

**HASIL SURVEI PEMBORAN LANDAIAN SUHU
LAPANGAN PANAS BUMI MUTUBUSA-SOKORIA, KABUPATEN ENDE,
NUSA TENGGARA TIMUR**

Oleh :

Zulkifli Boegis, Teguh Purwantoro, Timor Situmorang dan Adang Muchlis

SUBDIT PANAS BUMI

ABSTRACT

Mutubusa-Sokoria Geothermal Field is situated about 37 km northeastern part of Ende city, belong to the region of Sokoria village, district of East Ndona, Ende regency, East Nusa Tenggara. The thermal gradient well of the Mutubusa - Sokoria geothermal field consists of 2 wells, those are SK-1 and SK-2. Geographically, SK-1 and SK-2 are respectively located at 121° 45' 58" East - 08° 47' 25" South and 121° 45' 59" East - 08° 47' 10" South.

Rock units of SK-1 from top to bottom are Top Soil, Tuff Breccia, Andesite, Altered Andesite, Altered Andesite Breccia and Altered Andesite Basaltic, whereas SK-2 composes of Altered Andesite, Altered Andesite Breccia and Altered Andesite Basaltic. An interbedding occurred among Altered Andesite, Altered Andesite Breccia and Altered Andesite Basaltic characterize the rock originating from several times of eruption periods of the Mutubasa Volcano in the Mutubasa's old caldera.

The entirely rock have undergone a hydrothermal alteration with a varied alteration intensity from weak to intense (SM/TM = 10-85%). The hydrothermal alteration is generally characterized by processes of argillitization, oxidation with/without piritization, silicification, carbonatization, anhydritization and chloritization. The type of alteration is included into Argillic functioning as caprock in the geothermal field of Mutubasa-Sokoria. The environment setting of alteration mineral indicates a neutral to acid fluid condition characterizing its formation on a high-temperature of hot water and vapour system (> 140°C).

From the result of temperature logging measurement it has been obtained an anomaly of average temperature at SK-1 by 13 times normal thermal gradient, that is about 40°C/100 m, whereas SK-2 has an anomaly of average temperature by 12,6 times normal thermal gradient, that is about 37,8°C/100 m. Based on the result of geological analysis and temperature logging measurement show subsurface heat flow at the field of Mutubasa-Sokoria and it has a prospect to be developed further.

S A R I

Lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria berada kurang lebih 37 km ke arah timurlaut dari kota Ende, termasuk dalam wilayah administrasi Desa Sokoria, Kecamatan Ndona Timur, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur. Pemboran landaian suhu di lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria terdiri dari 2 sumur, yaitu SK-1 dan SK-2. Secara geografis, sumur SK-1 dan SK-2 berturut-turut terletak pada posisi 121° 45' 58" BT - 08° 47' 25" LS dan 121° 45' 59" BT - 08° 47' 10" LS.

Satuan batuan pada sumur SK-1 dari atas ke bawah terdiri dari Tanah Penutup, Breksi Tufa, Andesit, Andesit Terubah, Breksi Andesit Terubah dan Andesit Basaltik Terubah, sedangkan pada sumur SK-2 terdiri dari Andesit Terubah, Breksi Andesit Terubah, Breksi Tufa Terubah dan Andesit Basaltik Terubah. Selang-seling yang terjadi antara Andesit Terubah, Breksi Andesit Terubah dan Andesit Basaltik Terubah mencirikan batuan berasal dari beberapa kali perioda letusan dalam pembentukan Gunungapi Mutubusa di dalam kaldera tua Mutubusa.

Secara keseluruhan batuan telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan bervariasi dari lemah sampai sangat kuat (SM/TM = 10-85%). Ubahan hidrotermal yang terjadi umumnya dicirikan oleh proses argilitisasi, oksidasi dengan/tanpa piritisasi, silisifikasi, karbonatisasi, anhidritisasi dan kloritisasi. Tipe ubahan termasuk Argillic yang berfungsi sebagai batuan penutup pada lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria. Lingkungan pembentuk mineral ubahan menunjukkan kondisi fluida bersifat netral hingga asam yang mencirikan pembentuknya pada sistem air panas bertemperatur tinggi dan sistem uap (> 140°C).

Dari hasil pengukuran logging temperatur diperoleh anomali temperatur rata-rata pada sumur SK-1 sebesar 13 kali landaian suhu normal, yaitu sekitar 40°C/100 m, sedangkan SK-2 mempunyai anomali sebesar 12,6 kali landaian suhu normal, yaitu sekitar 37,8°C/100 m. Berdasarkan dari hasil analisa geologi dan pengukuran logging temperatur menunjukkan bahwa di lapangan panasbumi Mutubusa-Sokoria terdapat aliran geothermal di bawah permukaan dan mempunyai prospek untuk dikembangkan lebih lanjut.

1. PENDAHULUAN

Pulau Flores merupakan bagian dari rangkaian busur gunung api yang membentang dari Pulau Sumatera hingga ke Busur Banda. Sepanjang rangkaian busur vulkanik ini terdapat cadangan energi panas bumi yang besar dan sangat berpotensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP).

Dalam tahun anggaran 2004, Proyek Inventarisasi Potensi Panas Bumi telah mengirimkan satu Tim survai pemboran landaian suhu ke daerah lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur untuk melakukan pekerjaan pemboran dan pengukuran landaian suhu sumur SK-1 dan SK-2.

Sumur landaian suhu SK-1 dan SK-2 lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria terletak dalam wilayah administrasi Desa Sokoria, Kecamatan Ndonga Timur, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur.

Secara geografis lokasi sumur SK-1 terletak pada posisi 121° 45' 58" BT dan 08° 47' 25" LS dengan ketinggian ± 1079 m, sedangkan lokasi sumur SK-2 terletak pada posisi 121°45'59" BT dan 08°47'10" LS dengan ketinggian ± 1214 m (Gambar 1). Daerah ini berjarak kurang lebih 37 km ke arah timurlaut dari kota Ende.

Maksud dilakukan survei landaian suhu adalah untuk mengetahui ada tidaknya anomali temperatur pada lubang sumur bor SK-1 dan SK-2 dan untuk menguji daerah anomali geolistrik (tahanan jenis rendah < 10 ohm-m) dari hasil penyelidikan terdahulu. Adapun tujuannya adalah untuk memperoleh gambaran keadaan geologi bawah permukaan (pengaruh ubahan hidrothermal, litologi dan struktur geologi) serta untuk mengetahui landaian suhu dan batas daerah prospek pada lapangan panasbumi Mutubusa-Sokoria. Keseluruhan hasil survai akan digunakan sebagai data dasar dalam penyelidikan selanjutnya terutama dalam melakukan pemboran eksplorasi yang akan dilakukan dimasa yang akan datang.

Lokasi pemboran sumur landaian suhu SK-1 dan SK-2 berada di tenggara mata air panas/fumarol Mutubusa, yang merupakan daerah penyebaran batuan vulkanik produk Mutubusa/Sokoria. Daerah di sekitar Kawah Mutubusa ini merupakan daerah "up flow", dimana sumber panasnya berasal dari sisa magma pembentuk batuan vulkanik yang berasal dari Kaldera Mutubusa.

Penentuan lokasi sumur landaian suhu SK-1 dan SK-2 dilakukan dengan mengacu pada hasil penelitian geosentifik PT PLN (1995) disamping hal-hal non teknis lainnya seperti kemudahan pencapaian daerah, lahan untuk lokasi pemboran dan ketersediaan air untuk keperluan pemboran.

2. GEOLOGI DAERAH PENYELIDIKAN

Penyelidikan pendahuluan telah dilakukan diantaranya oleh : Suwarna, dkk. (1989) melakukan pemetaan geologi regional bersistem lembar Ende; Chasin, M. (1974) melakukan inventarisasi kenampakan gejala panasbumi di Flores; dan PT PLN (Persero) melalui Proyek Induk Sarana Fisik dan Penunjang (1995) melakukan penyelidikan terpadu geologi, geokimia dan geofisika rinci di daerah panas bumi Sokoria.

Sejarah vulkanisme daerah penyelidikan dimulai setelah pembentukan formasi batuan sedimen berumur Tersier (Formasi Kiro, Tanahau, Nangapada, Laka dan Formasi Waihekang). Pada Kuarter tua terbentuk gunungapi strato yang besar (Mutubusa) yang menghasilkan batuan bersusunan andesitik-basaltik, batuannya diwakili oleh endapan aliran lava tua Sokoria (PLN, P.T., 1995). Erupsi gunung api yang cukup besar menghasilkan batuan piroklastik dengan komposisi riolitik hingga dasitik yang mengalir di atas lava tua Sokoria dan batuan sedimen Tersier (Gambar 2). Erupsi besar tersebut menghasilkan kekosongan dan ketidak-seimbangan tubuh magma. Keadaan ini memicu proses *volcanotectonic depression* yang diikuti pembentukan formasi kaldera Sokoria (Mutubusa tua). Kaldera membentuk

tapak kuda dengan radius ± 15 Km membuka ke arah selatan. Lantai kaldera Mutubusa tua sangat lemah karena banyak rekahan, diantaranya terbentuk sesar Loworia yang berarah timurlaut-baratdaya. Secara garis besar stratigrafi daerah panas bumi Sokoria menurut PLN, P.T. (1995) terdiri dari lava tua Sokoria, lava Keli Nabe, batuan vulkanik Mutubusa (lava, lahar, aliran dan jatuhnya piroklastik), endapan piroklastik Keli Bara (aliran dan jatuhnya piroklastik).

3. HASIL PENYELIDIKAN

3.1. Sumur SK-1

Selama pelaksanaan operasi pemboran sumur landaian suhu SK-1, terkumpul sebanyak 160,5 m inti bor (recovery factor : 30-100%). Hasil analisis megaskopis inti bor sumur landaian suhu SK-1, menunjukkan bahwa sumur SK-1 tersusun oleh Tanah Penutup (Top Soil), Breksi Tufa, Andesit, Andesit Terubah (AT), Breksi Andesit Terubah (BAT) dan Andesit Basaltik Terubah (ABT). Selang-seling yang terjadi antara Andesit Terubah, Breksi Andesit Terubah dan Andesit Basaltik Terubah mencirikan batuan / litologi berasal dari beberapa kali perioda letusan yang berhubungan dengan pembentukan Gunungapi Mutubusa didalam kaldera tua Mutubusa (PLN, P.T., 1995).

Inti bor pada kedalaman 0 – 34,3 m secara umum masih didominasi oleh proses eksogenik berupa pelapukan. Kecuali pada kedalaman antara 17 – 22,6 m batuan telah terkena alterasi akibat fluida panas bumi yang mengalir melalui sesar atau rekahan pada kedalaman tersebut. Sedangkan batuan pada kedalaman antara 34,3 – 160,5 m secara keseluruhan telah mengalami ubahan hidrothermal dengan intensitas ubahan bervariasi dari lemah, sedang hingga sangat kuat (SM/TM = 10–85%). Ubahan hidrothermal yang terjadi umumnya dicirikan oleh proses argilitisasi, oksidasi dengan/tanpa piritisasi, silisifikasi, karbonatisasi, anhidritisasi dan kloritisasi. Urat-urat pengisi rekahan pada batuan terdiri dari urat-urat halus kalsit, silika, oksida besi, pirit dan belerang. Tipe ubahan termasuk Argillic yang berfungsi sebagai batuan penudung (*cap rock*) pada lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria.

Sejumlah 4 (empat) sample batuan dari sumur SK-1 masing-masing diambil pada kedalaman 40,5 m, 86 m, 124 m dan 143 m untuk dianalisa dengan metoda Defraksi Sinar-X serta 2 (dua) conto batuan pada kedalaman 55

m dan 91,7 m dianalisa dengan metoda PIMA. Hasil analisis dari metode X-RD dan PIMA menunjukkan bahwa batuan pada kedalaman tersebut tersusun oleh mineral-mineral: montmorillonit, kristobalit, tridimit, kuarsa, kalsit, anorthit dan magnetit (Tabel 1).

Dengan menggunakan temperatur pembentukan mineral-mineral lempung yang ada diperkuat dengan kehadiran mineral-mineral indikator lainnya seperti pirit, kalsit, kuarsa sekunder (kristobalit, tridimit, kuarsa) serta anorthit (albit), pyrrhotit dan klorit, maka daerah ubahan pada sumur SK-1 secara vertikal termasuk dalam zone montmorillonit dengan temperatur > 140°C hingga > 200°C, termasuk kedalam *medium rank alteration*.

Hasil pengukuran dan pengamatan dari 3 tahapan logging temperatur pada sumur landaian suhu SK-1 menunjukkan adanya peningkatan temperatur (anomali) selaras dengan penambahan kedalaman. Dari pekerjaan logging tahap pertama sampai kedalaman lubang bor 89 meter, tercatat temperatur di permukaan adalah sebesar 23,3°C, setelah *probe* direndam pada dasar lubang bor (89 m) temperatur meningkat menjadi 55,8°C. Dari hasil logging I telah menunjukkan adanya peningkatan temperatur (anomali) yang lebih besar dari landain suhu normal 3°C/ 100 m.

Pengukuran logging tahap kedua, pada kedalaman dasar lubang bor 121 meter, tercatat temperatur permukaan adalah 28,3°C sedangkan pada dasar lubang bor temperatur maksimum setelah perendaman sebesar 68,3°C. Disini terlihat adanya peningkatan kenaikan temperatur dengan gradien ± 11 kali gradien thermal normal yaitu kurang lebih 33°C/ 100 m.

Pengukuran logging tahap ketiga dilakukan sampai pada kedalaman 130 m. Temperatur permukaan sebesar 22,3°C, sedangkan temperatur pada dasar lubang bor kedalaman 130 m adalah 74,3°C. Disini terlihat adanya peningkatan kenaikan suhu dengan landain ± 13 kali landain suhu normal, yaitu sekitar 40°C/ 100 m.

Dari data logging III yang menunjukkan adanya peningkatan temperatur cukup signifikan serta telah diperolehnya data anomali landain suhu lubang bor yang sangat tinggi, terutama pada kedalaman setelah 60 m sampai 130 m didapat anomali sebesar ± 15 kali landaian suhu normal, yaitu sebesar 46,1°C/100 m dan telah terjadi lonjakan selisih

temperatur lumpur masuk dan keluar mencapai $>10^{\circ}\text{C}$ pada kedalaman setelah 145 m serta adanya intensitas batuan ubahan yang sangat tinggi sehingga dikawatirkan apabila dilakukan penambahan kedalaman akan terjadi *blowout* atau semburan liar. Untuk menghindari terjadinya *blowout*, maka pemboran sumur SK-1 dihentikan atau distop pada kedalaman 160,5 m.

3.2. Sumur SK-2

Dari hasil pelaksanaan pemboran sumur landaian suhu SK-2, terkumpul sebanyak 127 meter core atau inti bor (*recovery factor* : 60-100%). Dari hasil analisis megaskopis inti bor sumur landaian suhu SK-2, menunjukkan bahwa sumur SK-2 tersusun oleh Andesit Terubah (AT), Andesit Basaltik Terubah (ABT), Breksi Tufa Terubah (BTT) dan Breksi Andesit Terubah (BAT). Selang-seling yang terjadi antara Andesit Terubah dan Andesit Basaltik Terubah mencirikan batuan / litologi berasal dari beberapa kali perioda letusan dalam pembentukan Gunungapi Mutubusa didalam kaldera tua Mutubusa (PLN, P.T., 1995).

Secara keseluruhan batuan telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan bervariasi dari lemah, sedang hingga sangat kuat (SM/TM=10–85%). Ubahan hidrotermal yang terjadi umumnya dicirikan oleh proses argilitisasi, oksidasi dengan/tanpa piritisasi, silisifikasi, karbonatisasi, anhidritisasi dan kloritisasi. Sejumlah 4 (empat) conto batuan dari sumur SK-2 pada kedalaman 48,5 m, 103 m, 120 m dan 127 m diambil untuk dianalisa dengan metoda Defraksi Sinar-X (X-RD). Hasil analisa menunjukkan bahwa batuan pada kedalaman tersebut tersusun oleh mineral-mineral: montmorillonit, kaolin, kristobalit, tridimit, kuarsa, pirit dan anorthit (Tabel 2).

Dengan menggunakan temperatur pembentukan mineral-mineral lempung yang ada diperkuat dengan kehadiran mineral-mineral indikator lainnya seperti pirit, kalsit, kuarsa sekunder (kristobalit, tridimit, kuarsa) serta anorthit (albit), pyrrhotit dan klorit, maka zona ubahan pada sumur SK-2 secara vertikal dapat dibagi atas 2 bagian (Browne, P.R.L., 1994 dan Lawless et al., 1994) :

- Zona Kaolinit dengan variasi temperatur tidak lebih dari 140°C , pada kedalaman 0-100 m, termasuk kedalam *low rank alteration*.

- Zona Montmorillonit dengan variasi temperatur 140°C hingga $> 200^{\circ}\text{C}$, pada kedalaman 100-127 m. Kehadiran klorit menunjukkan temperatur pembentukan $>100^{\circ}\text{C}$ ($\pm 140^{\circ}\text{C}$) hingga $>200^{\circ}\text{C}$. Sedangkan anorthit (albit) mencirikan kondisi temperatur $>200^{\circ}\text{C}$. Zone ini termasuk kedalam *medium rank alteration*.

Hasil pengukuran dan pengamatan dari 3 tahapan logging temperatur pada sumur landaian suhu SK-2 juga menunjukkan adanya peningkatan temperatur selaras dengan penambahan kedalaman. Dari pekerjaan logging tahap pertama sampai kedalaman lubang bor 79 m, tercatat temperatur di permukaan adalah sebesar $25,5^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada dasar lubang bor (79 m) adalah $35,4^{\circ}\text{C}$, pada posisi kedalaman ini menunjukkan adanya peningkatan temperatur (anomali) yang lebih besar dari landaian suhu normal $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Pada pengukuran tahap kedua, logging sampai 120 m, tercatat temperatur permukaan adalah $29,3^{\circ}\text{C}$ sedangkan pada dasar lubang bor temperatur maksimum setelah perendaman $74,3^{\circ}\text{C}$. Disini terlihat adanya peningkatan kenaikan temperatur dengan landaian $\pm 12,5$ kali landaian suhu normal, yaitu kurang lebih $37,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Pengukuran logging tahap ketiga dilakukan sampai pada kedalaman 127 meter. Temperatur dipermukaan tanah sebesar $34,3^{\circ}\text{C}$, sedangkan pada dasar lubang bor kedalaman 127 m setelah perendaman diperoleh temperatur maksimum $82,3^{\circ}\text{C}$. Disini terlihat adanya peningkatan kenaikan temperatur dengan landaian $\pm 12,6$ kali landaian suhu normal, yaitu kurang lebih $37,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Dari data logging III yang menunjukkan adanya peningkatan temperatur cukup signifikan serta didukung data anomali landaian suhu lubang bor yang sangat tinggi, terutama pada kedalaman 79 m hingga kedalaman akhir (127 m) didapat anomali sebesar 32,6 kali landaian suhu normal, yaitu sebesar $97,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ($\approx 1^{\circ}\text{C}/1\text{ m}$) serta adanya lonjakan temperatur lumpur keluar pada kedalaman setelah 100 m sebesar $35-36^{\circ}\text{C}$ dari sebelumnya sekitar $25-27^{\circ}\text{C}$ dan adanya intensitas batuan ubahan yang sangat tinggi didukung oleh banyaknya rekahan-rekahan yang cukup intensif, sehingga dikawatirkan apabila dilakukan penambahan kedalaman akan terjadi *blowout* atau

semburan liar. Untuk menghindari terjadinya *blowout*, maka pemboran sumur SK-2 dihentikan atau distop pada kedalaman 127 m.

1. PEMBAHASAN

Fluida dan batuan reservoir di dalam sistem panasbumi umumnya saling berinteraksi, mengakibatkan terjadinya perubahan komposisi baik fase yang padat (batuan reservoir) maupun yang cair (fluida panas bumi); proses ini disebut proses hidrothermal. Proses hidrothermal menghasilkan mineral-mineral sekunder tertentu yang sangat tergantung dari beberapa faktor diantaranya temperatur (perbedaan temperatur batuan reservoir dan temperatur fluida yang berinteraksi), komposisi fluida (terutama keasamannya/pH), permeabilitas batuan reservoir dan terjadi atau tidaknya proses *boiling*.

Kehadiran beberapa mineral sekunder seperti mineral lempung, kalsit, kuarsa sekunder (kristobalit, tridimit, kuarsa), klorit, anorthit (albit), oksida besi dan pirit dapat digunakan sebagai indikator temperatur fluida pada saat mineral-mineral tersebut terbentuk. Hasil analisis mineral lempung dengan metoda Difraksi Sinar-X (X-RD) menunjukkan kehadiran mineral-mineral kaolinit dan montmorillonit disamping mineral-mineral yang disebutkan terdahulu.

Kehadiran mineral-mineral penunjuk temperatur tinggi seperti pirhotit ($T > 150^{\circ}\text{C}$ hingga $>250^{\circ}\text{C}$) ditemukan di sumur SK-1 pada kedalaman antara 103 – 125 m dalam jumlah minor sebagai hasil ubahan dari mineral magnetit. Pada beberapa sumur panas bumi yang terdapat di Broadlands (New Zealand) dan Filipina, pirhotit dapat hadir pada temperatur $>150^{\circ}\text{C}$ dalam kondisi lingkungan fluida asam hingga netral (Lawless et.al., 1994). Sedangkan anorthit (albit) ditemukan di sumur SK-1 dan SK-2 mencirikan kondisi temperatur $>200^{\circ}\text{C}$ (Lawless et.al., 1994).

Kehadiran mineral lempung yang didominasi oleh montmorillonit/kaolinit terbentuk sebagai *replacement* dari mineral plagioklas, masadasar/matriks dalam andesit berubah, andesit basaltik berubah dan breksi tufa berubah. Pembentukan mineral lempung ini terjadi pada temperatur yang relatif rendah. Pada beberapa sumur panas bumi yang terdapat di New Zealand, Jepang, Filipina dan negara-negara lainnya montmorillonit/kaolinit dapat hadir pada temperatur antara 100°C – 180°C (Lawless et. al., 1994).

Seperti halnya mineral lempung, oksida besi juga mendominasi sumur SK-1 dan SK-2, terbentuk sebagai ubahan (*replacement*) dari mineral-mineral gelap dan masa dasar/matriks pada andesit, andesit basaltik dan breksi tufa berubah. Pada beberapa sumur di Filipina oksida besi dapat hadir pada temperatur lebih kecil dari 260°C , terbentuk pada lingkungan fluida yang bersifat asam (Lawless et.al., 1994).

Kehadiran pirit pada sumur SK-1 dan SK-2, tidak pada semua kedalaman, terbentuk sebagai *replacement* dari masa dasar /matriks plagioklas dan mineral hitam pada andesit, andesit-basaltik dan breksi tufa berubah. Pirit dapat terjadi pada kondisi lingkungan fluida bersifat asam maupun netral. Pirit juga ditemukan sebagai urat-urat halus pengisi rekahan pada batuan tumbuh bersama dengan kuarsa sekunder.

Kuarsa sekunder hadir pada hampir semua kedalaman, dapat terbentuk sebagai *replacement* dari hampir semua mineral pada batuan dan dapat terbentuk pada kondisi lingkungan fluida yang bersifat asam maupun netral. Kehadiran kuarsa sekunder yang cukup banyak dapat mencirikan zona permeable dengan temperatur diatas 100°C (Lawless et.al., 1994).

Kalsit mulai hadir pada kedalaman setelah 120 m di sumur SK-1 dan pada kedalaman mulai 101 m di sumur SK-2, terbentuk sebagai *replacement* dari mineral plagioklas, masadasar/matriks pada andesit, andesit basaltik dan breksi tufa berubah. Terbentuk pada kondisi lingkungan fluida yang kaya CO_2 , fluida bersifat netral hingga agak asam. Kehadiran kalsit dapat mencirikan titik didih fluida (*boiling point*). Di Filipina kalsit terbentuk pada zona permeable (Lawless et.al., 1994).

Klorit/smektit terdapat di sumur SK-1 dan SK-2 dalam jumlah yang relatif tinggi mulai kedalaman di bawah 100 m, terbentuk sebagai *replacement* dari plagioklas dan masa dasar/matriks pada batuan. Kehadiran klorit/smektit mencirikan pembentukannya yaitu pada lingkungan fluida bersifat netral. Biasanya mencirikan adanya sirkulasi fluida air panas pada batuan klastik yang bersifat porous seperti yang terjadi di Iceland klorit/smektit hadir pada temperatur 200 – 230°C dan pada temperatur $< 270^{\circ}\text{C}$ di Filipina (Lawless et.al., 1994).

Anhidrit hadir pada kedalaman 57-59,4 m, 84,5-86,2 m dan 130-139 m di sumur SK-1, terbentuk sebagai hasil *replacement* dari plagioklas dan masadasar/matriks pada batuan. Terbentuk pada kondisi fluida bersifat netral hingga asam. Di Filipina dan New Zealand anhidrit terbentuk pada zona permeabel terutama pada kondisi campuran fluida asam dan netral (Lawless, et. al., 1994).

Endapan Sulfur (S) di sumur SK-1 hadir mulai kedalaman 115 m, sedangkan di sumur SK-2 hadir pada kedalaman 119-127. Terbentuk pada kondisi lingkungan fluida yang kaya H₂S, fluida bersifat asam. Kehadiran sulfur yang cukup melimpah mengisi rekahan batuan dapat mencirikan zona permeabel dengan temperatur diatas 112°C (Lawless et.al., 1994).

Lingkungan pembentuk mineral ubahan menunjukkan kondisi fluida bersifat netral hingga asam. Kemungkinan reservoir panas bumi di daerah Mutubusa-Sokoria mempunyai sistem air panas bertemperatur tinggi pada daerah yang lebih dalam dan pada kedalaman yang lebih dangkal terdapat zona uap. Hal ini ditunjang oleh kehadiran klorit/smektit, anhidrit, sulfur dan kalsit yang mencirikan kondisi fluida bersifat netral hingga asam dan adanya mineral yang terbentuk karena evaporasi dan kondensasi.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan analisa batuan sumur landaian suhu SK-1 dan SK-2, lapangan panas bumi Mutubusa-Sokoria, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Litologi sumur SK-1 dan SK-2 terdiri dari andesit terubah, andesit basaltik terubah, breksi andesit terubah dan breksi tufa terubah dengan intensitas ubahan lemah hingga kuat (SM/TM=10-85%) didominasi oleh proses argilitisasi, oksidasi dengan/tanpa piritisasi, silisifikasi/ devitrifikasi, karbonatisasi, kloritisasi dan anhidritisasi. Batuan bersifat swelling clay pada hampir semua kedalaman sumur. Tipe ubahan adalah Argillic yang berfungsi sebagai batuan penudung panas atau *cap rock*.
- Mineral ubahan yang terbentuk di sumur SK-1 dan SK-2 umumnya terbentuk sebagai hasil *replacement* plagioklas, piroksen (mineral mafik) dan masadasar/matrik pada semua batuan.

Lingkungan pembentuk mineral ubahan menunjukkan kondisi fluida bersifat netral hingga asam yang mencirikan pembentuk pada sistem air panas bertemperatur tinggi dan sistim uap (> 140°C).

- Hasil pengukuran logging temperatur menunjukkan ada anomali yang relatif tinggi sebesar ± 13 kali landaian suhu normal, yaitu sekitar 40°C/ 100 m untuk sumur SK-1 dan untuk sumur SK-2 mempunyai anomali ± 12,6 kali landaian suhu normal, yaitu sekitar 37,8°C/ 100 m.
- Berdasarkan dari hasil analisa geologi dan pengukuran logging temperatur dapat disimpulkan bahwa lapangan panasbumi Mutubusa-Sokoria mempunyai prospek yang sangat baik untuk dikembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernhard W. Seubert, 1995, *The Wellsite Guide An Introduction to Geological Wellsite operations* Appendix A. Checklist Mudlogging 138p
- Browne, P.R.L. and Ellis, A.J.1970, *The Ohaki Broadlands Hydrothermal Area, New Zealand; Mineralogy and Associated Geochemistry* American Journal of Science 269: 97 – 131
- Browne, 1970, *Hydrothermal alteration as an aid in investigating Geothermal fields.* Geoth. Special issue.
- , 1994, *An Introduction to Hydrothermal Alteration, Geothermal System and Technology Course*, 15 August- 2 Sept 1994, Pertamina in Cooperation with Uniservices of the University of Auckland and Yayasan Patra Cendekia, Indonesia.
- , 1995, *Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems*, Lecture of geothermal student, Auckland University. NZ.
- Chasin, M., 1974, *Inventarisasi Kenampakan Gejala Panas Bumi Daerah Flores*, Laporan Dit. Vulkanologi, Tdk dipubl.
- Dedi Kusnadi, 1991, *Penelitian Geokimia Panas Bumi Dengan Metoda Hg dan CO2 Daerah Mutubusa dan Sekitarnya*, Kabupaten Ende, NTT, Laporan Dit. Vulkanologi, tdk dipubl.

Kastiman, S. dan Dani, A., 2003, *Technical and Cost Proposal of The Sokoria Geothermal Development, Ende, Flores – NTT*, Bandung.

Lawless, J.V, White, B.J and Bogie, I. 1994, *Important Hydrothermal Minerals and their Significance 1 – 30 p*, Kingston Morrison, Fifth Edition.

PT PLN (PERSERO, 1996, Studi Geosains PLTP Mini Skoria, Ende, Flores, NTT, Laporan akhir; Volume 2.

Stainer, A, 1977, *The Wairakei Geothermal Area, North Island, New Zealand: It's Subsurface Geology and Hydrothermal Rock Alteration*, New Zealand Dept. of Science and Industrial Research, New Zealand Geological Survey Bulletin, 90p.

Tabel 1. Hasil analisis X-RD dan PIMA conto batuan inti bor Sumur SK-1, Lapangan Panasbumi Mutubusa-Sokoria, Ende, NTT.

Kode Sampel	Kedalaman (m)	Satuan Batuan	Komposisi
SK-1-1RD	40,5	Breksi Andesit Terubah	kristobalit, montmorilonit, kalsit, anorthit dan magnetit
SK-1-1PM	55	Andesit Terubah	Montmorillonit
SK-1-2RD	86	Breksi Andesit Terubah	Tridimit, montmorillonit, kalsit, anorthit dan magnetit
SK-1-2PM	91,7	Andesit Basaltik Terubah	montmorillonit
SK-1-3RD	124	Andesit Basaltik Terubah	kuarsa, montmorillonit, anorthit dan magnetik
SK-1-4RD	143	Andesit Basaltik Terubah	kuarsa, montmorilonit, anorthit dan magnetik

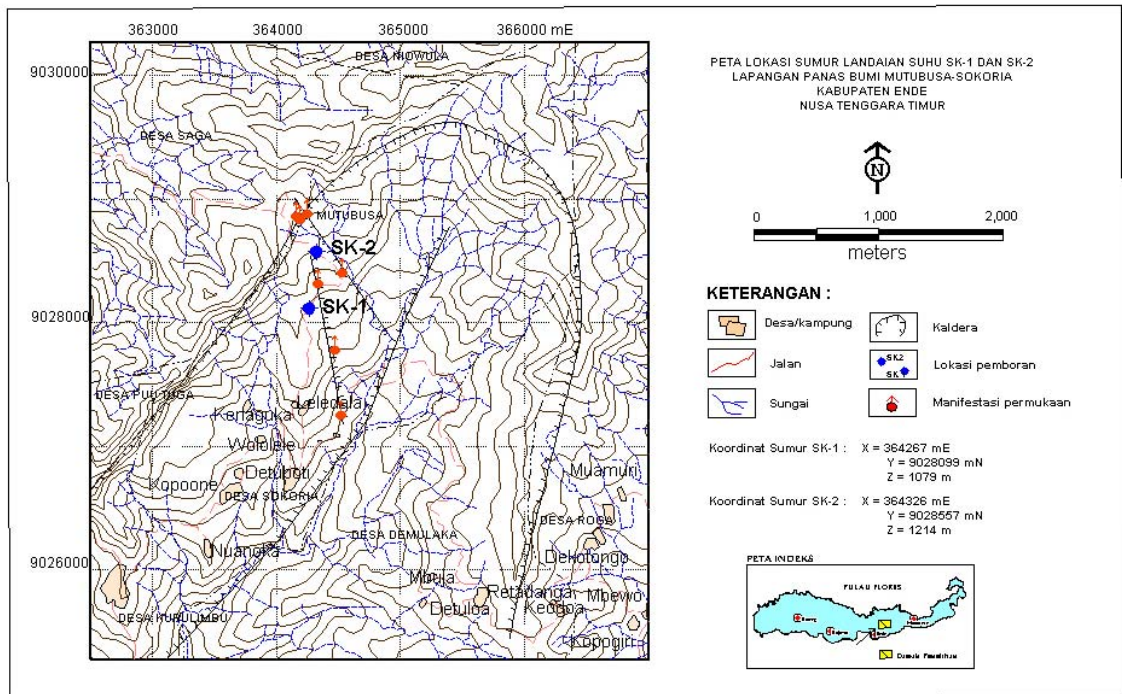
Tabel 2. Hasil analisis X-RD conto batuan inti bor Sumur SK-2, Lapangan Panasbumi Mutubusa-Sokoria, Ende, NTT.

Kode Sampel	Kedalaman (m)	Satuan Batuan	Komposisi
SK-2-1RD	48,5	Andesit Terubah	kristobalit, kuarsa, kaolin, pirit
SK-2-2RD	103	Breksi Andesit Terubah	kristobalit, montmorilonit, anorthit, pirit
SK-2-3RD	120	Andesit Terubah	kristobalit, tridimit, montmorilonit, anorthit, pirit
SK-2-4RD	127	Andesit Terubah	kristobalit, montmorilonit, kalsit, anorthit dan pirit

Keterangan :

Kode sample 1RD artinya sample nomer 1 untuk analisis XRD

Kode sample 1PM artinya sample nomer 1 untuk analisis PIMA



Gambar. 1 Posisi geografis sumur SK-1 dan SK-2 terhadap struktur kaldera dan manifestasi panas bumi Mutubusa – Sokoria.

