

POTENSI ZEOLIT DI DAERAH SANGKAROPI-MENDILA, TANA TORAJA, SULAWESI SELATAN

Oleh : W. Kartawa dan K. Darwin Kusumah *)

SARI

Batuan induk zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila berupa tuf litik dan tuf kaca yang terubah, termasuk ke dalam Batuan Gunung Api Lamasi berumur Oligosen.

Zeolit ini berasal dari abu gunung api dengan keterlibatan proses hidrotermal. Hal ini ditunjukkan oleh hadirnya mineral ubahan hidrotermal seperti klorit, epidot, mineral lempung, karbonat dan silika.

Sembilan belas percontoh batuan telah dianalisis secara petrografi, SEM, KTK ASD, XRD, XRF dan AAS. Berdasarkan hasil analisis petrografi dan SEM, zeolit ini termasuk jenis mordenit dan heulandit. Mordenit bertekstur sarang tikus dan serat, sedangkan heulandit berbentuk kristal *blocky monocline*, dengan nilai KTK mencapai 108,43 meq/100 gr. Berdasarkan hasil analisis ASD hanya tiga percontoh dan XRD satu percontoh yang terdeteksi mengandung mordenit. Hasil uji XRF menunjukkan kandungan SiO_2 (62,69%-81,03%), Al_2O_3 (9,90%-19,82%), CaO (0,10%-0,22%), Na_2O (0,12%-4,32%), K_2O (0,63%-6,88%) dan LOI (1,26%-12,62%). Zeolit Sangkaropi-Mendila dengan sumber daya sekitar 168.480.000 ton pada daerah seluas 360.000 m² ini, dapat digunakan dalam bidang perikanan (budi daya udang), pertanian, penyerap limbah, dan bidang industri lainnya.

Kata kunci : Zeolit, mordenit, heulandit, Sangkaropi, Mendila

ABSTRACT

The parent rock of zeolite at the Sangkaropi-Mendila area is composed of altered lithic and glassy tuffs, which is included within Lamasi Volcanic of Oligocene age.

The zeolit was originated from volcanic ash with involvement of hydrothermal process. It is indicated by the presence of hydrothermally altered minerals such as chlorite, epidote, clay mineral, carbonate and silica.

Nineteen rock samples have been analysed for petrography, SEM, CEC, ASD, XRD, XRF and AAS. Petrographic and SEM analyses show that the types of zeolites are mordenite and heulandite. The mordenite is characterized by textures of rat's nest and fibres, while the heulandite has a blocky monoclinic crystal texture with CEC up to 108,43 meq/100 g. Only three samples of ASD and one sample of XRD treatment contain composition of mordenite. Results of the XRF analysis show contents of SiO_2 (62,69%-81,03%), Al_2O_3 (9,90%-19,82%), CaO (0,10%-0,22%), Na_2O (0,12%-4,32%), K_2O (0,63%-6,88%) and LOI (1,26%-12,62%). A total resource of 168.480.000 tons of Sangkaropi-Mendila zeolite was identified within an area of 360.000 m², offering a good prospect to the sectors of fishery, agriculture, waste handling and other industry.

Keywords : Zeolite, mordenite, heulandite, Sangkaropi, Mendila

PENDAHULUAN

Indonesia berada dalam wilayah rangkaian gunung api mulai dari Sumatera, Jawa, Nusantara, Maluku sampai Sulawesi. Beragam jenis batuan gunung api yang dihasilkan, di antaranya berupa batuan piroklastika tuf berbutir halus yang bersifat asam dan bersusunan dasit-riolit atau bermasa kaca gunung api. Tuf halus ini tersebar luas mengikuti jalur

gunung api tersebut yang sebagian atau seluruhnya telah mengalami proses ubahan atau diagenesis menjadi zeolit. Karenanya, secara geologis Indonesia berpotensi besar untuk menghasilkan zeolit, terutama di Sulawesi. Lokasi keterdapatan zeolit yang telah diketahui secara umum di Sulawesi adalah Propinsi Sulawesi Selatan (Kabupaten Tana Toraja, Kabupaten Jeneponto) dan Propinsi Sulawesi Barat (Kabupaten Mamasa, Kabupaten Majene). Namun baru dua lokasi/daerah yang telah diteliti

*) Pusat Survei Geologi

secara rinci, yakni daerah Messawa, Kabupaten Mamasa, Propinsi Sulawesi Selatan (kini Sulawesi Barat) (Kartawadri, 2004) dan daerah Sangkaropi-Mendila, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan.

Zeolit Sangkaropi-Mendila, yang menjadi bahasan dalam tulisan ini termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Sa'adan, Kabupaten Tana Toraja. Daerah ini berjarak sekitar 355 km sebelah utara Kota Ujungpandang dengan koordinat 157°-158°15' BT dan 2°50'45"-2°52" LS, sebagian kecil, yakni bagian timur laut termasuk Kabupaten Luwu (Gambar 1).

Zeolit merupakan senyawa alumina hidrat dengan logam alkali, termasuk ke dalam kelompok mineral yang terdiri atas beberapa jenis (*species*) (Madiadipoera dr., 1990). Mineral ini biasa dijumpai dalam sedimen piroklastika berukuran halus bersusunan riolitik. Sifat zeolit sebagai penyerap dan penyaring memiliki kapasitas pertukaran kation (KTK) atau *cation exchange capacity* (CEC) relatif tinggi berkisar antara 80 hingga 200 meq/100 gram. Secara kimia mineral zeolit mempunyai ion alkali dan mempunyai kandungan air dalam kristal. Kation-kation yang terdapat dalam rongga mineral zeolit tidak terikat kuat dalam kerangka kristalnya, sehingga dapat bertukar dengan mudah. Apabila mineral dipanaskan, maka air kristalnya mudah menguap, sehingga bekas gugus air dalam zeolit membentuk lubang-lubang atau saluran mikro ke segala arah. Struktur bersifat pori ini yang menyebabkan zeolit mempunyai kemampuan menyerap dan menyaring molekul (komunikasi tertulis, Husaeni, TekMIRA, 2004). Struktur dalam zeolit sangat kompleks, sehingga dikenal juga sebagai mineral yang "multistruktur". Selain itu, zeolit dikenal juga sebagai mineral "multiguna", karena banyak digunakan dalam bidang industri (Haryadi, 2002). Kegunaan zeolit antara lain untuk industri kertas, pengeringan makanan, pemurnian udara/oksigen, pengontrol polusi (limbah radioaktif, rumah tangga, penangkap gas SO₂, imbuhan makanan ternak, penghilang bau), pembebasan nitrogen amonia dari pabrik, pembebasan ion logam dari air, perikanan/tambak ikan/udang, pertanian dan industri-industri lainnya (Harjanto, 1987).

Pada umumnya zeolit dijumpai dalam tuf yang dibentuk melalui proses sedimentasi debu gunung api dan oleh ubahan akibat proses hidrotermal. Selain proses tersebut, zeolit dapat pula terbentuk oleh proses diagenetik (Arifin dan Bisri, 1995;

Suhala dan Arifin, 1997). Jenis mineral zeolit yang umum terdapat adalah klinoptilolit, mordenit, analsim, filipsit, smektit, dan heulandit. Zeolit di Indonesia didominasi oleh klinoptilolit dan mordenit dengan asosiasi mineral terdiri atas kuarsa, kristobalit, plagioklas, potas feldspar, illit, haloysit, dan kalsit (Hardjatmo dan Husaeni, 1997).

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui potensi, sebaran, sumber daya, mutu, dan kegunaan zeolit dalam bidang industri.

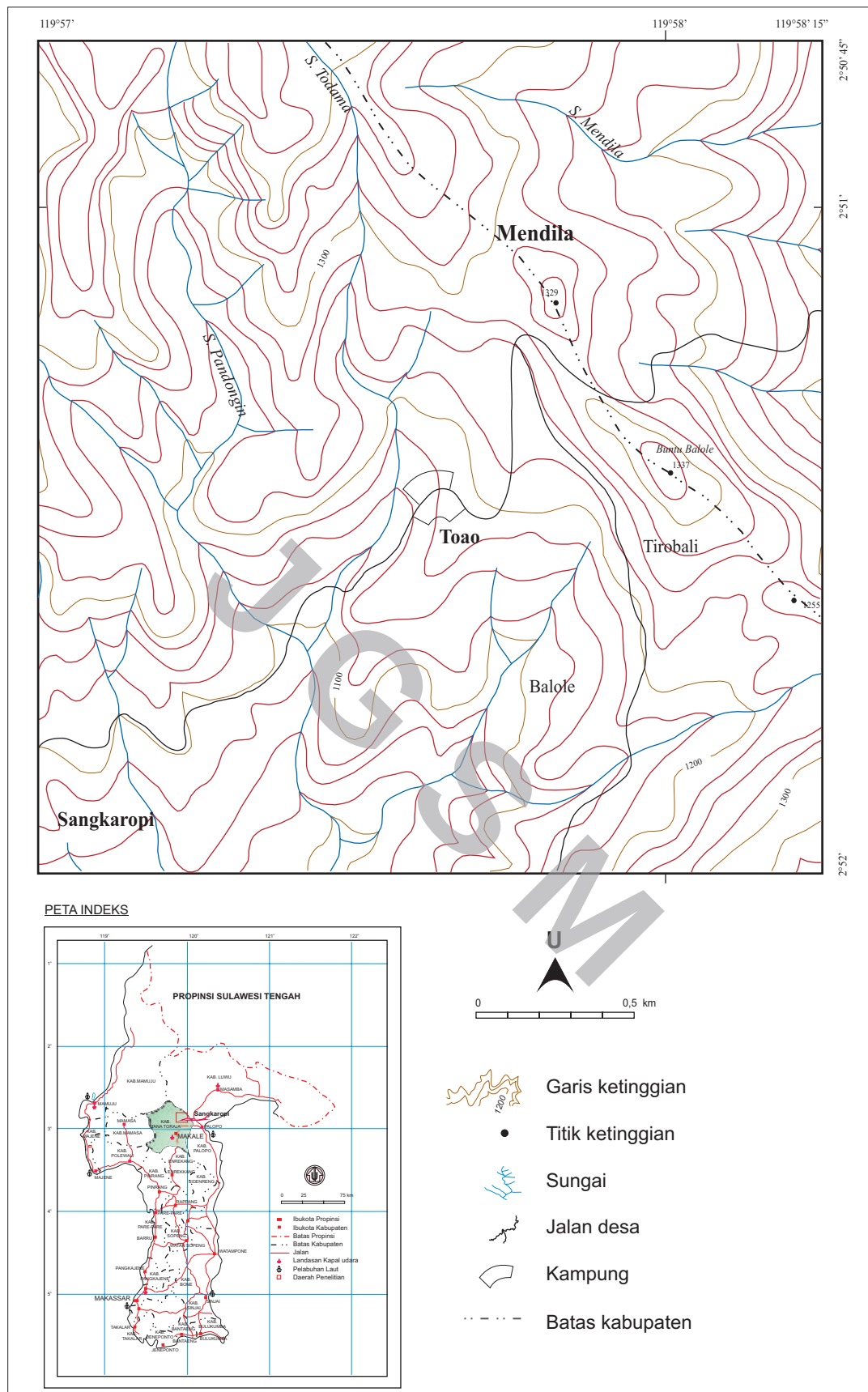
Makalah ini merupakan salah satu hasil kegiatan koordinator Eksplorasi dan Manajemen Endapan Plaser dan Mineral Industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun anggaran 2005.

METODE

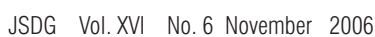
Metode penelitian zeolit di daerah Sangkaropi-Mendila ini, meliputi pencitraan *landsat* (TM-07+) skala nominal 1:100.000, pengamatan geologi secara umum, pembuatan lintasan-lintasan geologi, pengamatan geologi rinci, pembuatan penampang terukur dan sumur uji. Sebanyak limapuluh percontoh telah dikoleksi di lapangan. Dari sejumlah percontoh tersebut, sembilan belas percontoh terpilih telah dikirim ke Laboratorium Pusat Survei Geologi untuk analisis petrografi, *X-Ray Diffraction* (XRD), *X-Ray Fluorence* (XRF), *Analytical Spectral Devices* (ASD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), termasuk *EDX/Energy Dispersive X-Ray Spectrum*, dan *Cation Exchange Capacity* (CEC) atau KTK (Kapasitas Tukar Kation), sementara metode AAS dilakukan terhadap dua percontoh untuk mengetahui kandungan unsur runtu (*trace element*).

GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan peta geologi lembar Mamuju dan Palopo Bagian Barat skala 1:250.000, daerah penelitian ini dibentuk oleh Batuan Gunung Api Lamasi berumur Oligosen-Miosen (Djuri dr., 1998). Batuan ini terdiri atas tuf, lava dan breksi gunung api bersusunan andesitik-dasitik, setempat bersisipan batupasir gampingan dan serpih. Dilaporkan bahwa tuf di daerah ini telah berubah dan berwarna hijau, namun dalam laporan analisis petrografi dan kimianya tidak disinggung adanya mineral zeolit. Batuan terobosan berupa granit, granodiorit, riolit, dan aplit. Formasi/batuan lain yang terdapat di daerah ini secara rinci ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, daerah Sangkaropi-Mendila.



Ichihara dr. (1979) melaporkan, bahwa di daerah ini dijumpai tuf hijau yang telah mengalami ubahan dan mineralisasi, walaupun tidak secara tegas disebutkan sebagai zeolit. Penelitian yang mengarah pada endapan zeolit dilakukan oleh Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Sulawesi Selatan dan Tenggara (Anonim, 1997).

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan hasil penelitian lapangan, stratigrafi daerah penelitian terdiri atas (dari tua ke muda) satuan-satuan tuf terubah dan termineralisasi, tuf breksi, tuf litik zeolitan, dan batugamping (saling menjemari). Batuan-batuan tersebut termasuk ke dalam Batuan Gunung Api Lamasi berumur Oligosen-Miosen, serta batupasir Formasi Riu yang berumur Miosen Awal (Djuri dr., 1998) (Gambar 3).

Tuf terubah yang termineralisasi tersebar diantara Sangkaropi dan Toao, terutama di Sungai Pondungin dan Sungai Todama. Tuf ini berwarna abu-abu tua-abu-abu muda, sangat padu, berbutir sangat halus sampai sangat kasar. Ubahan yang terjadi pada tuf ini berupa silisifikasi dan kloritisasi dengan intensitas sedang sampai sangat kuat. Jenis mineralisasi mengandung terutama pirit dan kalkopirit dengan setempat terdapat urat-urat kuarsa termineralisasi, seperti dijumpai di perbukitan sebelah timur kampung Toao, yaitu di Buntu Pongpatora. Mineralisasi yang sangat kuat terdapat di daerah Sangkaropi berupa pirit, kalkopirit, bornit, dan mineral supergen (malakit, azurit).

Tuf breksi, berwarna abu-abu kecokelatan, kemas terbuka, terpilah buruk, disusun oleh tuf berbutir pasir dengan komponen tuf andesitik yang sangat padu (5-25 cm). Sebagian besar tuf ini, baik massa dasar maupun komponennya telah mengalami ubahan dan termineralisasi (pirit).

Tuf litik zeolitan, berbutir halus-sedang, warnanya bervariasi dari merah kecokelatan, abu-abu terang, hijau pucat sampai hijau gelap (hijau tua). Kandungan mineralnya didominasi oleh feldspar yang sebagian besar telah mengalami kaolinisasi kuat. Tuf ini tersebar di antara Bukit Toao dan Bukit Mendila. Di lereng Bukit Mendila, tuf ini disusun oleh perselingan antara tuf litik, tuf litik zeolitan

berbatuapung dan bagian paling bawahnya ditempati tuf litik - tuf kaca zeolitan.

Batugamping, putih kotor - putih keabuan, tidak berlapis, bersifat lempungan, mungkin termasuk ke dalam kategori *mudstone*. Satuan batugamping ini berhubungan menjemari dengan batuan gunung api dan Anggota Batugamping Batuan Gunung Api Lamasi (Ratman dan Atmawinata, 1993).

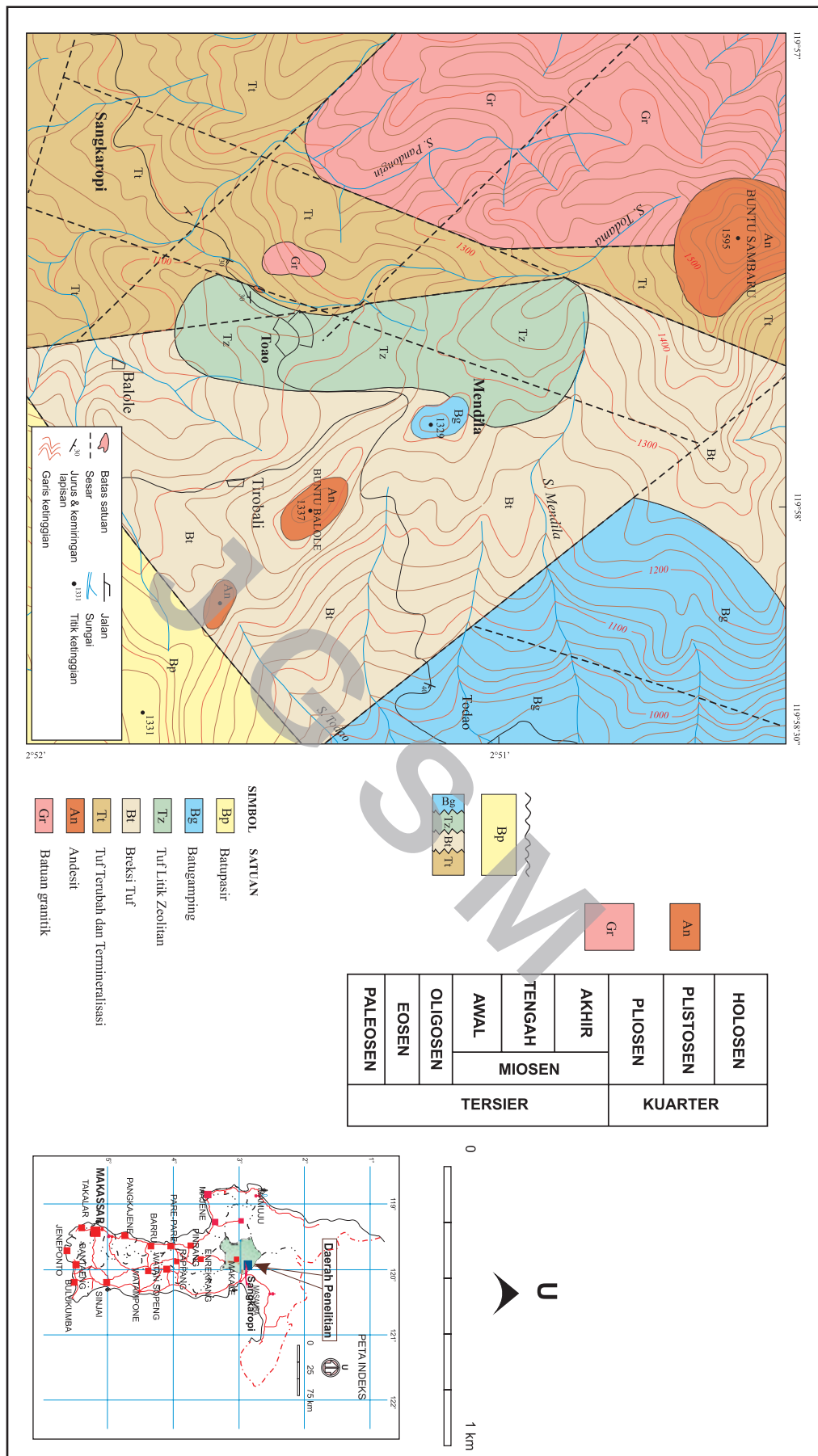
Batupasir, berwarna abu-abu gelap, berlapis sangat baik, sebagian menyerpih, dan sedikit karbonan, dijumpai di bagian tenggara. Satuan ini termasuk ke dalam Formasi Riu berumur Miosen Awal (Djuri dr., 1998) yang menempati bagian tenggara daerah penelitian.

Batuan terobosan yang tersingkap berupa andesit dan granit. Andesit bertekstur porfiritik dengan fenokris felspar, horeblend dan piroksen disertai pirit. Andesit ini menerobos granit di Sungai Todama dan satuan tuf terubah. Granit berwarna abu-abu keputih-putihan sampai coklat kemerahan, mengalami pelapukan sangat kuat sehingga sulit untuk pemercontohan.

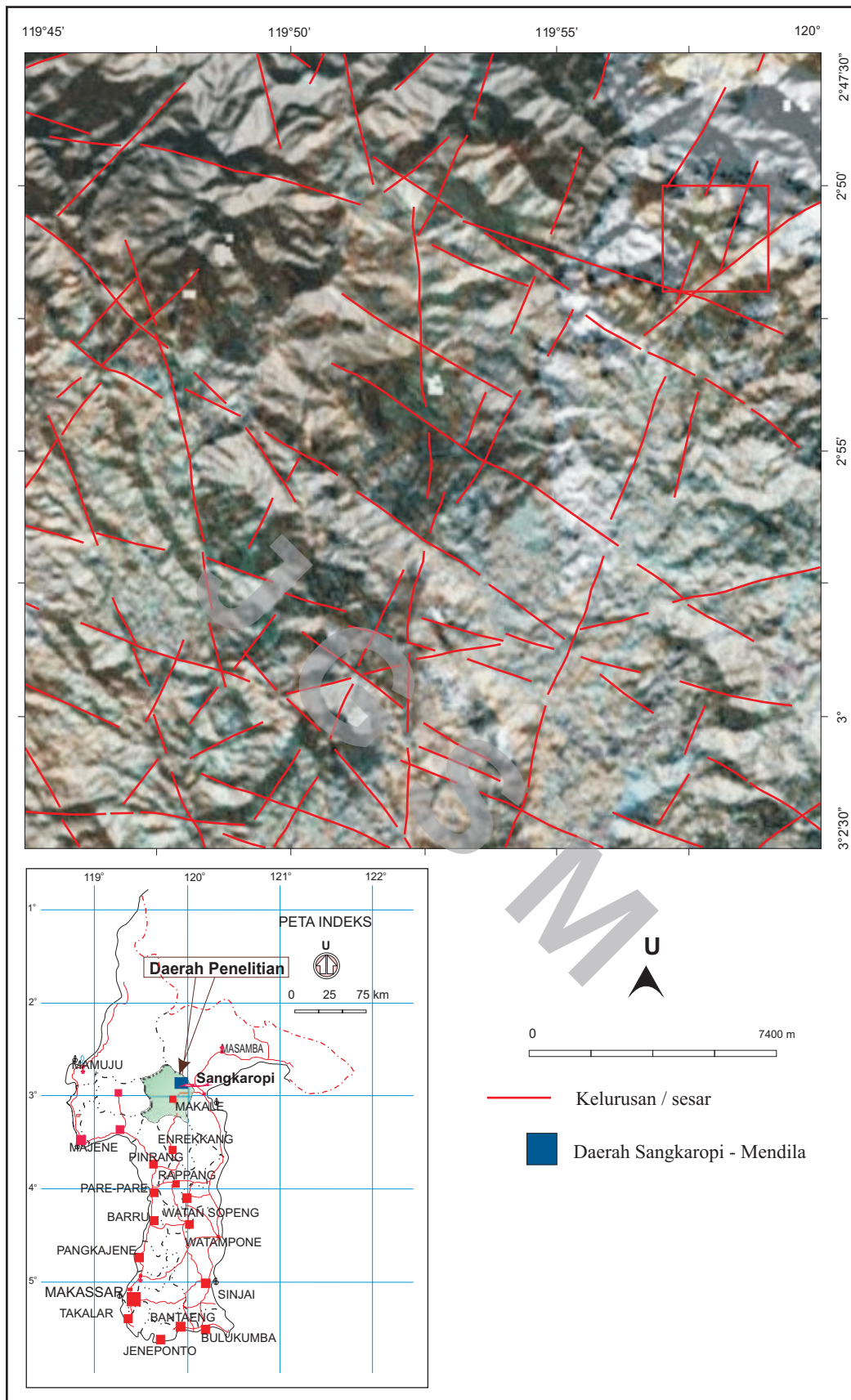
Struktur geologi

Berdasarkan pencitraan *landsat* (TM+07) dan peta geologi (Djuri dr., 1988), struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian berupa kelurusan/sesar (Gambar 4). Sesar-sesar tersebut berkembang sangat jelas pada seluruh satuan litologi, khususnya batuan gunung api. Arah umum sesar adalah barat laut-tenggara, timur laut - barat daya dan utara - selatan. Unsur-unsur struktur yang menyertainya berupa kekar menyilang/*shear joint*.

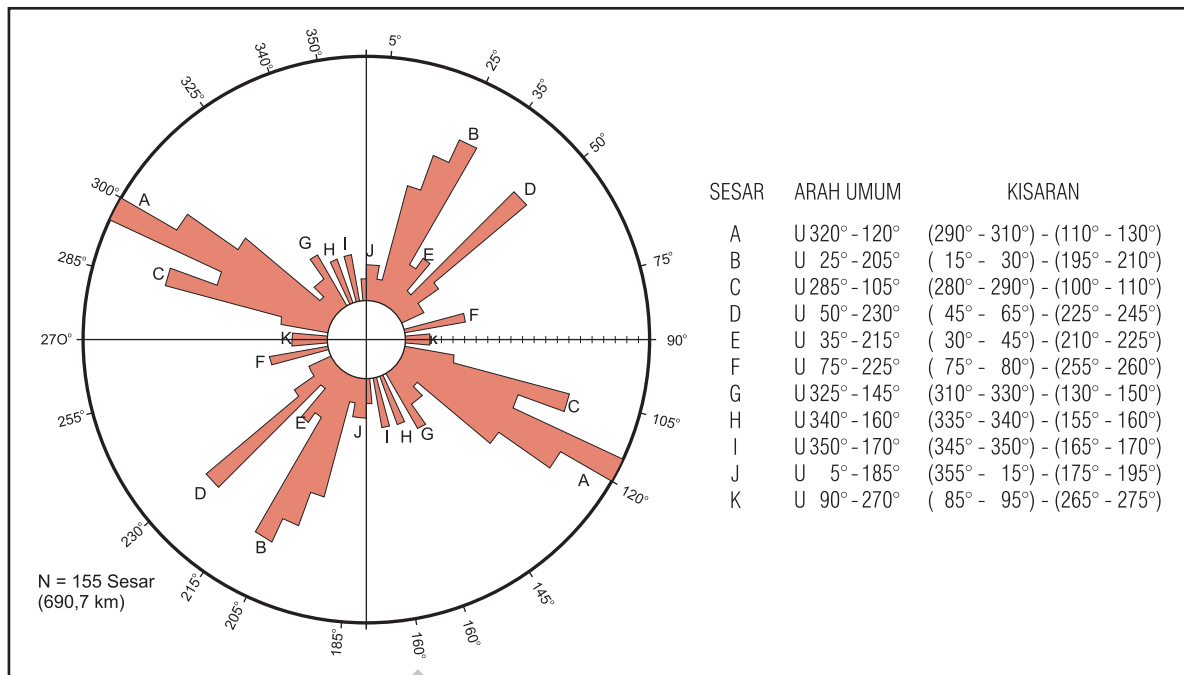
Sesar, berarah utara - selatan dan timur laut - barat daya, kemungkinan merupakan struktur bukaan bagi keluarnya terobosan andesit dan larutan hidrotermal, sehingga menyebabkan proses ubahan dan mineralisasi di daerah ini. Sesar-sesar yang memotong Sungai Todama masing-masing sebagai tempat keluarnya andesit yang menerobos batuan granitik, tuf breksi, dan tuf litik sehingga menjadi terubah dan termineralisasi. Secara stereografis, arah umum kelompok sesar di daerah penelitian berdasarkan penafsiran citra *landsat* TM+7 ditunjukkan pada Gambar 5 (Kusumah dkk., 2005).



Gambar 3. Peta geologi daerah Sangkaropi-Mendila dan sekitarnya (Djuri dr., 1998).



Gambar 4. Kelurusan struktur geologi dalam citra *landsat* (TM-07+) di daerah penelitian.



Gambar 5. Arah umum kelurusan daerah Sangkaropi-Mendila dan sekitarnya berdasarkan pencitraan *landsat* (Kusumah dkk., 2005).

Mineralisasi dan Ubahan

Mineralisasi terbentuk di dalam rekahan terutama pada zona sesar. Zona mineralisasi secara horizontal hanya dapat diamati di daerah Sangkaropi - Sungai Pondungin. Mineralisasi terjadi pada batuan andesit dan tuf. Urat kuarsa dan rekahan-rekahan (*fractures*) dengan kandungan pirit, kalkopirit, bornit, malakit dan azurit tersingkap di Sungai Pondungin dengan ketebalan beberapa milimeter (*quartz-veinlet*), setempat berarah tak beraturan (*irregular veinlets*). Dengan demikian, mineralisasi di daerah ini diperkirakan merupakan jenis urat yang dikontrol oleh sesar berarah timur laut dan barat laut - tenggara.

Proses mineralisasi umumnya disertai oleh ubahan pada batuan tuf dan andesit. Mineral-mineral ubahan yang umum terdiri atas silika, klorit, mineral lempung/kaolin, dan karbonat. Zeolit yang terdapat di daerah ini sangat erat kaitannya dengan proses ubahan hidrotermal tersebut, namun dengan intensitas yang tidak terlalu kuat, sehingga tidak mengubah seluruh batuan menjadi zeolit.

Mineral-mineral ubahan tersebut terbentuk pada peristiwa hidrotermal (Schwartz, 1959) dan digolongkan ke dalam zona ubahan propilitik (Hamley & Mayer, 1967).

HASIL

Sumur uji

Sumur uji yang dibuat berjumlah tujuh belas buah (TP01 sampai dengan TP17), berukuran 1 x 1 m dan 1,5 x 1,5 m dengan kedalaman antara 1,30 m hingga 2,75 m. Dari ke tujuh belas sumur uji tersebut empat buah di antaranya (TP01, TP15, TP16, dan TP17) belum mencapai lapisan zeolit, namun sudah mulai menjumpai fragmen-fragmen zeolit.

Lokasi pengambilan percontoh dan pengamatan disajikan pada Gambar 6, sedangkan lokasi dan penampang tujuh belas buah sumur uji ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Hasil Analisis AAS Terhadap Percontoh Batuan Termineralisasi

No. Percontoh batuan	Unsur runut (<i>trace element</i>)								Keterangan
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	
05TT03	0,217	21,6	699,7	58,3	467,9	4,4	20	1806,7	Relatif tinggi Cu, Pb, Zn, Hg
05TT16	0,009	1,4	81,4	28,0	19,9	2,4	0,7	160	

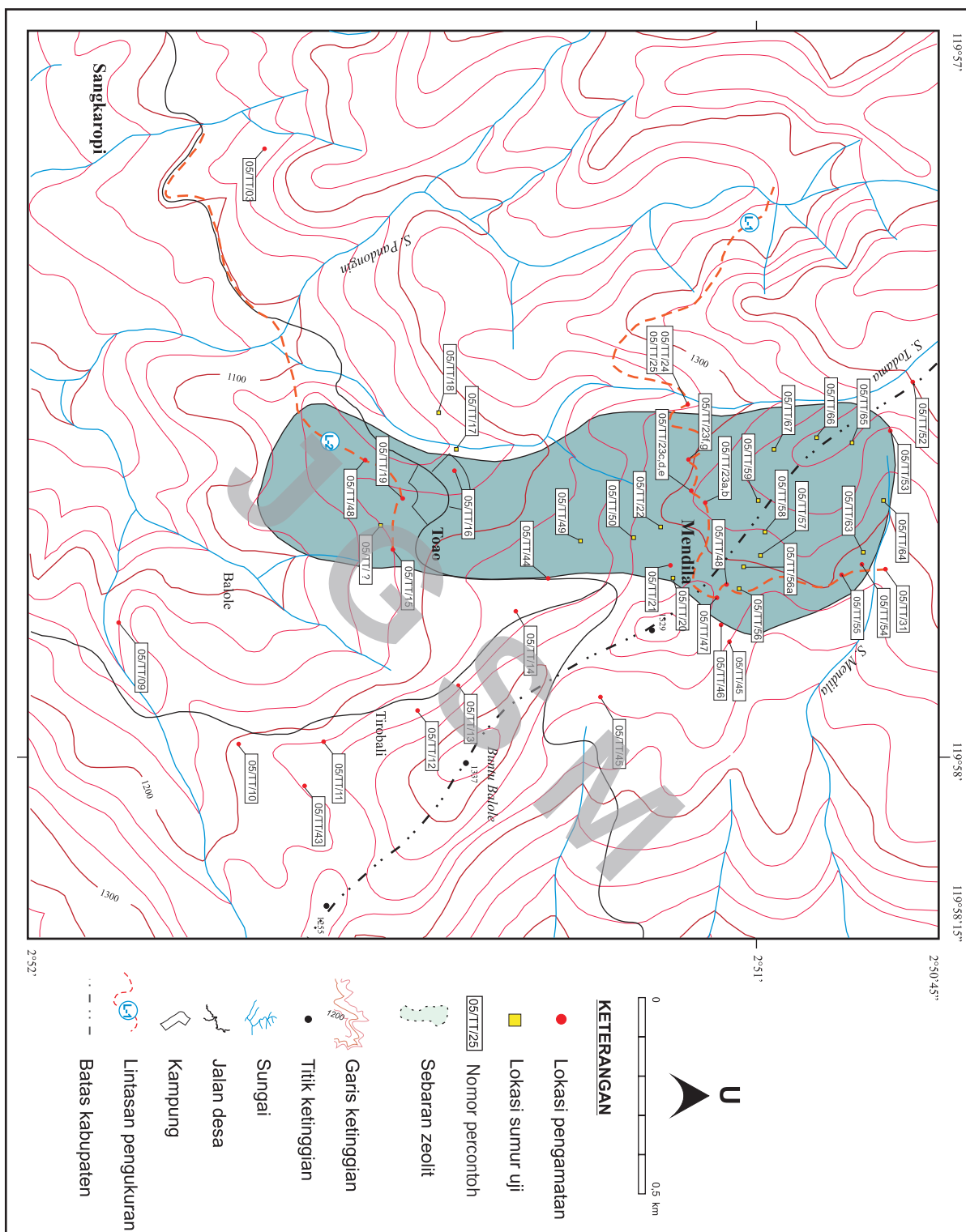
Tabel 2. Ikhtisar Perbandingan Hasil Analisis Petrografi, SEM, XRF, KTK, XRD, dan XRF

No	No. Percontoh	Petrografi			SEM (%)	XRF Unsur utama / major element (%)	KTK (meq/100 g)	XRD	ASD
		Nama batuan	Mineral ubahan	Keterangan					
1	O5TT23A	Tuf litik dasitik terubah sedang	kl, kb, mm, Ca-ze	ze mengisi ruang antar kristal	mo : 40-50, hl : 10-15, ko : 20-30, an : <5, si : <1	SiO ₂ = 66,67; MnO = 0,05; K ₂ O = 1,80 TiO ₂ = 0,06 ; CaO = 0,11; P ₂ O ₅ = 0,02 Al ₂ O ₃ = 17,10 ; MgO = 0,56; LOI = 12,62 Fe ₂ O ₃ = 0,79 ; Na ₂ O = 0,23;	50,20	ku, bi, il, ha, mu	kk, il, mo , mm, kl
2	O5TT23C	Tuf kaca kristalin	ko, mm, Ca-ze	ze mengisi rekahan	mo : 40-50, ko : 20-30, kl : 10-15, si	SiO ₂ = 82,93; MnO = 0,01; K ₂ O = 0,68 TiO ₂ = 0,02 ; CaO = 0,14; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 10,37 ; MgO = 0,06; LOI = 7,45 Fe ₂ O ₃ = 0,22 ; Na ₂ O = 0,26;	4 5,53	ku, pl, ha, mu, bi	kk, mm, ko, il
3	O5TT23D	Tuf litik dasitik	kl, ep, Ca-ze , ml	ze mengisi rongga antar butir	mo : 40-60, hl : 20-30, ko : 5-10, si : <1	SiO ₂ = 76,73; MnO = 0,05; K ₂ O = 2,10 TiO ₂ = 0,04; CaO = 0,11; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 14,16 ; MgO = 0,64; LOI = 7,71 Fe ₂ O ₃ = 0,76 ; Na ₂ O = 0,44;	59,14	ku, il, ha, mu, bi	kk, il, mu, si, kl
4	O5TT23F	Tuf litik dasitik	kl, Ca-ze , ml	ze mengisi rongga antar butir	mo : 30-40, hl : 40-60, si : <1	SiO ₂ = 73,26; MnO = 0,02; K ₂ O = 0,77 TiO ₂ = 0,02 ; CaO = 0,15; P ₂ O ₅ = 0,02 Al ₂ O ₃ = 14,05 ; MgO = 0,33; LOI = 10,75 Fe ₂ O ₃ = 0,54 ; Na ₂ O = 0,14;	16,91	ku, ha, bi, mu, pl	kk, il, mu, si, no
5	O5TT23G	Tuf kaca terubah lemah	kl, Ca-ze , ml	ze mengisi rongga antar butir	mo : 5-10, ko : 40-50, fp : 20-30, si : <1	SiO ₂ = 80,10; MnO = 0,03; K ₂ O = 6,87 TiO ₂ = 0,00 ; CaO = 0,17; P ₂ O ₅ = 0,10 Al ₂ O ₃ = 9,10 ; MgO = 0,23; LOI = 1,26 Fe ₂ O ₃ = 0,44 ; Na ₂ O = 0,31;	28,05	ku, or, ad, mu, ak	mu, si, no
6	O5TT24	Tuf kaca kristalin	kl, ep, Ca-na-ze , ml, kb	ze mengisi amygdaloid	mo : 40-60, ko : 20-30, fp : <1	SiO ₂ = 77,47; MnO = 0,04; K ₂ O = 1,48 TiO ₂ = 0,04 ; CaO = 0,22; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 10,74 ; MgO = 0,85; LOI = 7,44 Fe ₂ O ₃ = 0,96 ; Na ₂ O = 0,33;	20,05	ku, il, ha, mu, bi	ap, mm, mu, si, il
7	O5TT27	Tuf kaca terubah kuat	mm	Tuf terdetritifikasi jadi mm	mo : 40-60, ko : 20-30, fp : 5-10, si : <1	SiO ₂ = 83,41; MnO = 0,04; K ₂ O = 2,41 TiO ₂ = 0,13 ; CaO = 0,10; P ₂ O ₅ = 0,02 Al ₂ O ₃ = 19,05 ; MgO = 1,26; LOI = 9,11 Fe ₂ O ₃ = 1,67 ; Na ₂ O = 0,12;	49,50	ku, mu, pl	mm, kl, si, il
8	O5TT28	Tuf kaca teroksidasi kuat	ob, mm	-	mo : 39-40, ko : 40-60, si : <1	SiO ₂ = 87,57; MnO = 0,0 ; K ₂ O = 0,09 TiO ₂ = 0,00 ; CaO = 0,95; P ₂ O ₅ = 0,04 Al ₂ O ₃ = 7,15 ; MgO = 0,09; LOI = 1,26 Fe ₂ O ₃ = 0,37 ; Na ₂ O = 3,31;	108,43	ku, il, lp, mu	ms, kk, mm, mu, mo
9	O5TT31	Tuf kaca terubah	kb, Ca-ze , mi, il	ze mengisi pori2 batuan	mo : 10-20, ko : 60-80, an : <1	SiO ₂ = 87,56; MnO = 0,00; K ₂ O = 0,09 TiO ₂ = 0,00 ; CaO = 0,15; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 7,15 ; MgO = 0,09; LOI = 1,26 Fe ₂ O ₃ = 0,37 ; Na ₂ O = 3,31	17,90	ku, al, mu, ao	ms, kb, il, kz
10	O5TT33	Tuf litik dasitis	Il, na-Ca-ze	ze mngisi vesiculer	il : 50-60, sm : 30-40	SiO ₂ = 69,03; MnO = 0,04; K ₂ O = 2,91 TiO ₂ = 0,00 ; CaO = 1,71; P ₂ O ₅ = 0,04 Al ₂ O ₃ = 13,32 ; MgO = 0,72; LOI = 8,50 Fe ₂ O ₃ = 1,03 ; Na ₂ O = 0,93;	107,81	ku, al, il, mu, lp, mo	ms, mm, si, il
11	O5TT37	Tuf litik dasitis	kl, il, ze	ze mngisi vesiculer	mo : 30-50, ko : 10-20, hl : 10-20, si : 30-40	SiO ₂ = 84,47; MnO = 0,22; K ₂ O = 2,51 TiO ₂ = 0,00 ; CaO = 0,26; P ₂ O ₅ = 0,02 Al ₂ O ₃ = 8,67 ; MgO = 0,28; LOI = 1,78 Fe ₂ O ₃ = 0,51 ; Na ₂ O = 4,32;	85,19	ku, il, mu, sp	ko, kk, si, mm
12	O5TT52	Tuf litik dasitis	kl, kb, Ca-ze , ml	ze mengisi amygdaloid	mo : 10-20, ko : 5-10, il : 40-50	SiO ₂ = 78,34; MnO = 0,03; K ₂ O = 2,51 TiO ₂ = 0,01 ; CaO = 0,18; P ₂ O ₅ = 0,02 Al ₂ O ₃ = 11,83 ; MgO = 0,28; LOI = 1,78 Fe ₂ O ₃ = 0,49 ; Na ₂ O = 4,33;	17,16	ku, al, lb, or, mi, il	tr, il, si, mm
13	O5TT55	Dasit	kb, Ca-ze , ml	ze mengisi lubang2 batuan	sm : 20-30, ko : 30-40, il : 20-30	SiO ₂ = 75,00; MnO = 0,03; K ₂ O = 3,85 TiO ₂ = 0,03 ; CaO = 0,32; P ₂ O ₅ = 0,05 Al ₂ O ₃ = 12,68 ; MgO = 0,62; LOI = 5,82 Fe ₂ O ₃ = 0,54 ; Na ₂ O = 4,21;	19,75	ku, lp, mu, ha	mm, mu, si
14	O5TT56	Tuf kaca teroksidasi kuat	kb, kl, ob, Ca-ze	ze mngisi vesiculer	Sm+il : 80-95, Si : 1-5,	SiO ₂ = 61,16; MnO = 0,01; K ₂ O = 3,85 TiO ₂ = 0,23 ; CaO = 1,74; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 18,19 ; MgO = 2,22; LOI = 10,64 Fe ₂ O ₃ = 2,93 ; Na ₂ O = <0,1;	67,10	ku, il	ap, pg, mu, mm, si
15	O5TT57	Tuf kaca terkloritkan	mo , il, mm, Ca-ze	ze mngisi vesiculer	mo : 50-60, ko : 5-10, an : 20-30	SiO ₂ = 62,64; MnO = 0,03; K ₂ O = 2,38 TiO ₂ = 0,14 ; CaO = 0,10; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 19,81 ; MgO = 1,25; LOI = 12,38 Fe ₂ O ₃ = 1,58 ; Na ₂ O = 1,12	46,00	ku, il, pg, mu	he, ms, si, mm
16	O5TT59	Tuf kaca terubah	Ca-ze/ hl , mm, il, ob	ze mengisi rekahan + vesiculer	mo : 70-90, ko : 5-10	SiO ₂ = 74,31; MnO = 0,02; K ₂ O = 0,81 TiO ₂ = 0,06 ; CaO = 0,15; P ₂ O ₅ = 0,03 Al ₂ O ₃ = 12,43 ; MgO = 0,40; LOI = 9,25 Fe ₂ O ₃ = 0,80 ; Na ₂ O = 1,07;	24,80	ku, il, mu	he, mm, si
17	O5TT64	Tuf kaca teroksidasi	ob	-	mo : 50-70, an : 20-30, ko : <1	SiO ₂ = 73,64; MnO = 0,05; K ₂ O = 0,83 TiO ₂ = 0,07 ; CaO = 1,13; P ₂ O ₅ = 0,06 Al ₂ O ₃ = 13,51 ; MgO = 1,06; LOI = 9,12 Fe ₂ O ₃ = 1,09 ; Na ₂ O = 0,42;	91,68	ku, il, mu	pg, mm, si
18	O5TT65	Tuf kaca terubah	Ca-ze/ hl	ze mengisi rekahan + vesiculer	mo : 30-40, hl : 40-50, ko : 5-10,	SiO ₂ = 77,61; MnO = 0,02; K ₂ O = 0,63 TiO ₂ = 0,03 ; CaO = 0,12; P ₂ O ₅ = 0,05 Al ₂ O ₃ = 11,77 ; MgO = 0,43; LOI = 8,12 Fe ₂ O ₃ = 0,78 ; Na ₂ O = 0,33;	89,42	ku, bi, mu, lp, ha	il, mm, si
19	O5TT66	Tuf kaca terubah	kl, Ca-ze/hl, il, mm	ze mengisi rekahan + vesiculer	mo : 40-60, an : 20-35, ko : 1-5	SiO ₂ = 67,16; MnO = 0,04; K ₂ O = 1,60 TiO ₂ = 0,08 ; CaO = 0,10; P ₂ O ₅ = 0,024 Al ₂ O ₃ = 16,80 ; MgO = 1,07; LOI = 11,55 Fe ₂ O ₃ = 1,29 ; Na ₂ O = 0,27;	69,77	ku, mu, il	mm, mu, mo , ko

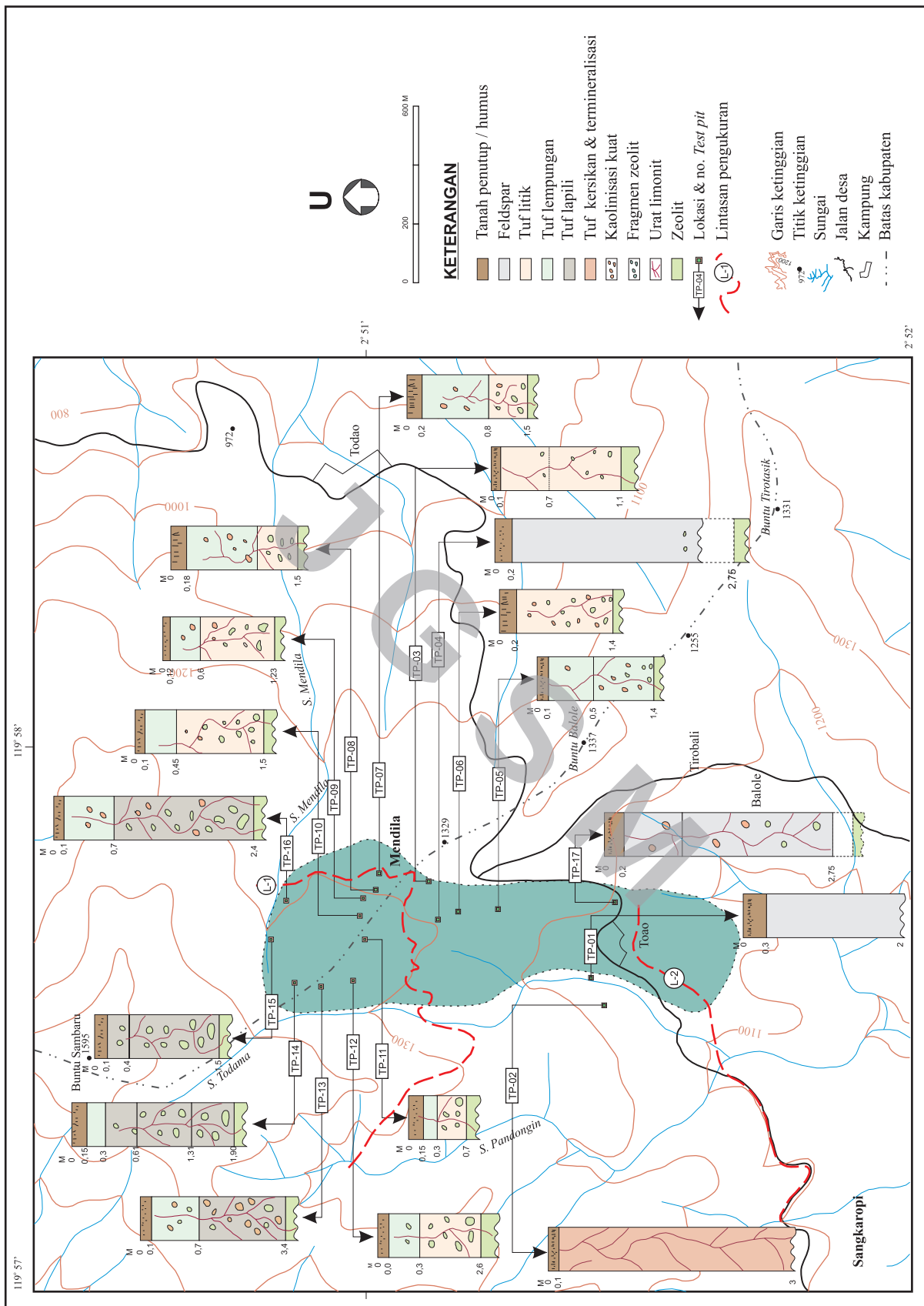
Keterangan :

ad : adularia	ao : anortit	ep : epidot	il : illit	ko : kaolinit	mi : mika	ms : mafik silikat	pg : plogofit
al : albit	ap : apatit	ha : haloysit	kb : karbonat	ku : kuarsa	ml : min. lempung	mu : muskovit	pl : poligorskite
an : analsim	bi : biotit	he : hematit	kk : klinoklor	kz : klinozoisit	mm : montmorilonit	no : natrolit	si : silika
ak : ankerit	Ca-ze : Ca-zeolit	hl : heulandit	kl : klorit	lp : lepidolit	mo : mordenit	ob : oksida besi	sm : smektit

b : labradorit



Gambar 6. Peta lokasi percontohan di daerah Sangkaropi - Mendia dan sekitarnya.



Gambar 7. Peta lokasi sumur uji daerah Sangkaropi-Mendila.

Laboratorium

Hasil analisis AAS terhadap dua percontoh batuan termineralisasi ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan Tabel 2 memperlihatkan perbandingan hasil analisis dengan metode analisis SEM/EDX, XRF, ASD, XRD dan KTK.

Hasil analisis SEM/EDX percontoh 05TT23C memperlihatkan grafik heulandit (Gambar 8), sedangkan hasil analisis ASD menunjukkan spektrum mordenit (Mor) dengan panjang gelombang 1800 yang disertai klinoklor (Cli), montmorilonit (Mon) dan illit (II) (Gambar 9). Demikian pula percontoh 05TT28 memperlihatkan hal yang sama dengan percontoh 05TT23C (Gambar 10, 11). Pada umumnya zeolit bertekstur sarang tikus (*rat's nest*) dan serat (*fibre*), seperti yang ditunjukkan oleh percontoh 05TT23F (Gambar 12 a) dan 05TT23C (Gambar 12 b).

PEMBAHASAN

Zeolit di daerah penelitian memiliki penyebaran cukup luas, menempati perbukitan mulai dari daerah Bukit Mendila sampai dengan daerah Toao sebelah selatan (Gambar 6). Batuan induk pembawa zeolit ini adalah tuf litik dan tuf kaca bersusunan dasitik, berbutir halus sampai sedang dan telah mengalami ubahan hidrotermal. Batuan tersebut memiliki variasi warna, namun dominan berwarna abu-abu kehijauan. Bagian bawah tuf yang mengandung zeolit ini berbatasan dengan tuf terubah dan termineralisasi, sedangkan bagian atasnya secara setempat ditutupi oleh tuf yang banyak mengandung feldspar di perbukitan sekitar Toao. Proses ubahan dan mineralisasi berkaitan erat dengan aktivitas terobosan andesit dan basal yang berlangsung pada pasca Miosen. Terobosan yang membawa larutan sisa magma tersebut keluar melalui rekahan-rekahan di sekitar zona-zona sesar, seperti dijumpai di Sungai Todama, sekitar Mendila dan terutama di daerah Sangkaropi.

Secara petrografis, tuf yang mengandung zeolit tersebut termasuk kedalam tuf litik dasitik dan tuf kaca terubah. Batuan piroklastika ini mengandung kuarsa, plagioklas, ortoklas, piroksen, horenbenda, biotit, dan muskovit. Setempat, terdapat pula komponen dasit *pumice* (batuapung) dan andesit dengan persentase yang berbeda-beda, diikat oleh masa dasar kaca gunung api dan mineral-mineral ubahan seperti mineral lempung (kaolinit + montmorilonit), Na-zeolit atau Ca-zeolit, klorit,

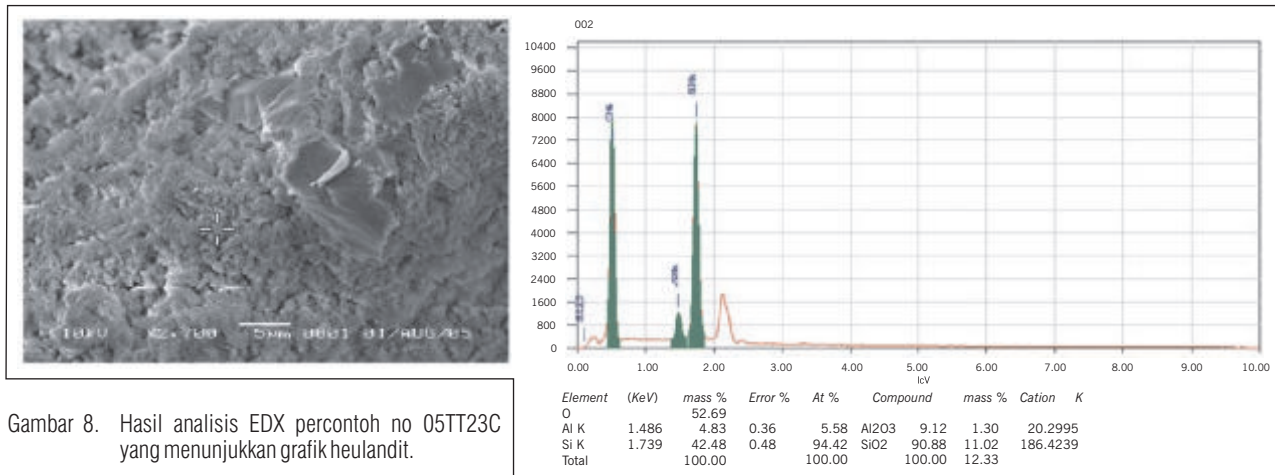
epidot, dan sebagian karbonat, serta mineral opak berupa pirit dan magnetit (Tabel 2).

Petrogenesis batuan gunung api tersebut tampak dipengaruhi oleh dua kompleks terobosan bersusunan diorit dan granodiorit, yang berumur Miosen Akhir (?) serta oleh batuan sub-gunung api bersusunan diabas, basal, dan andesit. Aktivitas tersebut menyebabkan proses ubahan, baik terhadap mineral utama maupun komponen batuan gunung api. Ubahan yang disebabkan oleh larutan sisa magma (larutan hidrotermal) terutama terjadi pada plagioklas dan ortoklas berupa penggantian oleh karbonat dan mineral lempung.

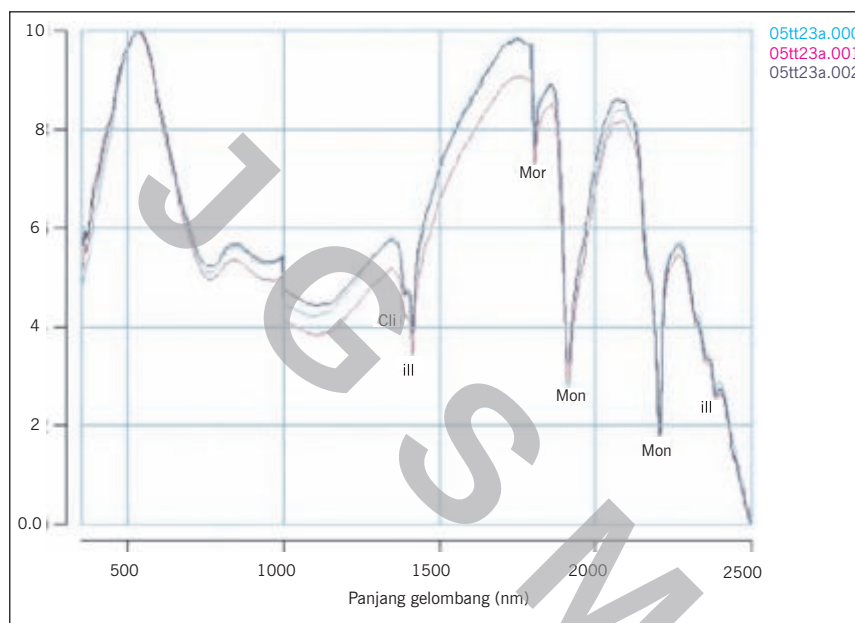
Mineral mafik seperti piroksen, horenbenda, biotit, dan muskovit digantikan oleh klorit - epidot, dan illit. Pada percontoh-percontoh tersebut, terlihat bahwa massa dasar kaca gunung api terdevitrifikasi menjadi mineral lempung dan sedikit mineral zeolit jenis Ca-zeolit (heulandit) dan Na-zeolit (mordenit/ natrolit). Hal tersebut mencerminkan, bahwa larutan hidrotermal berfluktuasi dari yang kaya karbonat menjadi sulfat, bikarbonat, bisulfat *water to water* dengan temperatur diperkirakan antara 125° - 175°C. Hal ini dibuktikan pula dengan adanya batuan terobosan bersusunan dari menengah ke basa, yaitu dari andesit - diabas sampai basal.

Ca-zeolit dan Na-zeolit hadir pada beberapa sayatan batuan mengisi pori atau rongga, tetapi tidak mengubah komponen mineral utamanya. Dengan demikian sisa larutan hidrotermal tidak begitu kuat intensitasnya (rendah - sedang) untuk mengubah kaca gunung api menjadi zeolit.

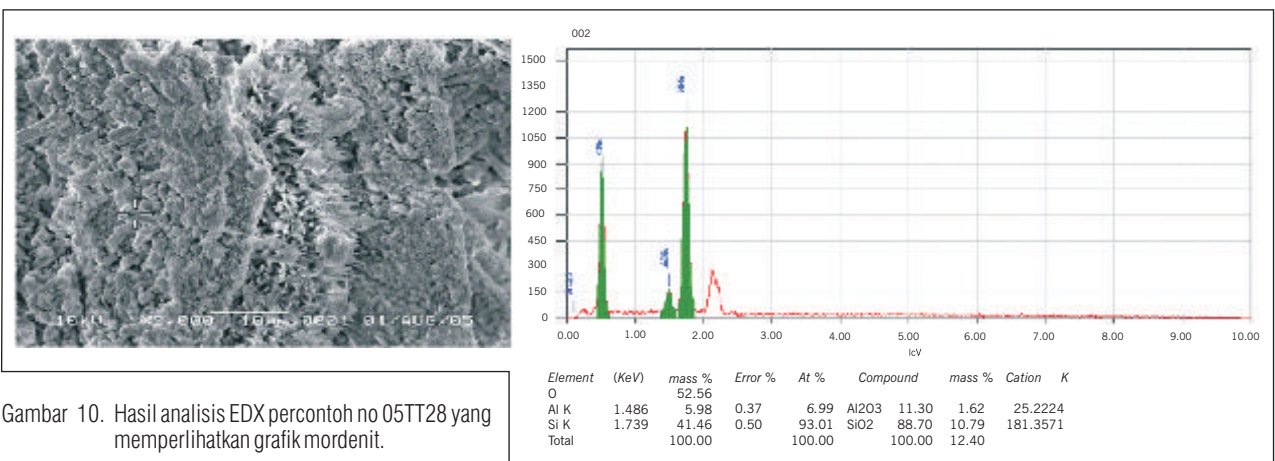
Hasil analisis SEM terhadap sembilan belas percontoh batuan, menunjukkan enam belas percontoh mengandung zeolit. Jenis mineral yang teridentifikasi adalah zeolit (mordenit dan heulandit, analsim), mineral lempung (illit, kaolinit, smektit) dan silika kaca (Tabel 2). Mineral mordenit berjumlah antara 30-70%, umumnya bertekstur serabut (*fibre*) (Gambar 12 a) dan sarang tikus (*rat's nest*) (Gambar 12 b). Heulandit dijumpai bercampur dalam kumpulan mineral zeolit jenis mordenit yang berbentuk kristal *blocky monoclinic*, dengan kadar antara 20-50%, sedangkan analsim berkadar antara 20-35%. Jenis mineral lempung yang paling banyak adalah illit (20%-90%), kaolinit (60-80%), smektit (30%-40%), jenis lempung campuran (*mixed-layer clays*) (20 %-30%), bahkan dalam salah satu percontoh (05TT56) mencapai 95%. Silika kaca



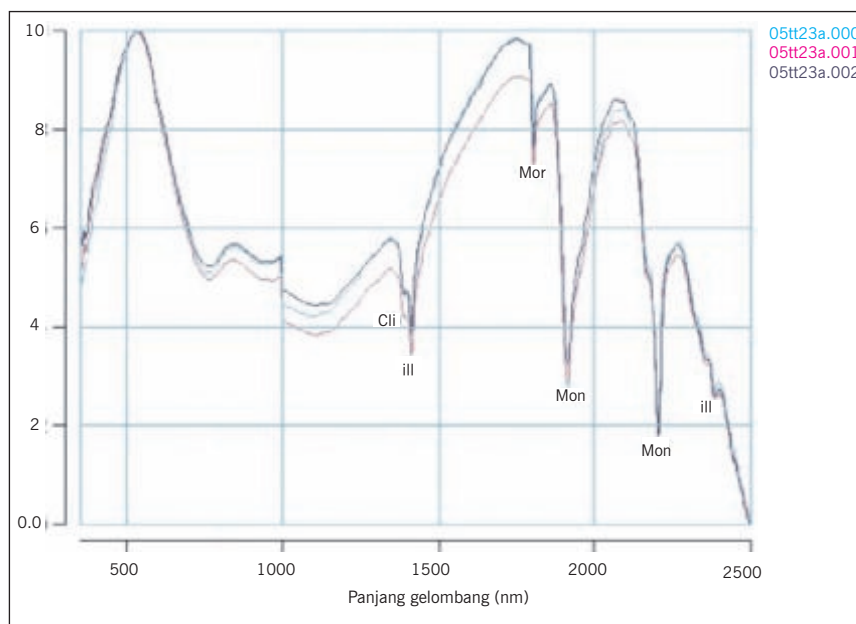
Gambar 8. Hasil analisis EDX percontoh no 05TT23C yang menunjukkan grafik heulandit.



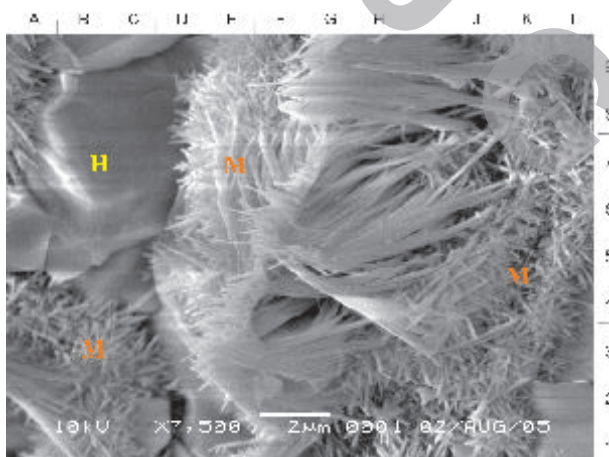
Gambar 9. Rekaman spektrum analisis ASD yang memperlihatkan mordenit (Mor) dengan panjang gelombang 1800. Cli-Clinoklor, Mon-montmorillonit, il-illit.



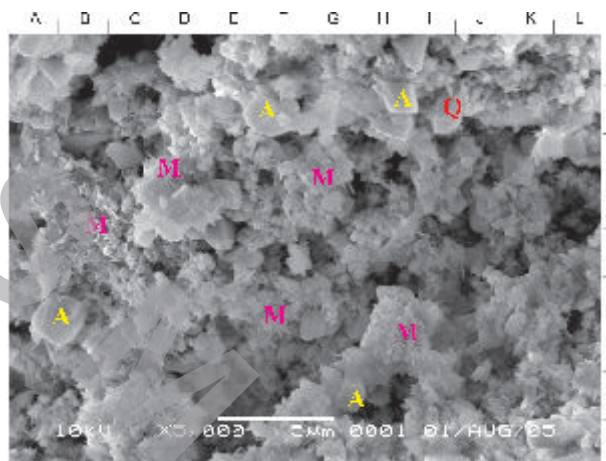
Gambar 10. Hasil analisis EDX percontoh no 05TT28 yang memperlihatkan grafik mordenit.



Gambar 11. Rekaman spektrum analisis ASD yang memperlihatkan mordenit (Mor) dengan panjang gelombang 1800. Mon-montmorilonit, il-Illit, Cli-Clinoklor.



Gambar 12a. Fotomikro SEM percontoh no. 05TT23F yang memperlihatkan mordenit (M) berstruktur sarang tikus (*rat's nest*) dan serat (*fibre*) berstruktur *pseudomorph-interwoven* heulandit (H), pembesaran 7500 x.



Gambar 12b. Fotomikro SEM percontoh no. 05TT23C yang memperlihatkan tekstur sarang tikus dari mordenit (M) dan analcim (A); kuarsa sekunder (Q). Pembesaran 5000 x.

berjumlah 1%-5%, namun terdapat satu percontoh dengan kandungan mencapai 30-40% (05TT67).

Berdasarkan hasil-hasil analisis tersebut dan dihubungkan dengan pendapat Mayer dan Hamley (1967) tadi, maka zeolit termasuk model ubahan propilit.

Uji ASD dilakukan terhadap tiga percontoh dengan kandungan mineral zeolit, antara lain percontoh nomor 05TT23A (Gambar 8) dan 05TT28 (Gambar 10). Dari percontoh-percontoh tersebut

teridentifikasi bahwa mineral zeolit merupakan mordenit yang memperlihatkan panjang gelombang (*wave length*) 1800.

Berdasarkan hasil uji XRD terhadap sembilan belas percontoh batuan, hanya satu percontoh yang terdeteksi mengandung mineral zeolit jenis mordenit (05TT33) (Tabel 2). Tidak terdeteksinya mineral zeolit pada percontoh lainnya, kemungkinan disebabkan oleh kurang pekanya metode analisis atau kurang tepatnya perangkat lunak (*software*)

yang digunakan, bahkan mungkin pemercontohan yang kurang representatif.

Hasil analisis KTK terhadap sembilan belas percontoh batuan memperlihatkan variasi nilai mulai dari terendah 16,91 meq/100mg (05TT23F) sampai dengan tertinggi 108,43 meq/100mg (05TT28). Hal ini sesuai dengan hasil uji SEM, petrografi, ASD, dan XRD yang memperlihatkan dominasi jenis mordenit. Namun demikian, terdapat kontroversi antara nilai KTK dengan uji SEM dan petrografi. Nilai uji berdasarkan dua metode KTK terbesar 108,43 meq/100 gr (05TT28) dan 107,81 meq/100 gr (05TT37). Pada kedua jenis uji tersebut (Petrografi dan SEM) tidak muncul mineral zeolit, tetapi justru muncul pada uji ASD berupa mordenit (05TT28). Hal ini kemungkinan terjadi karena posisi preparasi sayatan yang berbeda, atau akibat tidak meratanya proses ubahan hidrotermal pada batuan (*non-dissemination*).

Hasil analisis geokimia dengan metoda XRF juga dilakukan terhadap 19 percontoh batuan tersebut yang diperkirakan mengandung zeolit. Persentase unsur utama (*major element*) penyusun percontoh batuan yang mengandung zeolit tampak didominasi oleh SiO_2 (62,6890% - 81,0309 %), yang disertai oleh Al_2O_3 (9,8996 % - 19,8171 %), LOI (1,2631 % - 12,6226 %), K_2O (0,6307 % - 6,8739 %), Na_2O (0,1193 % - 4,3262 %), CaO (0,0969 % - 0,2195 %); sisanya disusun oleh unsur utama lainnya. Persentase kandungan Na_2O yang relatif lebih besar bila dibandingkan dengan kandungan CaO , menggambarkan bahwa zeolit di daerah ini didominasi oleh jenis Na-zeolit (mordenit).

Hasil-hasil analisis tersebut di atas menunjukkan bahwa mineral mordenit merupakan jenis yang paling dominan. Karena mordenit mempunyai tekstur serat dan sarang tikus, maka mordenit cukup baik digunakan untuk penjernih air dan penyerap limbah.

Hasil analisis geokimia unsur runtu (*trace element*) dengan metoda AAS terhadap dua percontoh batuan yang telah mengalami mineralisasi (Tabel 1) memperlihatkan kandungan Cu, Pb, Zn, dan Hg yang cukup tinggi. Hal tersebut memperlihatkan, bahwa cairan hidrotermal yang menyebabkan mineralisasi di daerah ini berasal dari larutan sisa magma yang

kaya akan logam dasar tersebut, sedangkan unsur volatil yang mengubah batuan menjadi zeolit mungkin volumenya tidak begitu besar.

Berdasarkan bentuk topografi setempat, luas sebaran zeolit sekitar 360.000 m². Hasil pengukuran di daerah Bukit Mendila menunjukkan bahwa zeolit terdiri atas tiga lapisan dengan total ketebalan sekitar 300 m. Berdasarkan data tersebut, maka sumber daya zeolit di daerah ini 360.000 m² x 300 m = 108.000.000 m³. Bila faktor koreksi sebesar 25%, maka sumber daya zeolit (mordenit + heulandit) di daerah penelitian adalah 75% x 108.000.000 = 84.240.000 m³, atau 168.480.000 ton (berat jenis zeolit 2).

KESIMPULAN

Geologi daerah penelitian disusun oleh empat satuan batuan, yaitu satuan-satuan tuf breksi, tuf terkarsikan, tuf zeolitan (tuf litik dan tuf kaca), batugamping, dan satuan batupasir. Batuan terobosan terdiri atas granit, andesit, dan basal yang menerobos satuan-satuan kelompok batuan piroklastika tersebut. Struktur geologi yang berperan dalam pemunculan batuan terobosan di daerah ini berupa sesar berarah utara - selatan, timur laut-baratdaya dan barat laut - tenggara. Sebagian batumannya telah mengalami ubahan hidrotermal, yang mempengaruhi proses pembentukan zeolit di daerah ini.

Zeolit yang terdapat berasal dari abu gunung api yang terubah. Tuf dengan kandungan zeolit berupa tuf litik dan tuf kaca berwarna hijau pucat - hijau tua yang tersingkap di Bukit Mendila-Toao dan sekitarnya. Kedua jenis tuf ini diterobos oleh diorit dan granit, serta batuan subgunung api bersusunan diabas, basal, dan andesit. Mineral zeolit, baik Ca-zeolit maupun Na-zeolit yang terbentuk sebagai pengisian pori atau rongga batuan, menunjukkan bahwa sisa larutan magma tidak memiliki intensitas yang cukup kuat untuk mengubah kaca gunung api menjadi zeolit.

Secara geokimia, batuan yang mengandung zeolit di daerah ini mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO dan LOI yang relatif tinggi yang disertai kandungan logam dasar Cu, Pb, Zn, dan Hg juga berkadar relatif tinggi.

Mineral mordenit, terutama yang bertekstur serat dan sarang tikus, kemungkinan cukup baik digunakan sebagai penjernih air dan penyerap limbah, namun perlu pengujian lebih lanjut. Berdasarkan analisis kimia, zeolit ini dapat pula digunakan di bidang perikanan, pertanian, dan pengontrol polusi. Sumber daya zeolit (mordenit + heulandit) diperkirakan mencapai 168.480.000 ton.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bhakti H. Harahap, M.Sc., Koordinator Kelompok Program Magmatisme yang telah memberikan dukungannya serta Dr. Ir. Djadjang Sukarna selaku Kepala Pusat Survei Geologi atas ijinnya untuk menerbitkan tulisan ini. ■

ACUAN

- Anonim, 1997, *Informasi Potensi Bahan Galian dan Geologi untuk Perencanaan Pengembangan Wilayah Kabupaten DATI II Kabupaten Polmas*. Kantor Wilayah Departemen Pertambangan dan Energi Propinsi Sulawesi Selatan dan Tenggara, tidak terbit, h. 4-11.
- Arifin M. dan U. Bisri, 1995. *Bahan Galian Industri Zeolit. B.34.95, Pusat Pengembangan Teknologi Mineral*, Dirjen. Pertambangan Umum, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Djuri, H.M., Sudjatmiko, S. Bachri dan Sukido, 1998. *Peta Geologi Lembar Mamuju dan Palopo Bagian Barat skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Hardjatmo dan Husaeni, 1997. Study on the Properties of Some Indonesian Natural Zeolites. *Indonesian Mining Journal*, vol.3, no. 1, h: 37-47.
- Harjanto, S., 1987. Lempung, Zeolit, Dolomit dan Magnesit. Jenis, Sifat Fisik, Cara Terjadi dan Penggunaannya. *Publikasi Khusus*, no. 29, Direktorat Sumberdaya Mineral, h: 108-135.
- Haryadi, H., 2002. Kajian Ekonomi Terhadap Prospek Pemanfaatan Mineral Kapur, Fospat dan Zeolit pada Sektor Perkebunan dan Pertanian. Dalam : *Buletin Bahan Galian Industri*, vol. 6, no. 5, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, h. 1-12.
- Hemley, J.J. and Mayer, C., 1967. Wall rock alteration. Dalam : Barnes, H.L., *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*. Holt, Reinhart and Winston, Inc. New York: p. 166-235.
- Ichihara, S., Y. Sunarya, K. Judawinata, 1979. Survey Report in Sangkaropi and Rumanga Ore Deposits, Tana Toraja, Sulawesi. Unpublished, 17 p.
- Kartawa, W., D. Satria Nas dan A. Hikmat, 2004. Kajian Potensi Zeolit di Daerah Messawa dan Sekitarnya, Kabupaten Mamasa, Propinsi Sulawesi Selatan. Laporan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, tidak terbit.
- Kusdji, D.K., W. Kartawa, D. Djumhana, N. Suryono dan Handoko, 2005. Penelitian Zeolit di daerah Toro-Mendila, Kabupaten Tana Toraja, Propinsi Sulawesi Selatan. Lamporan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Tidak terbit.
- Madiadipoera, T., S. Harjanto, J. Sutaatmadja, M. Supardan, M.R. Noer, Rachmat, Sabri, A.S. Sulaeman, A.F. Yusuf dan Zulfikar, 1990. *Bahan Galian Industri di Indonesia*. *Publikasi Khusus*, no. 36, Direktorat Sumberdaya Mineral: h. 37-38.
- Sudirman dan M. Arifin, 2000. Prospek Pengembangan Zeolit di Indonesia. Dalam : *Buletin Bahan Galian Industri di Indonesia*, vol. 4, no. 10-11: h. 30-40.
- Schwartz, G.M., 1959. Hydrothermal alteration. *Economic Geology*. vol. 54, no. 2, p. 161-183.
- Suhala S. dan Arifin, 1997. Zeolit. *Bahan Galian Industri*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, h. 320-335.