

**GEOLOGI DAN UBAHAN HIDROTERMAL SUMUR MT-4
LAPANGAN PANAS BUMI TODA BELU, MATALOKO
NGADA – NUSA TENGGARA TIMUR**

Oleh :
F. Nanlohi, Imanuel.M. Foeh dan Syuhada A.

SUBDIT PANAS BUMI

ABSTRACT

MT-4 well consist of unaltered pyroclastic deposit and interbadded of altered tuff breccia with altered of andesite and dacitic lava flow. The MT-4 well cut through 3 fault zones in the depth of 47-54 m, 71-126 m and 659-702 m. The fault zone in the depth of 47-54 m and 71-126 m probably conected to deep resistivity of Tagamori at al, 2000, while the fault zone in the depth of 659-702 m is a fault segments of Wailuja fault.

All of the unit rocks from the depth of 3-756 m have been altered with intensity of low to very intense (SM/TM = 10-85%) become clay mineral, iron oxide, seqondary quartz with /without calcite, pyrit, chloride, anhydrite, gypsum, illite, zeolith and epidot.

The rock from surface to the depth of 3 m is unaltered rock as soil covered or Overburden, while in the depth of 3-493 m belong to Argillic type of alteration as a cap rock/clay cap. In the depth of 493-556 m is a Phyllic type of alteration zone, 556-659 m as a Transition zone and from the depth of 659-756 m belong to Propylitic Type of alteration (Reservoir zone).

In generally, the originated of hidrothermal mineral as a replacement of preliminary rock minerals, groundmass/matrix of all rock in the MT-4 well and some of them originated as a vein and vug. Probably comes from neutral to acid hidrothermal fluid with relatively low to high temperatures. The reservoir zone contain of some high temperature minerals like a zeolith and epidot. Epidot as a replacement mineral have been originated in the temperature of 230°C, while as a vein and vugs originated in 260-280°C.

After swabbing ± 15 minute, steam with relatively high waters contain was flowing, when the master valve closed the pressure in well head is 36 KSc and after 24 hours well head pressure drop become 20 KSc. Open the master valve again and flowing the steam to silencer to clean the steam.

SARI

Litologi sumur MT-4 terdiri dari endapan piroklastik yang belum berubah, selang seling breksi tufa berubah dengan andesit berubah serta dasitik berubah. Sumur MT-4 memotong 3 zona sesar, masing-masing pada kedalaman antara 47-54,10 m, 71-126 m dan 659-702 m. Zona struktur pada kedalaman 47-54,10 m dan 71-126 m kemungkinan berhubungan dengan sesar/deep resistivity discontinuity yang dikemukakan Tagomori et al., 2000., sedangkan zona sesar pada kedalaman 659-702 m diduga segmen sesar Wailuja.

Keseluruhan batuan dari kedalaman 3-756 m telah berubah hidrotermal dengan intensitas ubahan lemah hingga sangat kuat (SM/TM = 10-85%) menjadi mineral lempung, oksida besi, kuarsa sekunder dengan/tanpa kalsit, pirit, klorit, anhidrit, gypsum, ilit, zeolith dan epidot.

Batuan pada kedalaman 0-3 m belum berubah hidrotermal, berfungsi sebagai lapisan penutup (*Overburden*). Batuan ubahan pada kedalaman 3-493 m termasuk dalam tipe ubahan *Argilik* sebagai batuan penudung (*Cap rock/clay cap*). Batuan ubahan pada kedalaman 493-556 m termasuk tipe ubahan *Phyllic*, batuan ubahan pada kedalaman 556-659 m termasuk zona *Transisi* yaitu transisi antara tipe argilik dengan tipe propilitik/zona reservoir. Batuan ubahan pada kedalaman 659-756 m termasuk tipe ubahan *Propilitik* (*zona reservoir*).

Secara keseluruhan mineral ubahan hidrotermal terbentuk sebagai hasil replacement dari mineral utama pembentuk batuan dan matrik/masa dasar pada semua jenis batuan di MT-4, sebagai pengisi rekahan pada batuan (vein) dan sebagai pengisi rongga pada batuan (vug). Terbentuk oleh fluida bersifat asam hingga netral dengan temperatur pembentukan relatif rendah hingga tinggi.

Pada zona reservoir ditemukan mineral ubahan penunjuk temperatur tinggi seperti zeolith dan epidot. Epidot terbentuk sebagai replacement dari mineral utama dengan temperatur pembentukan di atas 230° C dan sebagai vein serta vug dengan temperatur pembentukan antara 260-280°C.

Setelah dilakukan swabbing selama ± 15 menit, sumur menyemburkan uap air dengan kandungan air relatif banyak. Setelah master valve ditutup tekanan di kepala sumur mencapai maksimum 36 KSc, selama ± 24 jam terjadi kondensasi sehingga tekanan menurun hingga mencapai 20 KSc. Sumur di flowing kembali dan dialirkan pada silencer untuk membersihkan uap.

PENDAHULUAN

Pemboran sumur produksi MT - 4, dilaksanakan di daerah Kampung Belu, Desa Toda Belu, Kecamatan Golewa, Kabupaten DT II Ngada, Nusa Tenggara Timur. Lokasi sumur MT-4 terletak kira-kira N235° E terhadap Wolo Belu dengan posisi UTM : X = 286 612.122; Y = 902 3021.146 dengan ketinggian ± 983,498 m di atas permukaan laut. (Gb. 1).

Lapangan panas bumi Toda Belu, Mataloko dikelilingi oleh tiga gunung api aktif yaitu G.Ebulobo di sebelah timur, G. Inelika di sebelah barat laut dan G.Inerie di sebelah tenggara. Geologi permukaan di sekitar lapangan panas bumi Todabelu, Mataloko dibangun oleh hasil kegiatan vulkanisme dari Beberapa pusat erupsi yang terdapat di sekitarnya, seperti Wolo Sasa, Wolo Riti, Wolo Belu dan kerucut-kerucut vulkanik lainnya.

Penelitian panas bumi telah dilakukan oleh banyak ahli geologi, geokimia maupun geofisika panas bumi diantaranya oleh Nanlohy dkk (1997,1998,2001, 2004), Sitorus dkk. (2000, 2001, 2002), Matsuda dkk, (2002), Muraoka dkk (1999).

Pemboran sumur dangkal telah dilakukan di Mataloko ini yaitu pemboran sumur landaian suhu MTL-01 (1999), sumur eksplorasi MT-1, MT-2 (2000 dan 2001), MT-3 dan MT-4 (2004). Korelasi stratigrafi sumur MTL-01, MT-1 dan MT-2 (dari selatan ke utara) telah dilakukan oleh Nanlohy dkk (2000).

Sumur MT-3 dan MT-4 merupakan sumur deliniasi yang akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) berskala kecil untuk kebutuhan energi listrik Kabupaten Ngada.

HASIL PENYELIDIKAN TERDAHULU

P. Flores merupakan bagian dari busur vulkanik Banda yang terdiri dari batuan vulkanik berumur Kenezoik Atas yang berselingan dengan batuan vulkanogenik dan batuan sedimen karbonatan (Hamilton, 1979). Menurut Koesoemadinata (1981) batuan tertua terdiri dari batuan sedimen Tersier dari Formasi Kiro, Nangapada dan Formasi Bari. Formasi Kiro terdiri dari lava berumur Miosen Tengah, menjemari dengan Formasi Nangapada. Formasi Nangapada sendiri menjemari dengan Formasi Bari.

Takahashi et al., 1998, Muraoka et.al (1999), Nasution et.al (1999), WESJEC & MMRC (1999) mengatakan bahwa batuan vulkanik tertua di sekitar lapangan panas bumi Toda Belu, Mataloko adalah batuan vulkanik *green tuff* berumur Tersier (2,5 juta tahun); batuan vulkanik yang lebih tua adalah batuan vulkanik Maumbawa yang tersebar di bagian selatan lapangan panas bumi Toda Belu, Mataloko yaitu di sekitar kampung Maumbawa. Satuan batuan vulkanik lainnya adalah satuan vulkanik tertua dan batuan vulkanik tua (1,1-1,6 juta tahun) yang terdiri dari lava Watumanu, batuan vulkanik Rotogesa, Wolo Bobo, W.Bena, W.Roge, W.Sasa dan batuan vulkanik W.Pure (Nanlohi dkk, 1998,1999, 2000).

Hasil pemetaan geologi panas bumi daerah Toda Belu, Mataloko (Nanlohi dkk, 1998,1999,2000)

menunjukkan bahwa hampir keseluruhan batuan berasal dari beberapa pusat erupsi yang berada di sekitar lapangan panas bumi Toda Belu, Mataloko diantaranya adalah kerucut vulkanik W. Sasa, W. Riti, W. Pure, Bena, kubah lava W. Belu, dan beberapa pusat erupsi lainnya yang berumur Kuartar.

Penyebarannya batuan vulkanik muda tersebut membentuk kelurusan berarah baratlaut tenggara mulai dari G. Inelika hingga ke bagian selatan lapangan panas bumi Mataloko. Kerucut-kerucut vulkanik ini umumnya terdiri dari endapan aliran lava dan endapan piroklastika (Sitorus dkk, 2000, 2001, Nanlohi dkk, 2000, 2002). Korelasi stratigrafi dari beberapa penulis terdahulu disajikan pada Tabel 2

HASIL PENYELIDIKAN

Geologi

Susunan stratigrafi sumur MT-4 selengkapnya mulai dari trayek selubung 13 3/8" hingga trayek liner 6" didasarkan atas hasil analisis contoh batuan dari sumur bor, yang diambil dari kedalaman 0-756,47 m yaitu terdiri dari endapan piroklastika, breksi tufa terubah, dan andesit terubah. Secara keseluruhan intensitas ubahan pada batuan bervariasi dari lemah sampai sangat kuat (SM/TM = 10 – 85%). Ubahan hidrotermal pada batuan dicirikan oleh proses argilitisasi, oksidasi, silisifikasi/devitrifikasi dengan/tanpa karbonatisasi, piritisasi, anhidritisasi, gipsumisasi, ilitisasi, zeolithisasi dan epidotisasi. Sebagian batuan bersifat "swelling clay" dan "redish brown paleosol" maksimum 75%.

Endapan Piroklastika

Endapan piroklastika ini ditemukan di permukaan sampai kedalaman 3 m, merupakan jatuhan piroklastika berwarna coklat kemerahan, bersifat material lepas (*unconsolidated*), agak lapuk, belum mengalami ubahan hidrotermal, terdiri dari mineral feldspar, oksida besi dan gelas vulkanik. Sumber asal endapan jatuhan piroklastika ini tidak diketahui dengan jelas.

Breksi Tufa Terubah

Breksi tufa ini dijumpai mulai dari kedalaman 3-21 m, 45-54 m, 95-125 m, 197- 250 m, 250-280 m, 283-313 m, 325-334 m, 346-367 m, 394-493 m dan 556 m hingga 580 m. Umumnya berwarna abu-abu, coklat kemerahan, kehijauan dan keputih-putihan fragmental, klastik, berukuran sedang hingga halus, sebagian besar tidak terkonsolidasi.

Andesit Terubah

Andesit terubah dijumpai mulai kedalaman 21 sampai 45 m dan kedalaman 54 sampai 65 m. Batuan berwarna abu-abu kehitaman hingga coklat kemerahan, vesikuler, tekstur porfiritik berbutir sedang dengan fenokris plagioklas, piroksen dan kadangkala terdapat sedikit hornblende, yang tertanam dalam masa dasar afanitik dan gelas vulkanik. Kekerasan batuan keras sampai sangat keras.

Ubahan Hidrotermal

Hasil analisis contoh batuan dari kedalaman 0 – 756 m menunjukkan bahwa pada sumur MT-4 terdapat mineral-mineral ubahan dalam jumlah yang bervariasi terdiri dari mineral lempung, kalsit/karbonat, klorit, pirit, oksida besi, kuarsa sekunder, anhidrit, gipsum, ilit, zeolith dan epidot .

Mineral Lempung (Cl), hadir pada semua kedalaman mulai dari 3 m hingga 756,47 m dalam jumlah yang bervariasi antara 3 hingga 60% dari total mineral ubahan pada batuan. Jenis mineral lempung adalah montmorilonit/smektit dan kaolinit, berwarna kecoklatan, hijau muda hingga berwarna keputih-putihan.

Klorit (Ch), pada pemboran sumur MT-4 terdapat pada kedalaman mulai dari 92-95 m, 107-125 m, 128-146 m, 158-161 m, 164-170 m, 176-189 m, 182-188 m, 203-209 m, 250-409 m, 442-445 m, 454-457 m dan 556-756,47 m dengan jumlah bervariasi antara 1– 15% dari total mineral ubahan pada batuan.

Klorit di daerah ini terbentuk sebagai hasil replacement, vein dan vug, terdapat pada fluida hidrotermal bertemperatur tinggi berasosiasi dengan zeolith dan epidot, terutama mulai dari kedalaman 703 m hingga kedalaman akhir (756,47 m).

Kalsit/karbonat (Ca), terdapat pada kedalaman yang terpisah yaitu pada kedalaman 57-65 m, 89-170 m, 173-412 m, 424-475 m, 514-694 m, 697-756,47 m dalam jumlah relatif kecil/sedikit, bervariasi antara 1-

20% dari total mineral ubahan pada batuan. Kalsit berwarna putih, terbentuk sebagai *replacement* dari mineral plagioklas dan masa dasar/matrik gelas vulkanik pada tufa dasitik, breksi tufa, dan andesit. Sebagian terbentuk sebagai urat/vein dan pengisi rongga pada batuan (vug).

Kuarsa sekunder (SQ), terdapat pada semua kedalaman dari 3-756,47 m dalam jumlah bervariasi antara 1-20% dari total mineral ubahan pada batuan. Berwarna putih transparan, terbentuk sebagai pengganti/*replacement* dari mineral plagioklas dan masa dasar/matrik gelas vulkanik pada tufa dasitik, breksi tufa dan andesit. Sebagian dari kuarsa sekunder ditemukan berasosiasi dengan zeolith dan epidot terutama pada kedalaman 703-756,47 m.

Oksida besi (IO), hadir dalam jumlah relatif banyak pada semua kedalaman mulai dari 3 m hingga 756,47 m dalam jumlah 1 – 60% dari total mineral ubahan pada batuan, umumnya berwarna coklat kemerahan. Oksida besi ditemukan berasosiasi dengan mineral zeolith dan epidot mulai kedalaman 703 m.

Pirit (Py), terdapat pada kedalaman tertentu saja, mulai dari 98-101 m, 107-110 m, 134-137 m, 146-170 m, 173-176 m, 182-334 m, dan 337-576,47 m, dalam jumlah 1-20% dari total mineral ubahan pada batuan; kadang-kadang terkonsentrasi dalam beberapa fragmen sebagai ubahan dari mineral hitam dan sebagai *replacement* dari mineral plagioklas. Mineral ini dijumpai pula sebagai urat-urat halus pengisi rekahan pada batuan atau kadangkala mengisi rongga (vugs) bersama-sama dengan kuarsa dan anhidrit. Pirit bukan sebagai mineral penunjuk temperatur tinggi, tetapi disini pirit hadir berasosiasi dengan mineral ubahan bertemperatur tinggi seperti zeolith dan epidot.

Illit (Ill), terdapat secara terpisah pada beberapa kedalaman yaitu pada kedalaman 71-83 m, 376-379 m, 385-388 m, 574-622 m, 625-703 m, 709-724 m, 730-742 m dan 745-756,47 m, dalam jumlah relatif kecil, 1-10% dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai hasil *replacement* dari plagioklas dan masa dasar/matrik dari andesit

terubah, breksi tufa dan tufa dasitik terubah. Pada batuan yang permeabel ilit dapat hadir dalam jumlah yang cukup banyak (Lawless, 1994). Fluida yang mempengaruhi pembentukannya bersifat netral sampai agak asam dan dapat hadir pada temperatur 220-310° C di Filipina (Lawless, 1994). Mulai kedalaman 703 m hingga kedalaman akhir ilit terdapat berasosiasi dengan zeolith dan epidot sehingga temperatur diatas 220° C tersebut dapat terjadi pada sumur MT-4 ini.

Anhidrit (An), terdapat pada kedalaman mulai dari 550 hingga kedalaman akhir 756,47 m, sebagai ubahan/*replacement* dari plagioklas piroksen dan masa dasar gelas vulkanik pada semua batuan. Dalam beberapa fragmen dijumpai mengisi rekahan/urat halus berasosiasi dengan kuarsa dan pirit.

Gypsum (Gy), terdapat pada kedalaman tertentu saja yaitu pada kedalaman 98-125 m, 128-158 m, 161-163 m, 188-197 m, 218-292 m, 313-358 m, 364-376 m, 379-493 m dan 505-756,47 m dalam jumlah relatif kecil, 1-3% dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai *replacement* dari mineral utama pembentuk batuan dan masa dasar / matrik, terbentuk pada lingkungan yang kaya akan sulfat yaitu pada lingkungan dengan fluida hidrotermal bersifat asam.

Zeolith (Ze), terdapat pada kedalaman tertentu saja yaitu pada kedalaman 586-756,47 m dalam jumlah relatif sedikit yaitu antara 1-12% dari total mineral ubahan pada batuan. Berwarna putih transparan, kadang-kadang belahannya membentuk kipas. Jenis zeolith kemungkinan laumontit dan wairakit. Zeolith menunjukkan pembentukannya oleh jenis fluida bersifat netral dengan temperatur relatif tinggi.

Epidot (Ep), ditemukan mulai pada kedalaman 703 m hingga kedalaman akhir (756,47 m) dalam jumlah relatif sedikit yaitu antara 1-8% dari total mineral ubahan pada batuan. Terdapat 3 macam pembentukan epidot yang dikenal pada sumur MT-4 ini yaitu : Epidot yang terbentuk sebagai *replacement* dari masa dasar gelas vulkanik dan plagioklas pada batuan andesit. Epidot jenis ini terbentuk pada temperatur diatas 230° C (Lawless, 1994). Epidot pada sumur MT-4 ini juga terdapat sebagai urat (vein) pengisi rekahan pada batuan dan sebagai vug, pengisi rongga terutama pada andesit. Epidot yang terdapat sebagai vein atau vug, terbentuk pada temperatur antara 260° - 280° C (Lawless, 1994).

Secara keseluruhan tipe ubahan dapat dibagi menjadi :

Overburden, lapisan penutup yang belum mengalami ubahan hidrotermal yaitu pada kedalaman 0-3 m.

Tipe Argilik dari kedalaman 3-493 m berfungsi sebagai lapisan penudung (cap rock / clay cap)

Tipe Phyllic dari kedalaman 550-556 m berfungsi sebagai lapisan transisi,

Zona Transisi, dari kedalaman 556-659 m, merupakan lapisan transisi menuju ke lapisan reservoir dan

Tipe Propilitik sebagai zona reservoir.

Struktur Geologi

Struktur geologi dapat ditafsirkan dari sifat fisik batuan seperti kehadiran breksiasi, milonitisasi, yang dikombinasikan dengan parameter pemboran seperti hilang sirkulasi dan “drilling break”

Sedikitnya terdapat tiga zona struktur sesar normal yang terjadi pada sumur MT-4 yaitu :

- Hilang sirkulasi total (TLC, Tabel 1) dan hilang sirkulasi sebagian yang terjadi pada kedalaman 47,20 m, 50,10 m, 50,75 m dan 54,10 m; merupakan satu zona rekahan akibat struktur sesar, diduga struktur sesar ini sama dengan struktur MF 4 (Tagamori et al. 2000).
- Drilling break yang terjadi pada kedalaman 71 m (ROP=143 menit/meter) dan 72 m (ROP=30 menit/meter). Drilling break yang terjadi pada kedalaman 95 m (ROP=250 menit/meter) dan 96 m (ROP= 17 menit/meter) serta drilling break yang terjadi pada kedalaman 125 m (ROP=45 menit/meter) dan 126 m (ROP=172 menit/meter). Ketiga drilling break tersebut merupakan satu struktur sesar yang membentuk tiga segmen sesar. Zona sesar ini diduga sebagai sesar MF 2 (Tagamori, 2000).
- Hilang sirkulasi yang terjadi pada kedalaman 659 m dan 702 m diduga sebagai zona sesar Wailuja.

Pengukuran Logging

Pengukuran logging hanya dilakukan sampai kedalaman 245 m; dari hasil pengukuran yang didapat di lapangan kemudian dilakukan

perhitungan dengan metoda Horner Plot logging temperatur dengan interval kedalaman satu meter, mulai dari permukaan sampai kedalaman 245 m. Diperoleh harga temperatur terukur hingga kedalaman 245 m adalah sebesar 125,8° C dan initial temperatur formasi pada kedalaman 245 m ini adalah 142° C.

Gradient temperatur berdasarkan harga temperatur terukur adalah 36°C per 100 meter dan gradient temperatur berdasarkan initial temperatur adalah 41,63° C per 100 meter.

DISKUSI

Litologi Sumur MT - 4 mulai dari permukaan sampai kedalaman 756,47 disusun oleh endapan piroklastika, breksi tufa berubah, andesit berubah dan tufa dasitik berubah. Breksi tufa berubah diperkirakan sebagai endapan piroklastika (kemungkinan aliran piroklastika) yang berasal dari daerah sekitarnya. Breksi tufa berubah ini ditemukan berselang seling dengan andesit berubah.

Struktur geologi yang terdapat di sumur MT - 4 ditafsirkan dari adanya hilang sirkulasi (loss) sebagian atau loss total saat berlangsungnya proses pemboran, adanya perbedaan kekerasan batuan yang sangat menyolok. Tercatat telah terjadi tiga kali loss total yaitu pada kedalaman 47,20 m, 50,10 m dan 50,75 m. Sedangkan hilang sirkulasi sebagian (*partial loss*) terjadi pada kedalaman 54,10 m, 659 m dan 702 m.

Terjadinya hilang sirkulasi total (TLC) pada kedalaman 47,20 m, 50,10 m, 50,75 m dan kejadian hilang sirkulasi sebagian (PLC) pada kedalaman 54,10 diduga merupakan satu zona rekahan yang sama yaitu sebagai struktur sesar.

Struktur sesar lainnya dicirikan oleh adanya drilling break pada kedalaman 71 dan 72 m (ROP di kedalaman 71 m = 250 menit/meter dan di 72 m = 30 menit/meter), drilling break pada kedalaman 95 dan 96 m (ROP di 95 m =143 menit/meter dan di 96 m = 17 menit/meter) dan drilling break yang terjadi pada kedalaman 125 m dan 126 m (ROP di 125 m =45 menit/meter dan di 126 m = 172 menit/meter). Ketiga zona drilling break ini dianggap sebagai segmen sesar yang sama. Dalam pemetaan geologi di permukaan, struktur ini tidak terekam, tetapi menurut Tagamori et al. 2000 di sekitar sumur MT 4 terdapat 4 buah struktur sesar sebagai *deep resistivity discontinuity* yaitu struktur MF 1, MF 2, MF 3 dan MF 4.

Hilang sirkulasi sebagian terjadi pada kedalaman 659 m berhubungan dengan sesar normal Waeluja. Hilang sirkulasi sebagian (PLC) yang terjadi pada kedalaman 702 m kemungkinan sebagai segmen sesar normal Waeluja atau sebagai deep resistivity discontinuity MF-3 (Tagamory et al., 2000, Akasako et al. 2002). Dengan demikian sumur MT 4 telah memotong 3 buah zona sesar yaitu pada kedalaman antara 47,2-54,10 m, 71-126 m dan 659-702 m.

Secara keseluruhan batuan yang terdapat pada sumur MT 4 kedalaman 0-3 m belum mengalami ubahan hidrotermal, sedangkan batuan yang terdapat pada kedalaman 3-756,47 m telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas lemah hingga sangat kuat (SM/TM=10-85%). Komposisi mineral ubahan terdiri dari mineral lempung, kuarsa sekunder, oksida besi, dengan/tanpa klorit, kalsit, pirit, ilit, gipsum, anhidrit, zeolit dan epidot.

Pembentukan mineral ubahan hidrotermal pada kedalaman 3-493 m adalah sebagai hasil replacement dari mineral utama pembentuk batuan seperti plagioklas, mineral hitam dan masa dasar / matrik. Mineral ubahan yang terbentuk adalah mineral lempung, oksida besi, kuarsa sekunder dengan / tanpa klorit, kalsit/karbonat, anhidrit dan gipsum. Klorit yang berasosiasi dengan smektit ditemukan pada beberapa kedalaman, terbentuk karena replacement mineral utama dan terjadi karena sirkulasi fluida dalam bentuk air (geothermal water) pada batuan klastik bersifat porus. Pada beberapa lapangan panas bumi seperti di Iceland kondisi seperti ini dapat terjadi pada temperatur antara 200-230°C. Di Filipina lapisan klorit-smektit hadir pada temperatur di bawah 270°C. dan termasuk dalam *tipe ubahan Argilik* (Lawless et al. 1994). Dengan demikian mineral ubahan pada batuan yang terbentuk pada selang kedalaman 3-493 m termasuk dalam *tipe ubahan Argilik* yang berfungsi sebagai *batuan penudung panas (cap rock/clay cap)*. Jenis fluida yang mempengaruhi pembentukan mineral ubahan di daerah ini bersifat netral hingga asam dengan temperatur lebih rendah dari 230°C.

Pembentukan mineral ubahan hidrotermal pada kedalaman 493-556 m adalah sebagai

hasil replacement, ubahan juga ditemukan dalam bentuk vein dan sebagai vug. Mineral ubahan yang terbentuk pada selang kedalaman ini dicirikan oleh proses *bleaching* (batuan didominasi oleh mineral ubahan berwarna putih) seperti kaolinit, kuarsa sekunder, anhidrit dan digolongkan sebagai tipe ubahan *Phillic* kemungkinan sebagai bagian dari zona transisi dari tipe argilik ke tipe propilitik.

Pembentukan mineral ubahan pada kedalaman antara 556-659 m juga sebagai hasil replacement mineral utama pembentuk batuan, sebagai vein/urat dan vug. Mineral yang terbentuk pada selang kedalaman ini adalah mineral lempung, klorit, kalsit, kuarsa sekunder, oksida besi, pirit, anhidrit ilit dan zeolith. Pada batuan yang bersifat permeabel ilit dapat terbentuk dalam jumlah yang cukup banyak, kehadiran ilit pada sumur MT-4 terdapat dalam jumlah relatif sedang (maksimum 10% dari total mineral ubahan pada batuan yaitu pada kedalaman antara 604-610 m) Fluida yang mempengaruhi pembentukan ilit bersifat netral hingga asam dan di Filipina ilit hadir pada temperatur 220-310°C (Lawless, 1994). Mineral ubahan hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman 556-659 m termasuk dalam zona *transisi*, antara tipe argilik dengan tipe propilitik (zona reservoir).

Pembentukan mineral ubahan hidrotermal dari kedalaman 659-756,47 m dicirikan oleh kehadiran mineral ubahan yang terbentuk pada temperatur tinggi seperti ilit, zeolith dan epidot. Jenis zeolith yang ditemukan di daerah ini kemungkinan *loumontit dan wairakit*, mencirikan pembentukannya oleh fluida bersifat netral (dominasi air).

Epidot yang terdapat pada sumur MT - 4 mulai pada kedalaman 703 m, kemungkinan sudah terdapat pada kedalaman sebelumnya. Terdapat tiga jenis pembentukan epidot di daerah ini yaitu sebagai replacement, sebagai vein dan sebagai vug. Epidot sebagai replacement terbentuk pada temperatur lebih besar dari 230°C, sedangkan sebagai vein dan vug terbentuk pada temperatur antara 260-280°C (Lawless, 1994).

Dengan demikian mineral ubahan hidrotermal pada kedalaman 659-756,47 m termasuk dalam *tipe ubahan propilitik* (zona reservoir).

Dari data temperatur lumpur pembilas mulai dari kedalaman 3 m hingga 659 m belum menunjukkan lonjakan temperatur yang signifikan. Pada selang kedalaman 659 m hingga kedalaman akhir (756,47 m) selisih lonjakan temperatur masuk/keluar mencapai

10°-14°C, cukup tinggi dan mencirikan bahwa pemboran sumur MT-4 telah memasuki zona reservoir.

Setelah cabut habis rangkaian sampai permukaan dan setelah dilakukan set liner 6", kemudian master valve ditutup untuk mengamati tekanan kepala sumur. Tekanan maksimum di kepala sumur mencapai 3,5 KSc. Buka master valve untuk lakukan flowing, tidak terjadi flowing, lakukan swabbing, hanya dalam waktu 15 menit (dua kali swabbing) akhirnya terjadi flowing, mengeluarkan semburan uap air, diawali dengan aliran air/lumpur berwarna hitam disusun dengan kolom air setinggi ± 5 m. Tutup kembali master valve, amati tekanan kepala sumur, tekanan maksimum di kepala sumur mencapai 36 KSc, setelah ± 10 jam tekanan menurun hingga 28 KSc, diduga telah terjadi kondensasi sehingga tekanan di kepala sumur menurun sampai 20 KSc. Buka master valve dan lakukan flowing selama satu hari (24 jam), sumur menyemburkan uap dengan kandungan air yang cukup banyak. Kemudian flowing dialirkan ke silencer.

KESIMPULAN

- Litologi sumur MT - 4 terdiri dari endapan piroklastika, selang seling antara breksi tufa terubah dan andesit terubah serta tufa dasitik terubah
- Sumur MT 4 telah memotong 3 buah zona sesar yaitu pada kedalaman antara 47,20-54,10 m, 71-126 m dan 659-702 m.
- Sepatu selubung 13 3/8", 10", 8" dan Liner 6" masing-masing diset pada kedalaman 55,22 m, 241 m, 467,85 m dan 756 m.
- Batuan telah mengalami ubahan hidrotermal oleh proses argilitisasi, oksidasi, silisifikasi/devitrifikasi, dengan/tanpa piritisasi, karbonatisasi, kloritisasi, anhidritisasi, gipsumisasi, ilitisasi, zeolithisasi dan epidotisasi dengan tingkat ubahan lemah sampai sangat kuat ($S^M/TM = 10 - 85\%$)
- Batuan pada kedalaman 0-3 m belum terubah hidrotermal berfungsi sebagai lapisan penutup (*Overburden*), Ubahan

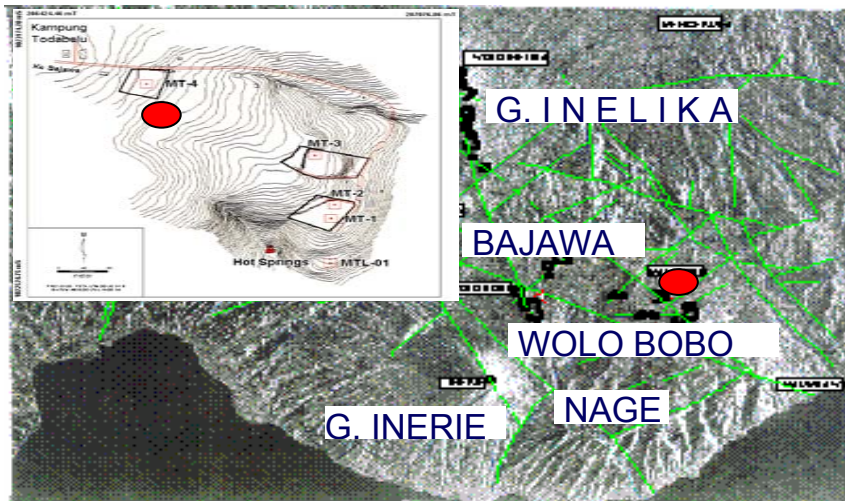
hidrotermal uan dari kedalaman 3-493 termasuk dalam tipe ubahan *Argilik* yang berfungsi sebagai batuan penudung panas (*cap rock / clay cap*). Batuan ubahan pada kedalaman 493-556 m termasuk tipe ubahan *Phyllic*, kedalaman 556-659 termasuk zona transisi antara tipe argilik dan tipe propilitik (zona reservoir). Batuan ubahan pada kedalaman 659-756,47 m termasuk tipe ubahan *Propilitik* (zona reservoir)

- Mineral ubahan terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan, sebagai urat-urat pengisi rekahan pada batuan (vein) dan sebagai pengisi rongga pada batuan (vug). Pada zona reservoir (*tipe propilitik*) terdapat mineral ubahan penunjuk temperatur tinggi seperti zeolith dan epidot. Diduga fluida pembentuk batuan ubahan bersifat asam hingga netral dengan temperatur pembentukan antara 230-280°C.
- Hasil pengukuran temperatur logging pada kedalaman 245 m adalah sebesar 125.8°C dan Initial temperatur/temperatur formasi pada kedalaman 245 meter adalah 142°C. Gradient temperatur berdasarkan harga temperatur terukur adalah 36°C/100 meter dan gradient temperatur berdasarkan initial temperatur adalah 41.63 °C/100 meter.
- *Slotted liner 8"* (lubang 9 5/8") dan 6" (lubang 8" dan 7 5/8") dipasang di masing-masing interval kedalaman 241 - 467,68 m dan 462 hingga kedalaman akhir (756,47 m), yang dimaksudkan untuk menangkap uap panas bumi dari reservoir/zona permeabilitas.
- Setelah di swabbing dalam waktu 15 menit (dua kali swabbing) sumur menyemburkan uap air dengan kandungan air cukup banyak. Setelah menutup master valve tekanan di kepala sumur mencapai 36 KSc.
- Dengan tekanan yang cukup besar tersebut, diharapkan potensi sumur MT-4 akan menghasilkan tenaga listrik yang cukup besar.

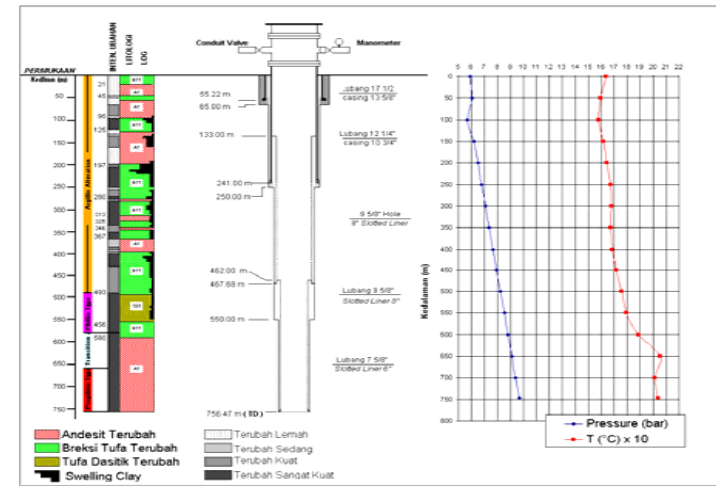
DAFTAR PUSTAKA

Akasako, H., Matsuda, K., Tagamori, K., Koseki, T., Takahashi, H. and Dwipa, S. 2002): Conceptual models for geothermal system in the Wolo Bono, Nage and Mataloko field, in Bajawa area, Central Flores, Indonesia. Special Publication : Indonesia – Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, p. 395 –410.

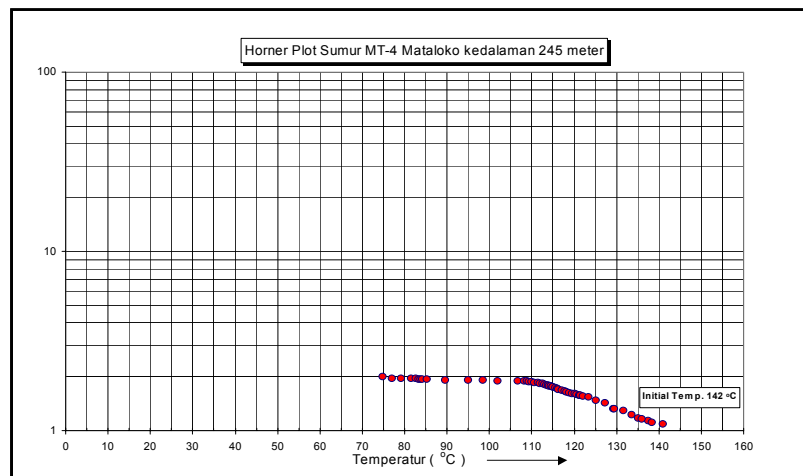
- Browne, P.R.L., 1993 : Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems. Lecture of geothermal student , Auckland University. NZ.
- , 1970 : The Ohaki Broadlands Hydrothermal Area, New Zealand : Mineralogy and Related Geochemistry. American Jour. Of Sci vol. 269; p.97-131.
- Fredy N. dkk, 1997 : Geologi Daerah Panas Bumi Mataloko, Kabupaten Ngada, Flores – NTT. Laporan Dit. Vulk. Tdk dipubl.
- , 1998 : Laporan Geologi dan Pemetaan Batuan Ubahan Daerah Panas Bumi Mataloko, Kabupaten Ngada, Flores Tengah-NTT. Laporan Dit. Vulk. Tdk dipubl.
- Hamilton, W.B., 1979 : Tectonic of The Indonesia Region. USGS Professional Paper 1078.
- Koesoemadinata, K. dkk., 1981 : Preliminary Geological map of The Ruteng quadrangle, Flores, Nusa Tenggara, Indonesia. GRDC, Bandung.
- Nanlohy, F., 2000 : Subsurface Geology of The Mataloko Shallow Well (MTL-1) The Mataloko Geothermal Field, Ngada, NTT, Flores- Indonesia. IAVCEI (18-22 July 2000), Bali-Indonesia.
- Nanlohy, N., Dedi Kusnadi dan B. Sulaeman, 2001 : Geology and Geochemistry of Mataloko Geothermal Field, Central Flores, East Nusa Tenggara. Proceeding of The 5 th INAGA Scientific Conference & Exhibitions, Yogyakarta, March 7-10, 2001.
- Nanlohi, N., 2004 : Laporan Pemboran Sumur Eksplorasi MT-4, Lapangan Panas Bumi Toda Belu, Mataloko, Ngada, Nusa Tenggara Timur. Laporan DIM, tdk dipubl.
- Nanlohy, F., Sitorus, K., Kasbani, Dwipa, S and Simanjuntak, J. (2002). Sub surface geology of the Mataloko geothermal field, deduced from MTL –01 and MTL-2 wells, Central Flores, East Nusatenggara, Indonesia. Special Publication : Indonesia – Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, p 335 – 345.
- Sitorus, K., Fredy, N (2000) Subsurface Geology of the Mataloko Shallow Well (MTL–01), the Mataloko Geothermal Field , Ngada – NTT, Flores – Indonesia. IAVCEI (18 –22 July 2000), Bali – Indonesia.
- Sitorus K, F. Nanlohy, 2001, Drilling Activity in The Mataloko Geothermal Field Ngada, NTT, Flores, Indonesia. Proceeding of 5 th INAGA annual scientific conference and exhibitions. Yogyakarta, March 7-10, 2001.
- Suparman, 2000. Laporan Wellsite Geologist dan Analisis Batuan Sumur Eksplorasi MT-1, Lapangan Panas Bumi Daerah Mataloko, Flores Nusatenggara timur. Laporan Dit. Vulk. Tdk dipubl..
- Tagamori, K., Saito, A., Koseki, T., Takahashi, H., Dwipa S. and Futagoishi, M. (2002). Geology and hydrothermal alterations, and those correlation to physical properties obtained from gravity and resistivity measurements in the Mataloko geothermal field. Special Publication : Indonesia – Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island, p. 383 – 394.
- Takahashi, H., et al. (1998). Geothermal Geological Map of Mataloko, Wolo Bobo and Nage Areas, Flores – Indonesia. 1998 Interim Report, Geol. Surv. Japan 1-3 Higashi 1 – chome, Tsukuba, Ibaraki, 305 – 8567 Japan.



Gb.1 Lokasi Sumur Deliniasi MT-4, Lapangan Panas Bumi Toda Belu Mataloko



Gb.2 Litologi Log, Konstruksi Sumur dan Logging P dan T Lapangan Panas Bumi Toda Belu, Mataloko, Ngada – Flores, NTT.



Gb. 3 Horner Plot Sumur MT-4, kedalaman 245 m, Sumur MT - 4, Lapangan Panas Bumi Toda Belu Mataloko, Ngada, Flores-NTT



Gb. 4 Uap air yang keluar melalui Sumur MT-4 saat di flowing.

Tabel 1. Data Hilang Sirkulasi Sebagian / Total Sumur MT-4, Lapangan Panas Bumi Toda Belu, Mataloko, Ngada, Flores - NTT

UMUR	LITOLOGI				
	Muraoka, H. et. Al. (1998, 1999)	UMUR ABSOLUT (JT Th)	Takahashi, H., et al. (1998)	F.Nanlohy dkk. (1998)	
KUARTER	HOLOSEN	Altavium (Qa) Lahar deposits (lh)		Superficial deposit (a)	Aluvium (Al)
		Inerie Basalt (In)		Inerie volcanic (Ie)	tdk tersingkap
		Wolo Bobo Andesite (Bb) Inelika Andesite (Ik) Mataloko Andesite (Mk)		Inelika volcanic (Ik)	
	PLISTOSEN	Bajawa Andesite (Bj)	0.17 - 0.01	Volcanic cones (C)	W. Belu, Bela, Riti, Nawa and W. Lolo
		Aimere Scoria Flow Deposits (As) Wolo Sasa Andesite ? (Sa)	> 0.15 > 0.73	Bajawa caldera product (Bc)	W. Phea pyroclastic deposits
		?	1.1	Old volcanic (V1)	W. Pena, Rige, Pure, Sasa (cones) etc.
TERSIER	PLIOSEN	UNCONFORMITY	1.6	Oldest volcanic (Vo)	Rotogesa volcanic deposits Watumanu lava flow
		Waebela Basalt (Wa)	2.40 - 1.61	Green Tuff (GT)	Green Tuff (GT)
	Wolo Mere Andesite (Me) Aesesa Formation (Wt)				
	UNCONFORMITY	2.5	3.7 - 2.4	Mombawa volcanic (Tvm)	?
	UNCONFORMITY	3.37 4.43 - 2.96			
MIOSEN	Wangka Andesite (Wn) Maumbawa Basalt (Mb)				
	UNCONFORMITY				
	Formasi Kiro (Nishimura et al., 1977)	19 ± 1		Formasi Kiro (Nishimura et al., 1977)	

Tabel 2 Korelasi Stratigrafi Daerah Ngada, Flores – Nusa Tenggara Timur

No.	KEDALMN	HILANG	SIRKULASI (Lpm)	SPM	RPM	TEKANAN	KETERANGAN
	(m)	SEBAGIAN (PLC)	TOTAL (TLC)				
1.	47,20	-	500	54/54	75-80	0	Atasi loss dengan semen sumbat
2.	50,10	-	500	54/54	75-80	0	Atasi loss dengan semen sumbat
3.	50,75		500	54/54	75-80	0	Atasi loss dengan semen sumbat
4.	54,10	100		54/54	75-80	5	Atasi loss dengan LCM lokal
5.	659,27	450		60/60	80-85	3-5	Atasi loss dengan LCM lokal
6.	702,00			60/60	80-85	3-5	Atasi loss dengan LCM lokal