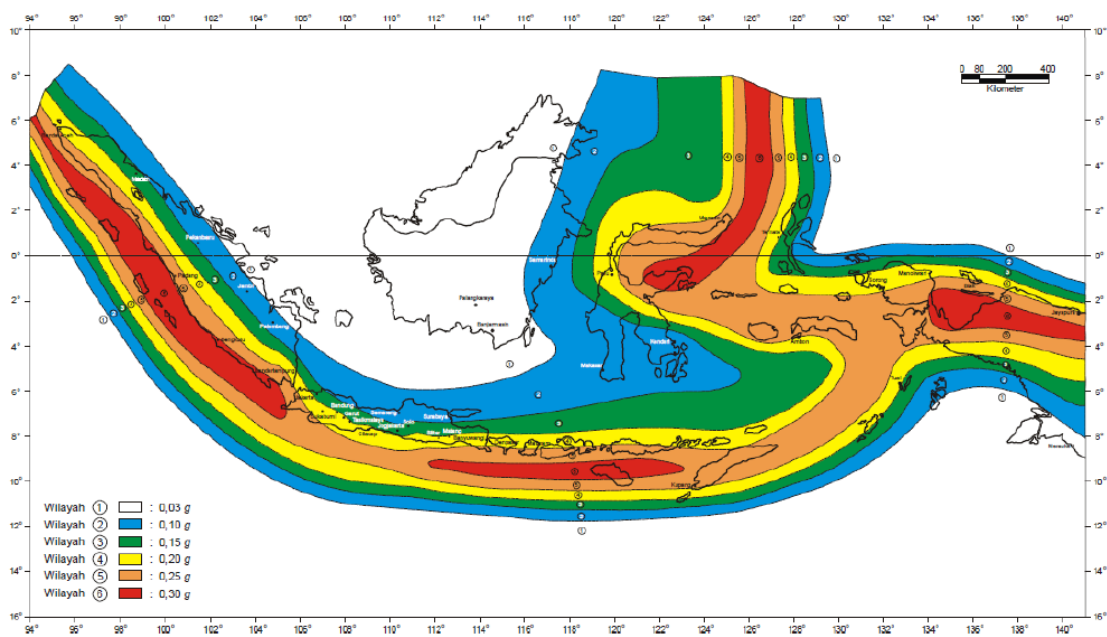


Figure 3 Seismic hazard map of Indonesia (Irsyam, *et al.*, 2010)

insitu or embankment slopes. Slope stability analysis by the limit equilibrium method only uses static equilibrium conditions, and ignore the stress-strain relationships that exist within the field of avalanche slopes and geometry must be known or determined in advance. The determination of the geometry of the landslide field greatly affect the results of the calculation of slope stability analysis. SF on the limit equilibrium method is calculated using force equilibrium or balance moments, or using both the equilibrium conditions depending on the method of calculation used. In determining SF there are some static equations are used and include:

- The sum of force in the vertical direction for each slice that is used to calculate the normal force at the base of the wedge.
- The sum of force in the horizontal direction for each slice that is used to calculate the normal force between the slices.
- The sum of moments for the whole slices resting on one point.
- The sum of force in the horizontal direction for the whole slice.

Figure 4. above describes a rock that has discontinuous field (weak field), which works normal stress and shear stress so that cracks in the rock field and a discontinuous shift. Shear stress required to fracture the rock and shift will increase

in accordance with increasing normal stress. This relationship can be seen in the graph in which linearly formed a line with a slope angle of ϕ to the horizontal. This angle is called the angle of friction inside. When the normal voltage is made zero and then given shear rock to rock begins to crack, then the value of shear stress needed when rocks began to crack is the value of the cohesion of the rock. The relationship between shear strength (τ) and normal stress (σ) is expressed by the following equation:

$$\tau = C + \sigma_n \tan \phi$$

If a mass weighing W is above an inclined plane with an area A at an angle α to the horizontal and in a state of equilibrium, then the working components of the forces as shown in Figure 4 Normal stress can be expressed as follows:

$$\sigma_n = \frac{(W \cos \alpha)}{A}$$

By subsidizing the above equation is obtained:

$$\tau = c + \frac{(w \cos \alpha)}{A} \tan \phi$$

Given $F = \tau \times A$, then the anchoring force F_p is:

$$F_p = c.A + (w \cos \alpha) \tan \phi$$

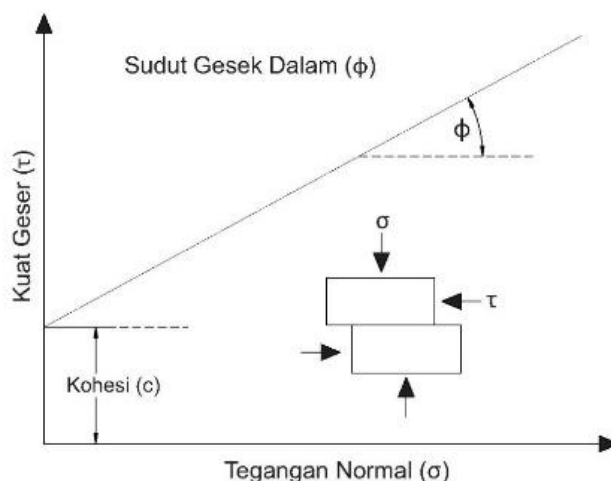


Figure 4. A description of rock that has a discontinuous field

Based on the limit equilibrium law, large retaining force is proportional to the big driving force, then:

$$w \cdot \sin \alpha = c \cdot A + (w \cos \alpha) \tan \phi$$

If there is no cohesive force ($c = 0$), which works on the basis of the beam then the equilibrium conditions can be simplified $\alpha = \phi$

Analysis of Variance

The purpose of this analysis is to test whether the data follow a normal distribution or not, as a condition of a test using parametric methods. Suppose there is a random sample of observations x_1, x_2, \dots, x_n . Based on these observations sample to be tested whether the data is normally distributed or not. The steps of the test are as follows:

- Specify the null hypothesis, normal distribution of data, and the alternative hypothesis data is not normally distributed
- Sort data observations (x_i) data from the smallest to the largest data then calculate each raw numbers by using the following formula:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad \text{where} \quad \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{and} \quad s = \frac{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

- Calculate the odds $F(z_i)$ using the standard normal distribution list
- Calculate the proportion of z_1, z_2, \dots, z_n that is less than or equal to z_i . or can be calculated by:

$$S(z_i) = \frac{z_1, z_2, \dots, z_n \text{ where } \leq z_i}{n}$$

- Compute the difference $F(z_i) - S(z_i)$ and define the absolute price
- Take the largest value (called D_{max}) and then compare it with the value of Lilliefors (L) table
- Reject H_0 if $D_{max} \geq L$, received in other cases.

The research steps follow the order of the methodology as follows:

- (1) For each rock formation rock geotechnical mapping studies

conducted with reference based on the classification by Dearman (1991), in order to obtain geotechnical rock units according to the ranking of each in detail. Likewise, for every soil mapping with reference to the Unified Soil Classification System (USCS).

- (2) On the map of the location of the prospective mine made measure section of pit the high (pit high-wall slope overalls or HW), then plotted the locations of points geotechnical drilling for geotechnical studies in the prospective opening of the mine (pit). Likewise the low overall wall slope or LW.
- (3) Of the several existing geotechnical drill point at about candidates HW and LW obtained in the form of cylindrical drill core samples of rock have been drilled represent geological conditions below the surface. Each drill results are presented as log geotechnical drilling (geotechnical drilling logs).
- (4) Some samples of drill core representing sent to the laboratory of soil mechanics and rock to be tested physical properties and mechanics, which will be used as data for analysis of slope stability HW and LW, also simulated to obtain the slope geometry-thorough ranging from the surface to a depth maximum (about 100 metert) stable under static conditions, dewatering, and an earthquake, but still supports the opening of the mine (pit) to stay productive but safe on slope.
- (5) Then, testing the hypothesis based on the analysis of slope stability for the sample group as follows: a) slope static conditions without dewatering, b) the slope on the condition of the earthquake on the condition without dewatering, c) slope static condition and dewatering, and d) the slope on earthquake conditions and dewatering

RESULTS AND DISCUSSIONS

The research location is an area of mining and oil palm plantations. Small rivers or creeks cut sites. Stream-flow patterns are

mostly intermittent, but in some places is perennial and dendritic. This indicates that the soil surface resistance to erosion varies, depending on the host rock and residual soil origin.

Kintap area is located in the Regency of Tanahlaut, which has tropical climate with wet and humid conditions and rainfall variations between 92.00 mm / month (August) to 393.00 mm / month (April) (according to the rainfall data for 1960-1990). The average monthly temperature ranged between 19.50°-33.70°C.

Data reconstruction for strike and dip of bedding planes of the formation showed that the rock layers are folded up gently to moderate as the configuration of the structural geology. Strike of the layering of several outcrops oriented toward the southwest-northeast with dips 20° to 25° to the southeast. The result of engineering geological mapping (figure 5) shows the distribution of soil types of high plasticity inorganic clay (CH) and poorly graded sand (SP).

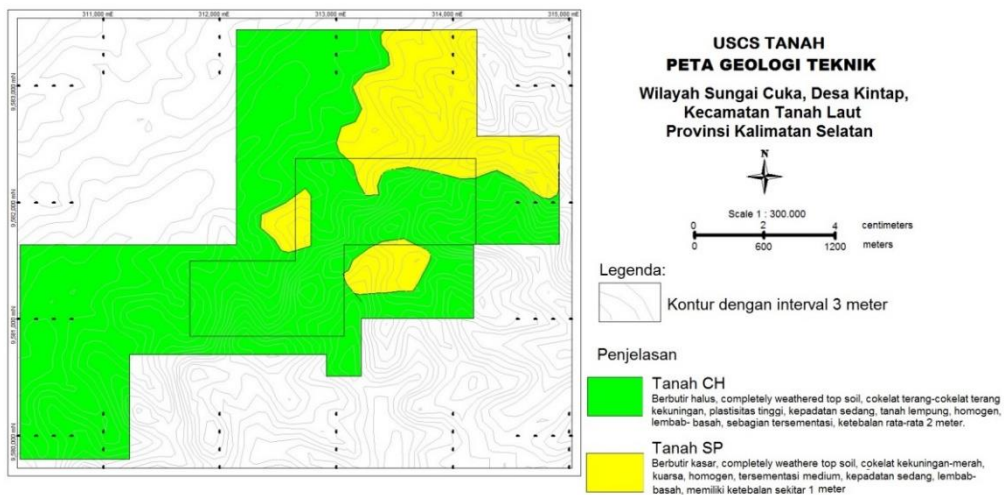


Figure 5. Engineering geological map of the study area around the study area

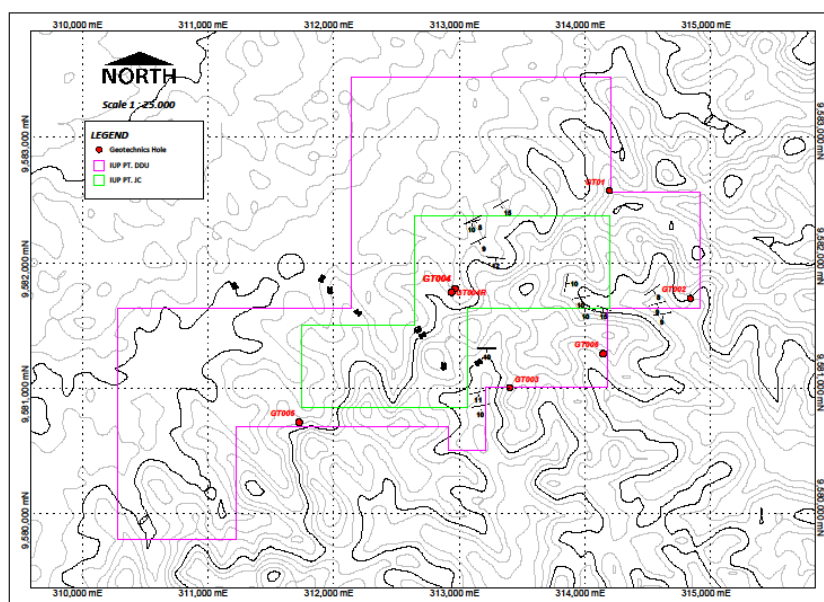


Figure 6. Geotechnical drilling holes distribution in the study area

Geotechnical drilling log (drill holes) GT.01, GT.02, GT.03., GT.04R, GT.05, and GT.06 represents the state of the subsurface geology mostly composed of intercalation between sandstone, claystone and coal seams. The geotechnical characteristics of the rocks based on the uniaxial compressive strength (UCS) values versus depth indicate that the nature of the rock mass tend to be weak. The rock mass is unstable for steep slopes. Figure 6. presents the variation of UCS value of rock along with the increasing depth in the drill hole. Classification of cohesive soil and rock by uniaxial compressive strength (modification of Hoek and Bray, 2005) were used to classify the mass of soil and rock.

Dig ability assessed by standard graph RQD (Rock Quality Designation) of the UCS. Graph rock split into five classes: two classes to fracture blast, blast up to loosen, rip and direct excavation with a value of less than 1 MPa UCS and certain RQD values of log wells, then this field can be classified in five classes that allow direct excavation without blasting or ripping.

Limit equilibrium analyses were conducted to determine the safety factor against slope failure during mining and operation of heavy mine vehicles. The analyses were conducted using available two-dimensional approach, limit equilibrium software, SLIDE. The method of slope stability analysis used was soil slope stability because the material properties or

core samples coming from 6 boreholes in research area presented by their UCS values are for soil and moderately weak rock mass. The principles underlying the method of limit equilibrium analysis of slope stability are presented below.

1. A slip mechanism of slope failure is postulated;
2. The shear resistance required to equilibrate the assumed slip mechanism is calculated by means of statics (in a state of balance, motionless);
3. The calculated shear resistance required for the equilibrium is compared with the available shear stress in terms of factor of safety FS;
4. The slip mechanism with the lowest factor of safety is determined through iteration;
5. The lowest value of FS of slope design should be larger than a critical value according to design criteria to keep the slope in a stable condition; and
6. Design criteria for the stability condition should involve rainy season (saturated soil/rock of slope) and seismic or earthquake loading at peak local acceleration. But, because local acceleration is nearly zero in Kalimantan region, the analyses of slope stability are carried out to test if the overall slopes are safe.

Factor of safety is used to account for the uncertainty and variability in the strength and pore water pressure parameters, and to limit deformation.

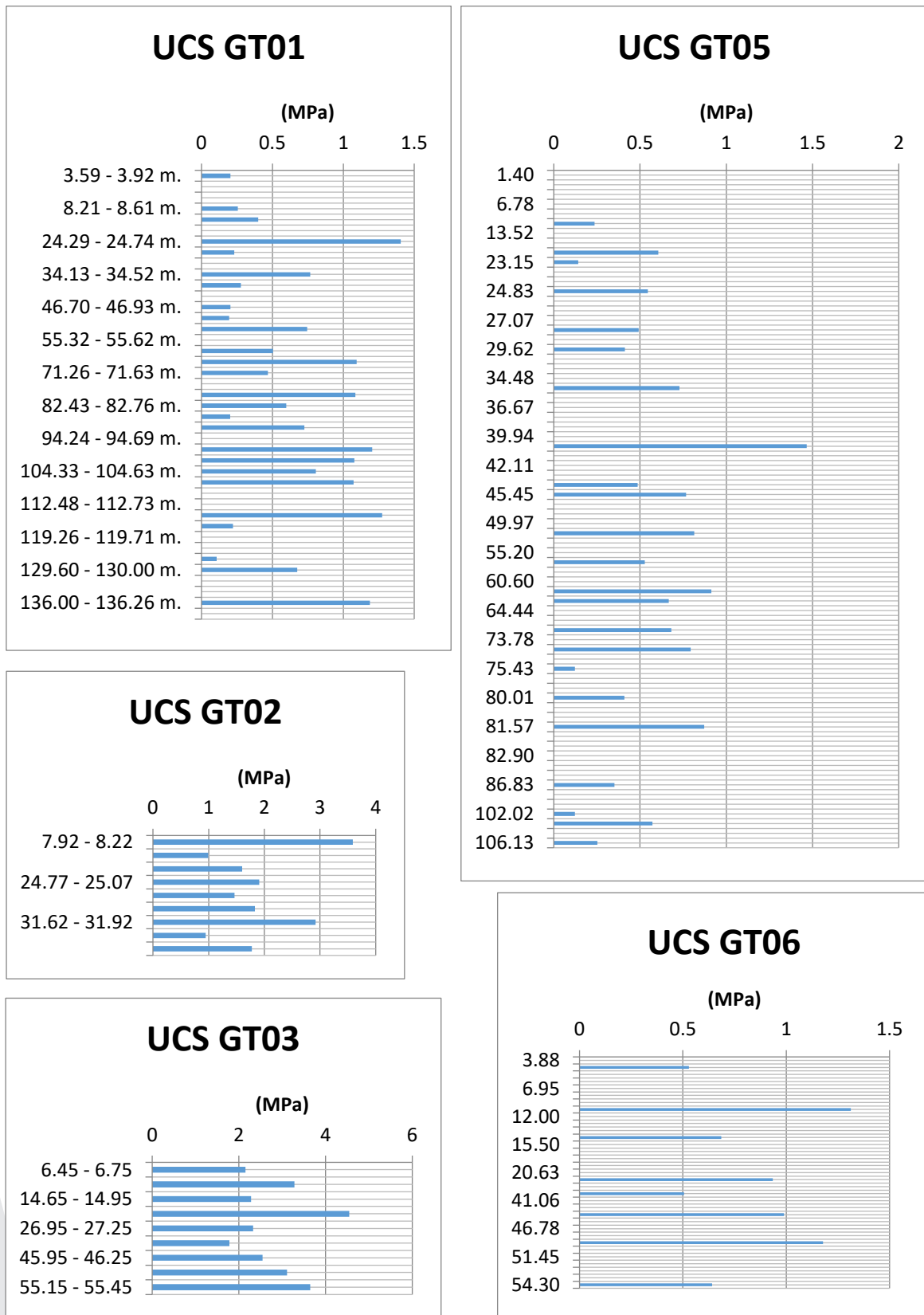


Figure 7. Values of UCS compressive strength versus depth

Slope stability analysis according to Hoek & Bray (2005) were conducted for the deepest cross sections of the open pit. The soils and rocks constructing the open-pit cut slopes were inferred, being based on the results of drilling represented by borehole logs, to be clays and silts of high plasticity, grading into alternation of soft claystones and thin bedded sandstones with coal seams intercalation. These rock mass properties act as soil mass of weak strength as mentioned earlier.

Design criteria of a stable cut overall slope should be achieved through simulation and iteration in the process of slope stability analyses. This design criteria used as a guideline in open pit mining is listed below in Table 1.

For more convenience in Figure 8 up to 11 as the results of analysis and simulation of all slope sections mentioned above variation of slope angle and height of the slope sections, both at static and pseudo static condition (at earthquake load) at $\alpha =$

0.005 g (slightly larger than acceleration originated by heavy vehicles or mining equipment's), including the safety factor obtained are presented, slope stability model below (figure 8).

Based on the results of statistical tests and simulation of slope stability with static conditions, without / with dewatering, without / with the PGA (Pseudostatic condition at earthquake load). Indicates that proved the previous deduction that PGA, dewatering, and both these factors affect the overall slope safety factor-high wall open pit, as follows

- As a result of the seismic (PGA) safety factor overall slope open pit decreased;
- As a result of dewatering slope safety factor increased, more stable;
- The positive role of dewatering, although due to seismic (PGA) safety factor remained stable for overall slope.

Table 1. Design criteria for Factor of Safety (SF)

Stability Condition	Minimum Design Factor of Safety
Long Term Deep Seated Stability (static condition)	1.30
Stability at seismic loading condition (pseudo-static condition)	1.05

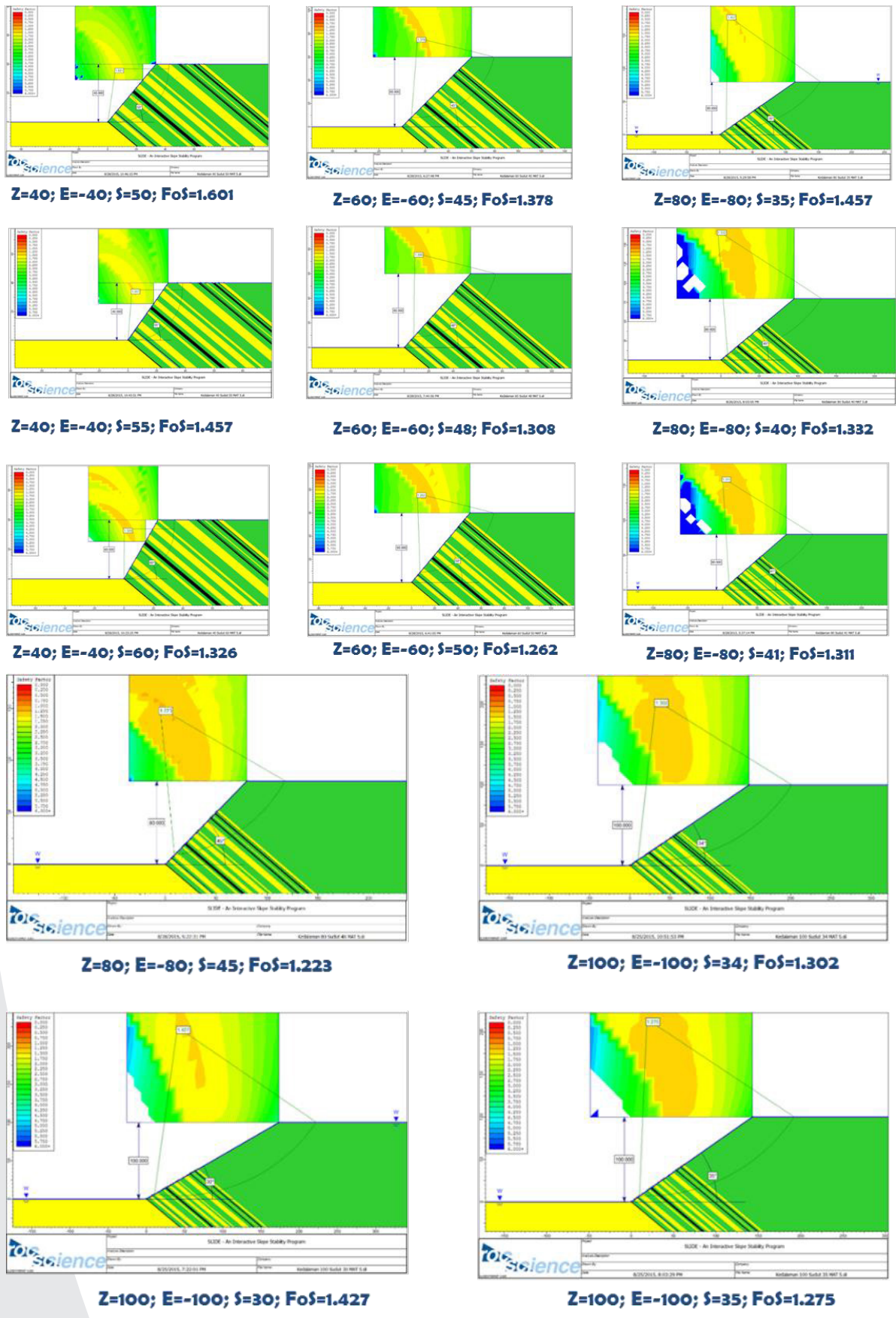


Figure 8. Static condition vs. without Dewatering

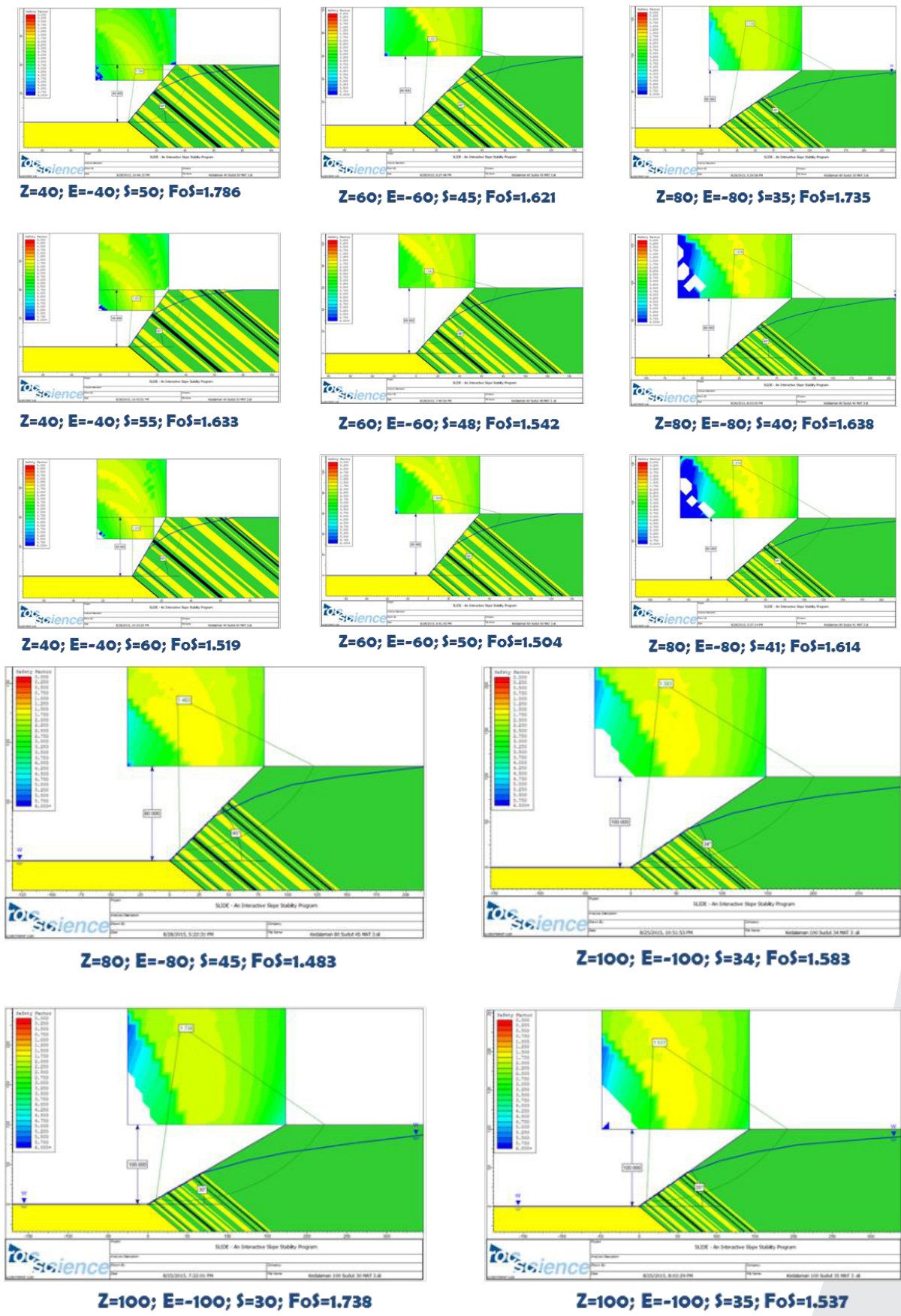


Figure 9. Static condition vs. with Dewatering

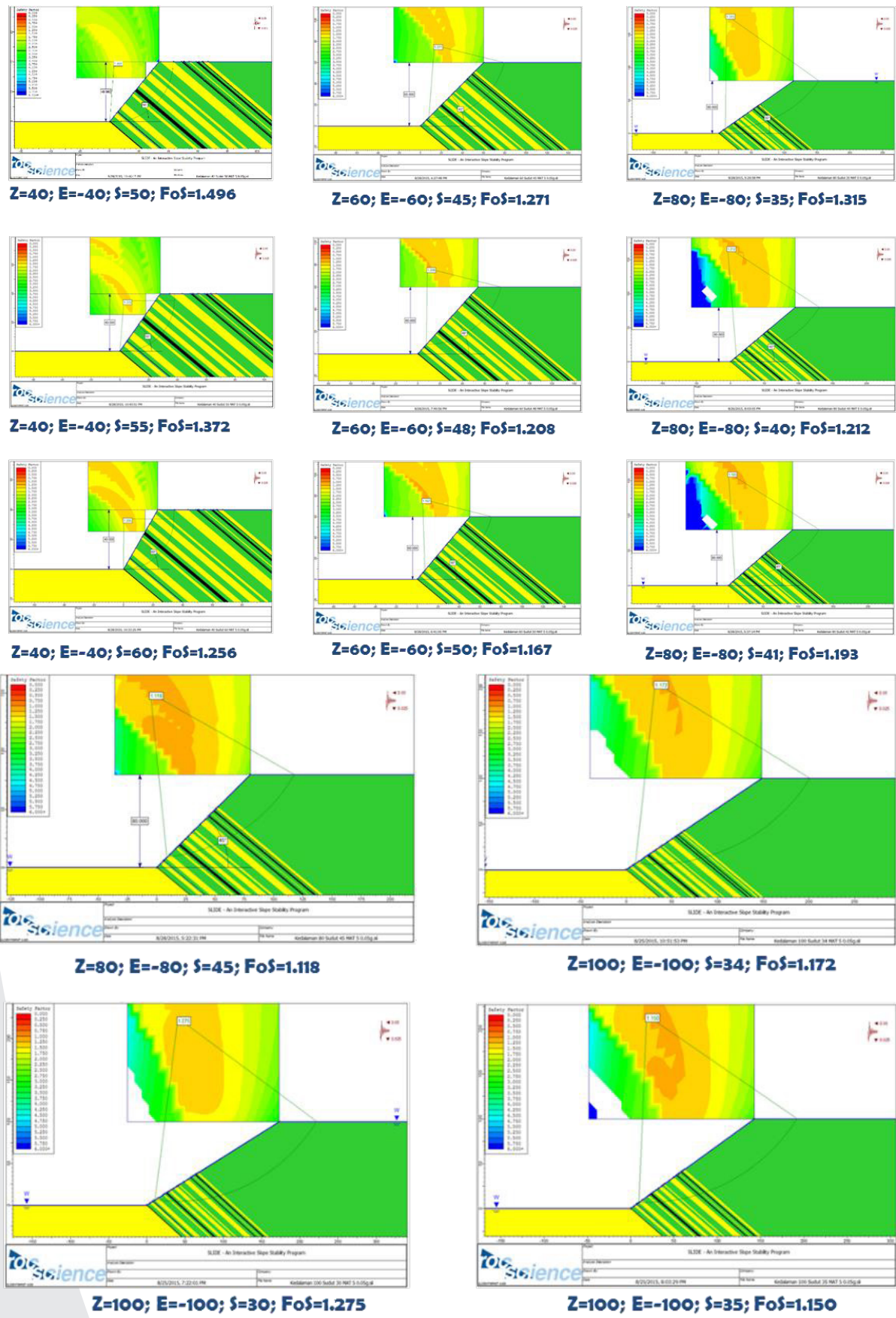


Figure 10. Pseudostatic condition (at earthquake load) vs. without Dewatering

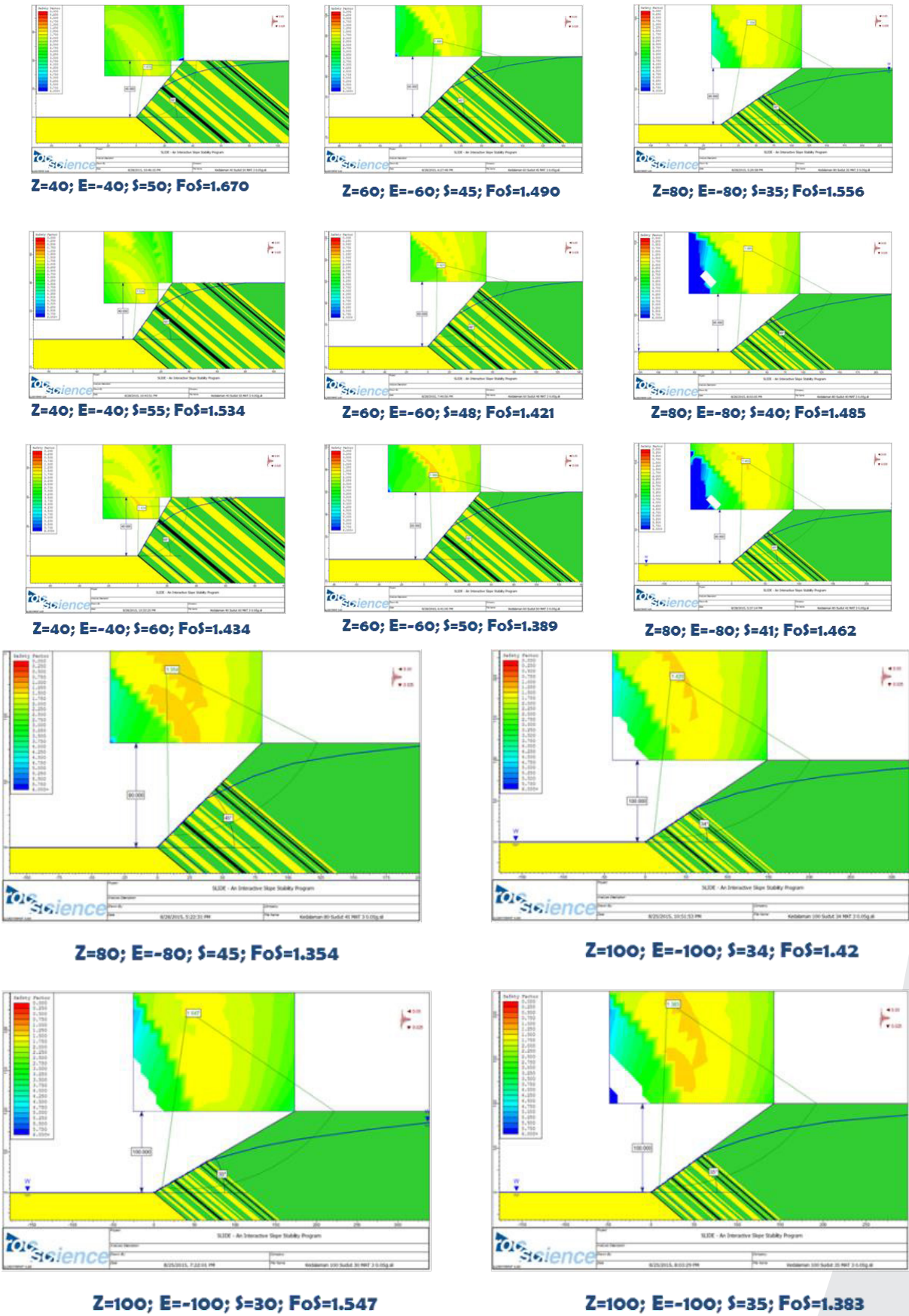


Figure 11. Pseudostatic condition (at earthquake load) vs. without Dewatering

Curves illustrating relation or correlation of depth of pit and angle of slope at stable conditions, without and with dewatering or both at groundwater level 5 and 4 (GWL/MAT 5 and GWL/MAT 4) conditions, are presented in Figure 12. below. The curves represent depth of pit from the surface (crest of highwall) up to the floor of pit at about 135 meters depth.

angle of slope at stable conditions. This has resulted that in this research with SF acceptable, but is still limited to representative of Warukin Formation. Continued research into a number of other open pit mines with different formations can be done to obtain a more comprehensive picture about the suitability of the criteria that have been proposed.

Curves of MAT/GWL 5 and MAT/GWL 4 in figure 12 connecting every plotted points show that depth increases with decreasing

Depth vs slope at $F_s > 1.3$

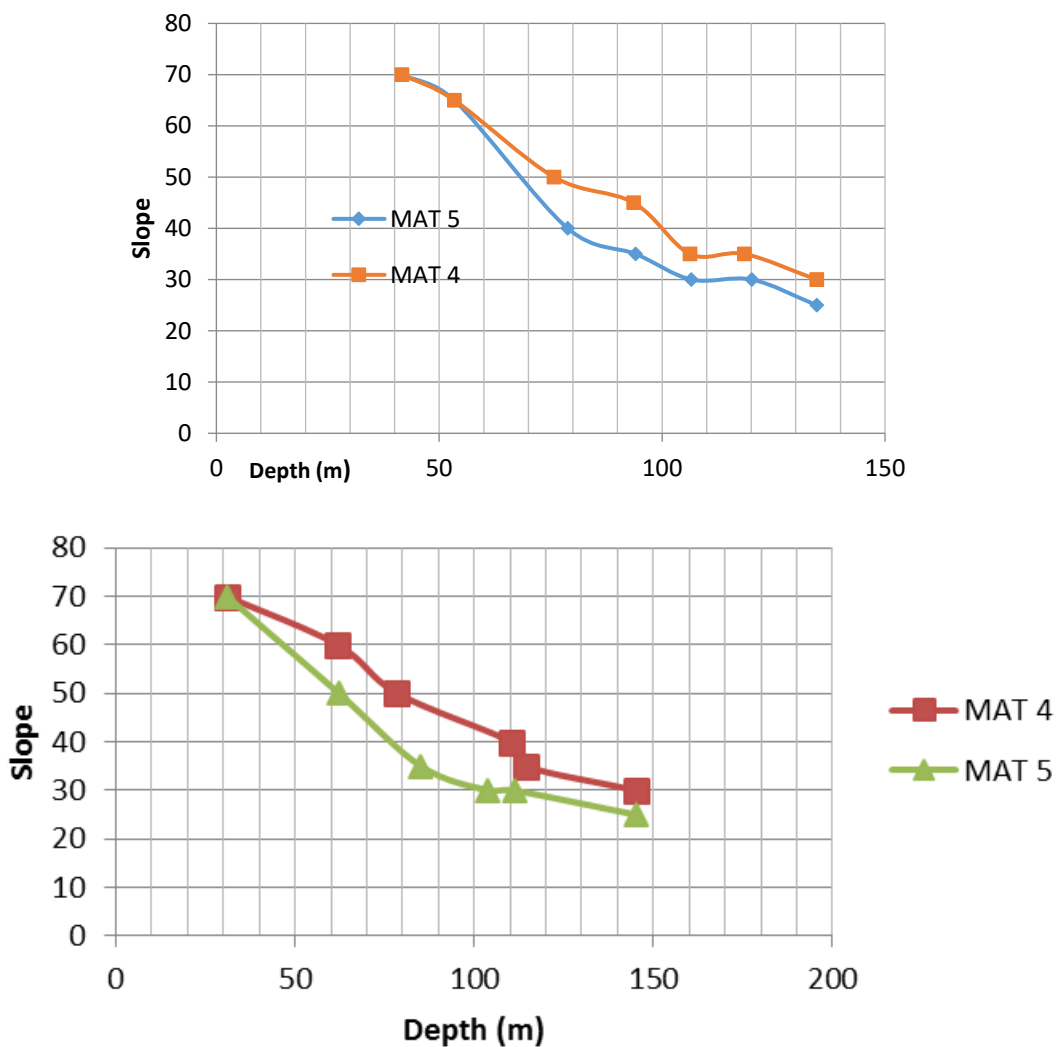


Figure 12. Cross plot of depth versus slope at stable condition or at F_s larger than 1.3 for highwall slope on section GT.04R at static condition. Curve of MAT (groundwater level) 5 is for slope without dewatering, whereas curve MAT (groundwater level) 4 is slope with dewatering

Table 2. Matrix of statistical test results:

No	Hypothesis	Test Methods	Statistical Tests	Criteria	Decision	Results
1	Seismic has no effect on Slope Safety Factor (SF). It is characterized by the absence of mean difference between the SF in static conditions with SF on seismic conditions, without dewatering	Mean Difference test, Pair samples	$t_{hit}=11.830$	$t_{crit}=2.101$	Rejected H_0	There are differences between SF in static conditions with SF on seismic conditions without dewatering
2	Dewatering has no effect on SF. It is characterized by the absence of mean difference between SF in a static condition without dewatering, with SF on the condition of the seismic in a state with the dewatering half of slope height	Mean Difference test, Independent Samples	$t_{hit}=-4.218$	$t_{crit}=2.101$	Rejected H_0	There are differences between the SF in static conditions, without dewatering, the SF in static conditions in a state with the dewatering half of slope height
3	Dewatering and seismic have no effect on the FS. It is characterized by no mean difference between FS in static condition without dewatering and the FS seismic conditions with dewatering	Mean Difference test, Independent Samples	$t_{hit}=1.664$	$t_{crit}=2.101$	Accepted H_0	There is no difference between the SF in static condition without dewatering with the SF on the seismic conditions in conditions with dewatering
4	Depth correlation with slope angle on Warukin Formation in static conditions (without dewatering)	Regression-correlation Analysis	$r=-0.9635$ $t_{hit}=-8.0504$	$t_{crit}=2.5706$	Rejected H_0	There is a correlation between the depth and the slope angle on Warukin Formation in static conditions (without dewatering)
5	Depth correlation with Slope Safety Factor of Warukin Formation in static conditions (without dewatering)	Regression-correlation Analysis	$r=-0.3778$ $t_{hit}=-0.9123$	$t_{crit}=2.5706$	Accepted H_0	There is no correlation between the depth and the Slope Safety Factor of Warukin Formation in static conditions (without dewatering)
6	Depth correlation with Slope Safety Factor of Warukin Formation on seismic conditions (without dewatering)	Regression-correlation Analysis	$r=0.0551$ $t_{hit}=-0.1234$	$t_{crit}=2.7764$	Accepted H_0	There is no correlation between the depth and the Slope Safety Factor Warukin Formation on seismic conditions (without dewatering)
7	Depth correlation with slope angle on Warukin Formation in static conditions (with dewatering half of the height slope)	Regression-correlation Analysis	$r=-0.9688$ $t_{hit}=-8.7357$	$t_{crit}=2.5706$	Rejected H_0	There is a correlation between the depth and the slope angle of Warukin Formation, in static conditions

CONCLUSIONS

From the discussions above it can be concluded that dewatering process had lowering the groundwater level (GWL) in the slope body. GWL existence raises pore water pressure which decreases the stability of the slope or the measured slope safety factor decreased, due to the durability of sliding along the sliding plane decreases. Thus in contrary, dewatering will increase the safety factor of the slope.

The safety factor is the ratio between the minimum shear resistant force (shear strength or resisting moment) with thrust shear (shear stress or driving moment) along the sliding plane. Earthquake-resistant has lowered shear force, and simultaneously increase the thrust sliding at the same time, so the safety factor of the slope decrease suddenly.

The stability of slope decreases as a result of the earthquake, but dewatering improve slope stability. Thus the slope of the dewatering conditions will be kept stable through simulation to anticipate the earthquake.

The results of this research are also expected to be useful as a reference for geotechnical studies in various locations of Warukin Formation, as carrier of coal in Kalimantan and elsewhere.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank IBP for the support of this research program.

REFERENCES

Anonymous, 2013, *Report on Geotechnical and Hydrological Study of Kintap Area, South Kalimantan*. Unpublished report.

- Asrurifak, M., Irsyam, M., Budiono, B., Triyoso, W., Hendriyawan., 2010, *Development of Spectral Hazard Map for Indonesia with a Return Period of 2500 Years using Probabilistic Method*, Civil Engineering Dimension, Vol. 12, No. 1, March 2010, 52-62 ISSN 1410-9530 print/ISSN 1979-570X online
- Dearman, W.R., 1991, *Engineering Geological Mapping*, Butterworth-Heinemann
- Giani, G.P., 1992, *Rock Slope Stability Analysis*, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 7, 39, 45 – 46, 281 -290.
- Hirnawan, F., 1993, *Ketanggapan Stabilitas Lereng atas tanaman keras, hujan, dan gempa*, PhD thesis in the Universitas Padjadjaran, Unpublished.
- Hoek E., and Bray J., 2005, *Rock Slope Engineering – Civil and Mining*, 4th edition, Taylor & Francis Group.
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E.K., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010, *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Liliefors, H.W., 1967. *On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with mean and variance unknown*, Journal of The American Statistical Association. Vol. 62, No. 318, Jun.1967, pp. 339 - 402
- Steffen, O.K.H, 1997, *Planning of Open Pit Mines on a Risk Basis*, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp.47-56.
- Zhang, J., Tang, W.H. and Zhang, L.M. (2010), *Efficient Probabilistic Back-Analysis of Slope Stability Model Parameters*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, January, pp 99-109.
- Zufialdi Zakaria, Dicky Muslim, & Irvan Sophian, 2012, *Koreksi SMR Pada Desain Lereng Tambang Terbuka Batubara Pada Formasi Balikpapan & Formasi Kampungbaru, Sangasanga, Kalimantan Timur*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 7 Nomor 3 – 2012,hal.147–157

Diterima	: 25 Februari 2016
Direvisi	: 4 April 2016
Disetujui	: 17 Mei 2016

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini kami ucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas revidi-revidi yang kritis terhadap makalah-makalah dalam edisi ini. Secara khusus terima kasih kami untuk Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc, atas telaah yang kritis terhadap tulisan mengenai mineral, panas bumi dan geoteknik, dan juga atas saran-sarannya bagi perbaikan buletin ini.

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 11 Nomor 1, 2016

ISSN 1907 - 5367

INDEKS PENULIS

Agus W Oscar
Program Pasca Sarjana Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: oscar.agus@yahoo.co.id

Bronto Sutopo
PT ANTAM Tbk Unit Geomin
Jl. Letjen TB Simatupang No. 1, Lingkar
Selatan, Tanjung Barat, Jakarta
Email:

Dede Iim Setiawan
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email:

Dicky Muslim
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: d.muslim@unpad.ac.id

Euis T. Yuningsih
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: etintiny@yahoo.com

Febri Hirnawan
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email:

Fiandri I. Rinawan
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email: fiandriir_geounpad07@yahoo.com

Hans Elmaury Andreas Siregar
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: hans.elmauri@gmail.com

Harta Haryadi
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman No. 623
Bandung
Email: hartah@tekmira.esdm.go.id

Lano Adhitya Permana
Pusat Sumber Daya Geologi
Jln. Soekarno Hatta no. 444 Bandung
Email: lano.adp@gmail.com

Mega F. Rosana
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email:

Nana Sulaksana
Fakultas Teknik Geologi
Universitas Padjadjaran, Jatinangor,
Sumedang
Email:

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 11 Nomor 1, 2016

ISSN 1907 - 5367

INDEKS KATA KUNCI

Analisis Multivariat 41
Dampak Perekonomian 25
Dewatering 55-57, 61, 65-71
Epitermal sulfida tinggi 41-43, 53
Finite difference 15-17
Geokimia tanah 41, 42, 44, 49, 53
Granit 1-13
Ground Penetrating Radar 15, 16, 24
Kepulauan Bangka Belitung 1
Multi-unsur 41-42
Numerical simulation 15-17, 22, 24
Overall Slope 55-57, 63, 65
Panas Bumi 1, 2, 11, 12
Peak Ground Acceleration 55, 56
Permis 1-4, 6, 9-12
Processing technique 15, 17, 23
Produk domestik regional bruto 25, 31, 35, 36
Radio Aktif 1, 2, 11, 12
Safety Factor 55-57, 59, 63, 65, 70, 71
Sarolangun 41, 42, 44, 53
Smelter nikel 25, 32
Sulawesi Tenggara 25-27, 39

BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : Mei 2016

ISSN 1907 - 5367

DDC: 552.322.1

Lano Adhitya Permana dan Dede Iim Setiawan
(Pusat Sumber Daya Geologi)**KARAKTERISTIK GRANIT DALAM PENENTUAN SUMBER PANAS PADA SISTEM PANAS BUMI DAERAH PERMIS, KABUPATEN BANGKA SELATAN, PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2016 Vol. 11 No. 1 Hal. 1 - 13

Kegiatan penelitian di daerah Permis, Kepulauan Bangka Belitung difokuskan pada kehadiran intrusi batuan granit pada sistem panas bumi daerah Permis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik granit dan hubungannya terhadap pembentukan sistem panas bumi Daerah Permis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa pengamatan dan pengambilan contoh di lapangan serta analisis laboratorium dari aspek megaskopis, mikroskopis dan geokimia batuan. Granit di daerah penelitian bersifat peraluminous, mengandung unsur radioaktif di dalam mineral monasit, diklasifikasikan ke dalam granit tipe S dan terbentuk pada tataan tektonik continental collision. Sistem panas bumi daerah Permis berasosiasi dengan aktivitas unsur radioaktif yang terkandung dalam intrusi granit dan menghasilkan akumulasi energi panas.

Kata kunci: Granit, Permis, radioaktif, panas bumi, Kepulauan Bangka Belitung

DDC: 543.2

Hans Elmaury Andreas Siregar
(Pusat Sumber Daya Geologi)**GROUND PENETRATING RADAR DATA ANALYSIS BY USING MODELLING WITH FINITE DIFFERENCE METHOD: CASE STUDY IN BELAWAN PORT**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2016 Vol. 11 No. 1 Hal. 15 - 24

Ground Penetrating Radar (GPR) is one of non destructive geophysics methods which is appropriate used to identify subsurface object with depth penetration less than 70 meter. High data resolution as well as relatively unprolonged and manageable data acquisition make this method becoming convenient supporting method to increase near surface data for other geophysics methods. The depth penetration of GPR varies with the frequency of antenna. Getting optimum depth penetration before field

acquisition data some numerical simulation should be accomplished in order to perceive antenna frequency and processing technique that used, so the depth of target zone can be achieved. The Finite Difference (FD) is one of numerical analysis technique that mostly used to determine differential equation. By using FD method, the solution of electromagnetic waves equation can be obtained and the image of numerical simulation can be displayed. In line with this radar image from numerical simulation, the relationship of frequency and depth penetration on the media used is acquired. Media used in this simulation are sand, clay, sandy clay, clayey sand and concrete. Through numerical simulation from this research, we conclude that GPR method able to distinguish boundary layer among each medium. Processing technique is accomplished to comprehend suitable processing stages for high resolution radar image that can be interpreted. Data acquisition and processing technique from simulation have been implemented in field experiment and very helpful to apprehend GPR characteristic signal in subsurface map in Belawan port.

Keywords: Ground Penetrating Radar, numerical simulation, finite difference, processing technique.

DDC: 622.548

Harta Haryadi
(Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara)**ANALISIS DAMPAK PEMBANGUNAN SMELTER NIKEL TERHADAP PEREKONOMIAN DAERAH DI PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2016 Vol. 11 No. 1 Hal. 25 - 39

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak pembangunan smelter nikel di Provinsi Sulawesi Tenggara terhadap perekonomian, dengan menghitung Produk Domestik Regional Bruto Metodologi yang digunakan terdiri dari survei langsung terhadap beberapa perusahaan tambang nikel yang dijadikan studi kasus dan ditambah dengan studi pustaka untuk memperkaya hasil penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rencana pembangunan smelter nikel ini memberikan dampak yang positif bagi perekonomian Provinsi Sulawesi Tenggara yang meningkat sebesar Rp. 85,22 triliun, serta memberikan kesempatan lapangan kerja baru sebanyak 8.100 orang yang secara tidak langsung akan meningkatkan kemampuan daya beli masyarakat.

Kata kunci: Dampak perekonomian, produk domestik regional bruto, smelter nikel, sulawesi tenggara.

DDC: 543.06

Fiandri I. Rinawan, Mega F. Rosana, dan Euis T. Yuningsih
(Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran)
Bronto Sutopo
(PT ANTAM Tbk Unit Geomin)

PENDEKATAN STATISTIK MULTIVARIAT TERHADAP DATA GEOKIMIA TANAH MULTI-UNSUR UNTUK MENGIDENTIFIKASI MINERALISASI AU-CU EPITERMAL SULFIDA TINGGI DI DAERAH PROSPEK "X", KECAMATAN BATANG ASAI, KABUPATEN SAROLANGUN, PROVINSI JAMBI

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2016 Vol. 11 No. 1 Hal. 41 - 54

Analisis statistik multivariat dilakukan terhadap data analisis kimia multi-unsur conto tanah menutupi endapan mineral yang menempati litologi batuan vulkanik Formasi Hulu Simpang berumur Oligosen Akhir - Awal Miosen, terletak di daerah Prospek "X", Kabupaten Sarolangun, Jambi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara Au dan Cu dengan unsur-unsur lain agar dapat teridentifikasi kemungkinan mineralisasi Au-Cu endapan sulfida tinggi dari data geokimia tanah. Penelitian ini difokuskan pada 12 unsur terdiri Au, Ag, Hg, Te, Sb, As, Bi, Cu, Pb, Zn, Sn, dan Mo. Hasil analisis kimia 376 conto tanah kisi dari daerah penelitian dengan luas berkisar 5,3 km² disajikan dengan menggunakan statistik multivariat yang terdiri analisis korelasi dan analisis klaster hirarki. Kedua metode statistik multivariat tersebut mengindikasikan kompilasi hasil analisis yang

bersifat representatif yaitu Klaster I Cu-As-Sb-Te dengan nilai korelasi berkisar 0.50-0.93 dan Klaster II Au-Bi dengan nilai korelasi 0.26; adapun yang bersifat tidak representatif yaitu Klaster III Pb-Mo-Zn dengan nilai korelasi berkisar 0.09-0.10 dan Klaster IV Sn-Hg-Ag dengan nilai korelasi berkisar 0.02-0.25. Klaster I dan II berkaitan dengan kumpulan asosiasi unsur indikasi mineralisasi Au-Cu epitermal sulfida tinggi. Daerah mineralisasi ini tersusun oleh ubahan argilik lanjut dari breksi vulkanik, tuf, andesit, dan dasit; serta dicirikan oleh kehadiran mineral bijih enargit, luzonit, kalkopirit, arsenopirit, dan kovelit.

Kata kunci: Analisis Multivariat, Multi-Unsur, Geokimia Tanah, Epitermal Sulfida Tinggi, Sarolangun

DDC: 622.333.006

Agus Wiramsya Oscar
(Program Pasca Sarjana Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran)
Dicky Muslim, Nana Sulaksana, Febri Hirnawan
(Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran)

RESPONSE OF STABLE OVERALL SLOPE GEOMETRY OF OPEN PIT COAL MINE IN WARUKIN FORMATION TO DEWATERING AND PEAK GROUND SEISMIC IN SOUTH KALIMANTAN, INDONESIA

Buletin Sumber Daya Geologi

BSDG Mei 2016 Vol. 11 No. 1 Hal. 55 - 72

Understanding of the response of the mine slope stability is very important regarding the safety of life and investment / productivity / environment, as anticipation of landslide prevention based on the latest research. Mine slope behavior previously discussed widely in terms of the response due to dewatering and seismic (Peak Ground Acceleration) as well through verification. This paper aims to obtain a broad dimension of design criteria that are not only unstable slopes, but the slope is stable under various conditions of the rock mass saturation (dewatering) and seismic condition. Response of slope stability per geotechnical rocks unit from different formations or any engineering formation as a result of environmental influences, for example, the same quake, will be different. This means that the geometry of the same slope in other formation will have different stability conditions (safety factor of the slope) due to the same seismic acceleration. This is also similar due to dewatering. The method used for this study is the deductive-probabilistic method with a hypothetical verification approach. The Standard statistical analysis is used to test the data normality and homogeneity, average and independent differences, as well as regression-correlation test. The research results show that dewatering activity can decrease ground water level (GWL/MAT) of the slope, so the durability of sliding along the sliding plane is reduced (increasing slope safety factor). At the same time earthquake reduces shear strength and increases driving force, so the safety factor of the slope suddenly downs. Slope stability decreased due to the earthquake, but dewatering improves slope stability. Thus, the slope in dewatering conditions will be kept stable through simulation to anticipate earthquake.

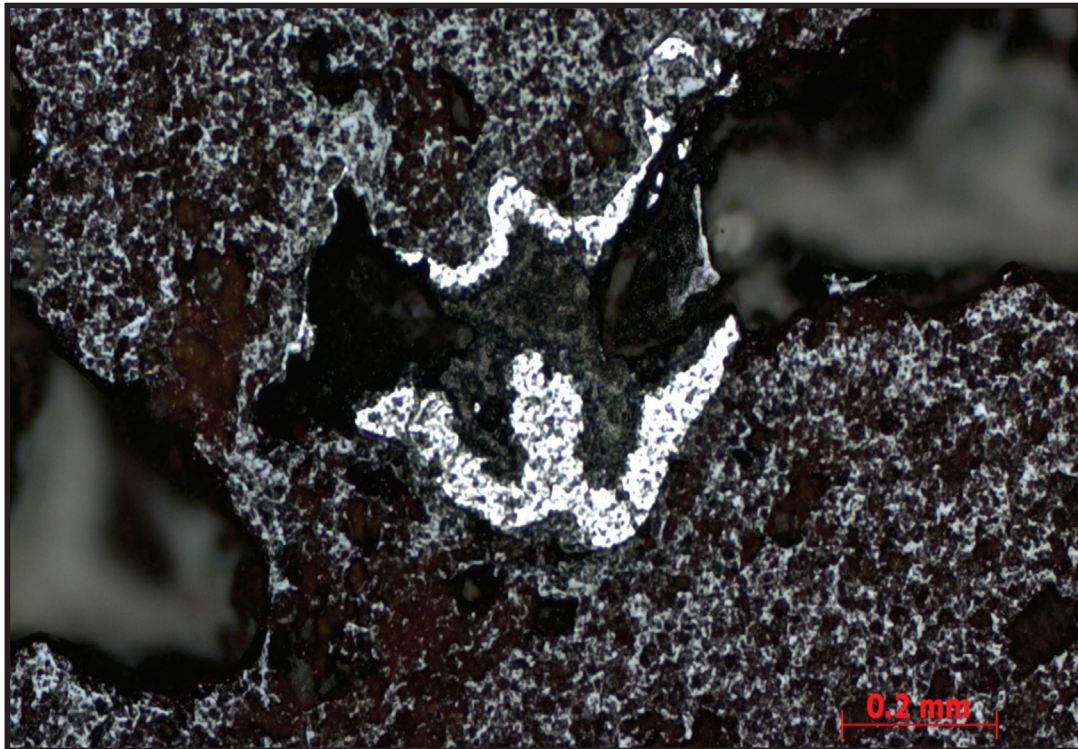
Keywords: Overall slope, Safety Factor, dewatering, Peak Ground Acceleration



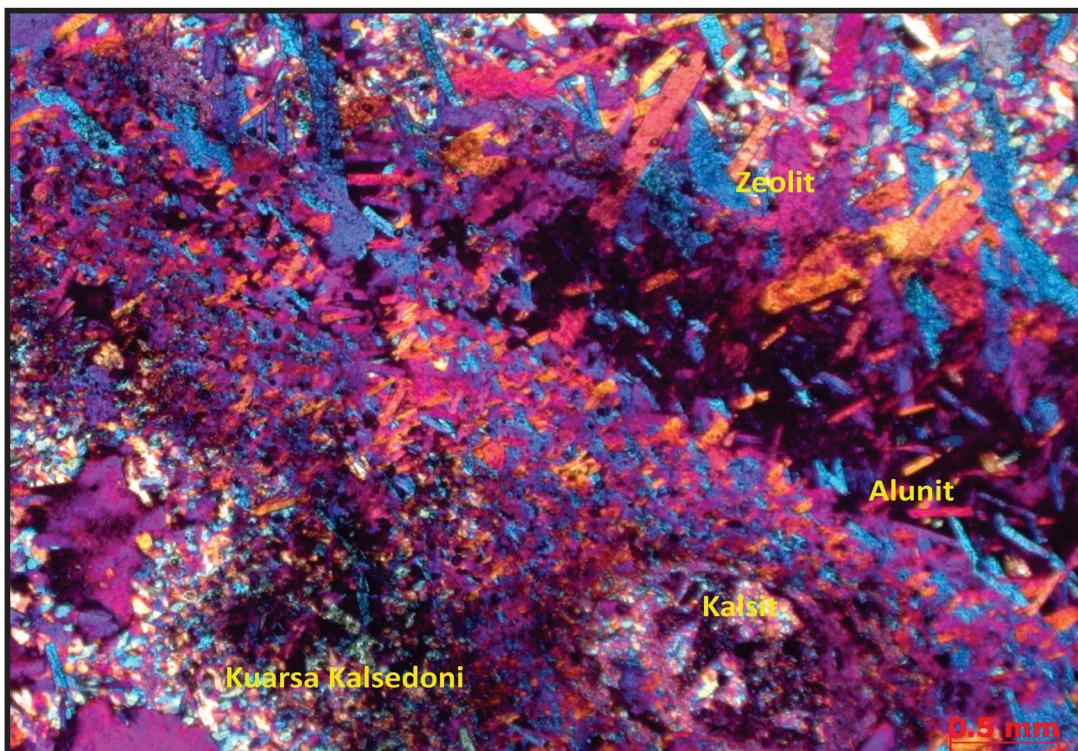
Kegiatan Survei Prospeksi Mineral Logam di Kabupaten Humbang Hasundutan, Provinsi Sumatera Utara. (Candra)



Suasana Pagi hari di lokasi pemboran dalam CBM dan Batubara di Daerah Tamiang Layang, Kabupaten Barito Timur, Provinsi Kalimantan Barat. (Raden Maria Ulfa)



Fotomikrograf sayatan poles psilomelan ($\text{BaMn}_9\text{O}_{16}(\text{OH})_4$) dalam massa batuan dengan tekstur colloform. Dharmasraya, Sumatera Barat. (Lia Novalia Agung)



Fotomikrografi mineral alterasi alunit berasosiasi dengan kalsit, zeolit dan kuarsa kalsedoni di sumur pemboran SMN-1, Daerah Panasbumi Sumani, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. (Sukaesih)



Galian bekas tambang emas rakyat di Dusun Sepan,
Desa Malenggang, Kabupaten Sanggau.
(Agata Vanessa)



Singkapan batubara multiseam, Daerah Bonehau, Provinsi Sulawesi Barat.
(M. A. Ibrahim)



Singkapan Bijih Besi dan Mangan mengisi rekahan pada batuan vulkanik teralterasi di Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu, Lampung. (Hartaja Muhamad Hatta Wicaksono)



Singkapan Zeolit di Kabupaten Polewalimandar, Provinsi Sulawesi Barat. (Ganjar Labaik)



Singkapan Laminasi Bijih Besi dan Mangan di Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu, Lampung (Hartaja Muhamad Hatta Wicaksono)



Hamparan travertine deposit di sebelah danau biru yang menyerupai bentukan punden berundak, Daerah panas bumi Dolok Marawa, Kabupaten Simalungun, Provinsi Sumatera Utara. (Toni Rahadinata)



Fenomena pusaran batuan pada batupasir Formasi Pedawan,
Quarry Entikong, Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat.
(Bambang Pardiarto)



Metasedimen Formasi Pedawan yang terlipat dan tersesarkan, Entikong,
Kabupaten Sanggau, Provinsi Kalimantan Barat. (Bambang Pardiarto)



Batugamping pada Formasi Maluwi, dimanfaatkan sebagai bahan galian untuk pondasi jalan pada perkebunan sawit. (Dede Ibnu)



Singkapan Batubara di sungai daerah Muarauya, Provinsi Kalimantan Selatan. (M. A. Ibrahim)

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 dialih bahasa/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 *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 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faxsimile serta email.
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 hingga 6 kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan <i>italic font</i> .

PEDOMAN PENULIS

III	Pendahuluan (<i>Introduction</i>)	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 sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.
IV	Metode (<i>Method</i>)	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.
V	Hasil dan Analisis (<i>Results and Analysis</i>).	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. <i>Font</i> huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum 6 <i>point</i> .
VI	Pembahasan atau Diskusi (<i>Discussion</i>).	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.
VII	Kesimpulan dan Saran (<i>Conclusions and Recommendation</i>)	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VIII	Ucapan Terima Kasih (<i>Acknowledgements</i>)	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.
IX	Acuan (<i>References</i>)	Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir (<i>surname</i>), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring (<i>italic font</i>)

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 mengubah 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 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi
Bagian Tata Usaha, 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



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

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.geologi.esdm.go.id/>
Email: buletinpsdg@gmail.com

