

**PEMBORAN SUMUR LANDAIAN SUHU MM-1, LAPANGAN PANAS BUMI  
MARANA, KABUPATEN DONGGALA – SULAWESI TENGAH**

**Oleh : F. Nanlohi, Z.Boegis, Dikdik R.**

**SARI**

Sumur MM-1 merupakan sumur pertama yang dibor pada lapangan panas bumi Marana, Sulawesi Tengah. Sumber panas berasal dari sisa magma pembentuk batuan intrusi bawah permukaan, terekam sebagai anomali gravity yang terdapat di sebelah timurlaut manifestasi panas bumi Marana dan Masaingi.

Litologi sumur landaian suhu MM-1 terdiri dari endapan aluvial (0-3 m) yang tidak mengalami ubahan hidrotermal, endapan rombakan batuan ubahan (3-39 m), dan batu pasir terubah (39-185 m). Sumur MM-1 miskin rekahan/struktur karena selama proses pemboraaan hanya terjadi satu kali hilang sirkulasi sebagian pada kedalaman 22,5-25 m.

Batuan dari kedalaman 39-185 m telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas ubahan sedang-kuat (SM/TM=25-60%) dicirikan oleh proses ubahan argilitisasi, piritisasi, silisifikasi/devitrifikasi dengan/tanpa gipsumisasi, anhidritisasi, kloritisasi dan zeolitisasi.

Batuan dari permukaan hingga kedalaman 39 m terdiri dari endapan aluvial yang tidak terubah dan endapan rombakam batuan ubahan, kedua satuan batuan ini berfungsi sebagai lapisan penutup/overburden. Batu pasir terubah (39-60 m) termasuk dalam tipe ubahan argilik berfungsi sebagai batuan penudung panas (*cap rock/clay cap*). Batu pasir terubah dari kedalaman 60-185 m termasuk kedalam tipe ubahan *phyllic* sebagai zona transisi.

Secara keseluruhan mineral ubahan yang terdapat pada sumur MM-1 terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan dan masa dasar/matrik dari semua jenis batuan yang terdapat di daerah ini. Sebagian kecil dari mineral ubahan tersebut terbentuk sebagai pengisi rekahan pada batuan(vein) dan pengisi rongga pada batuan (vug). Mineral ubahan tersebut berasal dari fluida bersifat netral dengan temperatur pembentukan relatif rendah ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) hingga temperatur tinggi ( $\pm 320^{\circ}\text{C}$ ).

Pengukuran logging temperatur dilakukan sebanyak empat kali yaitu pada kedalaman 60 m, 104 m, 153 m dan pada kedalaman akhir, 185 m. Tiga pengukuran pertama gagal dilakukan karena sensor pada probe temperatur mengalami kerusakan. Logging temperatur pada kedalaman 185 m mencapai  $104^{\circ}\text{C}$ .

## PENDAHULUAN

Sumur landaian suhu MM-1 merupakan sumur uji pertama yang dilakukan di daerah panas bumi Marana, Donggala, Sulawesi Tengah. Lokasi sumur MM-1 berada  $\pm 40$  Km di sebelah utara kota Palu sebagai ibukota propinsi Sulawesi Tengah (**Gb.1**). Daerah panas bumi Marana sendiri merupakan daerah panas bumi non vulkanik, dimana sumber panas diduga berasal dari sisa magma yang terekam sebagai daerah anomali gravity. Ke arah bagian timur hingga himurlaut pemunculan manifestasi panas bumi Marana dan Masaingi ditemukan anomali yang diduga sebagai batuan intrusi yang tidak muncul ke permukaan. Batuan lainnya yang terdapat di sekitar daerah panas bumi Marana adalah batuan berumur pra Tersier dan Tersier yang terdiri dari batuan metamorf, batuan sedimen dan granit. Selama ini pemboran sumur landaian suhu dilakukan di daerah vulkanik dan baru kali ini dilakukan di daerah non vulkanik. Diharapkan pemboran sumur landaian suhu di daerah non vulkanik ini dapat memberi gambaran untuk pemboran-pemboran landaian suhu lainnya yang akan dilakukan di daerah non vulkanik yang banyak terdapat di P.Sulawesi ini.

## HASIL PENYELIDIKAN TERDAHULU

Sudah sejak dahulu telah dilakukan penelitian geologi secara regional maupun rinci di daerah Sulawesi Tengah, khususnya di daerah panas bumi Marana, Kabupaten Donggala. Penyelidikan yang paling penting yang berhubungan dengan panas bumi adalah penyelidikan panas bumi terpadu (geologi, geokimia dan geofisika) yang dilakukan oleh tim survey wilayah Sulawesi Tengah. Ringkasan hasil penyelidikannya adalah sebagai berikut : Stratigrafi daerah panas bumi Marana dibangun oleh enam satuan batuan yaitu batuan sekis hijau berumur Trias, granit gneis berumur Trias, granit berumur Tersier, batuan sedimen berumur Tersier Atas, batu gamping berumur kuartar dan endapan aluvial berumur Holosen. Struktur utama pengontrol pemunculan manifestasi panas bumi di daerah ini adalah struktur graben yang dibentuk oleh sesar normal Masaingi dan sesar normal Marana. Hasil penyelidikan gaya berat ditemukan anomali positif yang relatif tinggi ( $>5$  mgal) dibanding sekitarnya yang nampak pada anomali sisa dan pada penampang gaya berat. Hal ini mengindikasikan adanya batuan intrusi di bawah permukaan di sebelah timurlaut daerah manifestasi panas bumi Marana dan Masaingi. Sisa

magma dari batuan intrusi inilah yang dianggap sebagai sumber panas di daerah panas bumi Marana. Dari hasil penyelidikan geolistrik menunjukkan daerah prospek terdapat di sekitar manifestasi panas bumi Masaingi, yaitu pada lintasan E (E-1000 dan E-2000) dan lintasan D (D-3000), di daerah ini batuan penutupnya adalah batuan sedimen (tebal rata-rata 200-650 m) terdapat pada kedalaman 435-800 m. Di bawahnya ditapsirkan sebagai batuan intrusi pada kedalaman 500-800 m, cenderung lebih dalam ke arah selatan, mempunyai densitas rendah dibanding sekitarnya dan mempunyai supsetibilitas rendah dari hasil penyelidikan geomagnetik dan mempunyai tahanan jenis sedang sampai tinggi. Luis daerah prospek  $\pm 6$  Km<sup>2</sup> dengan potensi sebesar 24-40 MWe.

## HASIL PEMBORAN

### KRONOLOGI DAN KONSTRUKSI SUMUR

Pemboran sumur landaian suhu MM-1 diawali dengan tajak sumur memakai tricone bit (TB) 7 7/8", dilanjutkan dengan bor formasi sampai kedalaman 5,5 m, sirkulasi pakai lumpur. Cabut rangkaian TB 7 7/8" + T-90 sampai permukaan, masuk casing 6" dari permukaan sampai kedalaman 5,5 m, semen permukaan casing dan tunggu semen kering. Masuk rangkaian TB 5 5/8" dari permukaan sampai kedalaman 5,5 m, bor formasi hingga kedalaman 28 m ini telah dilakukan semen sumbat sebanyak tiga kali, karena batuan di daerah ini merupakan batuan lepas, yang berpotensi meruntuhkan dinding formasi, disamping itu juga terjadi hilang sirkulasi sebagian (PLC = 10 liter/menit). Setelah semen sumbat, lanjut bor formasi sampai kedalaman 40 m, temperatur lumpur keluar mulai naik menjadi 35°C, lanjut bor sampai 52,5 m, temperatur lumpur keluar naik menjadi 41°C, lanjut bor sampai kedalaman 60 m, temperatur lumpur keluar makin tinggi sehingga selisih temperatur lumpur keluar dengan temperatur lumpur masuk mencapai 12°C (Tin/out=30/42°C). Stop bor, lakukan sirkulasi pakai lumpur untuk mendinginkan sumur, persiapan untuk logging temperatur pertama, ada aliran air panas yang keluar dari lubang sumur dengan debit sebesar 4 liter/menit, T=48°C. Masuk probe temperatur, pengukuran logging temperatur gagal karena sensor temperatur bermasalah, termometer maksimum yang ditandem pada probe menunjukkan temperatur maksimum sebesar 75°C. Cabut probe sampai permukaan, masuk casing 4" sampai kedalaman 59,5 m, sirkulasi bersihkan lubang dan anulus, lakukan semen casing sebanyak 15 sak semen + air (bubur semen =600 liter, SG=1,7), dorong pakai air dan tunggu semen

kering, lakukan top job sebanyak 1 sak semen, lanjut tunggu semen kering sambil pasang master valve. Masuk rangkaian CB + NQ untuk jajagi puncak semen (puncak semen=48m), bor semen (coring) sampai kedalaman 60 m, lanjut bor formasi (coring) sampai kedalaman 104 m. Cabut rangkaian CB + NQ sampai permukaan sambil persiapan logging temperatur. Masuk probe temperatur yang ditandem dengan temperatur maksimum sampai kedalaman 104 m, pengukuran logging temperatur gagal karena sensor bermasalah, termometer maksimum menunjukkan temperatur 84°C. Cabut probe sampai permukaan. Masuk rangkaian CB + NQ sampai kedalaman 104 m, sirkulasi kondisikan lumpur, bor formasi (coring) sampai kedalaman 119 m, sirkulasi pakai air, ada aliran air panas dari bawah permukaan dengan temperatur 76°C dan debit ± 5 liter/menit. Lanjut bor formasi (coring) sampai kedalaman 153 m, stop bor untuk pengukuran logging temperatur. Pengukuran logging gagal, karena alat bermasalah, termometer maksimum menunjukkan 95°C. Lanjut bor dari kedalaman 153 sampai 185,30 m, sirkulasi pakai air, T in/out = 30°/49°C stop bor karena aliran air panas makin banyak. Lakukan monitoring temperatur air panas yang keluar dan debit air panas (T air panas = 95°C, debit = 317 liter/menit). Lakukan logging temperatur, temperatur maksimum di dasar sumur adalah 103,8°C, setelah pengukuran logging, sumur ditutup dengan semen sumbat. Selesai pemboran sumur MM-1. Untuk konstruksi sumur adalah sebagai berikut : lakukan pemboran lubang 7 7/8" dari permukaan sampai kedalaman 5,5 m, masuk casing 6". Pemboran lubang 5 5/8" dari kedalaman 5,5 m sampai kedalaman 60 m, set dan semen casing 4" dari permukaan sampai kedalaman 59,5 m. Pemboran lubang 3,5" (open hole) dari kedalaman 60 m sampai kedalaman 180,30 m. Konstruksi sumur MM-1 disajikan dalam **Gb. 2**.

## **GEOLOGI SUMUR**

Stratigrafi sumur MM-1 (**Gb.3**) disusun oleh endapan aluvial (0-3 m), endapan rombakan batuan ubahan (3-39 m), batu pasir terubah (39-185 m).

**Endapan Aluvial**, terdiri dari endapan sungai, terutama endapan sungai Masaingi yang terdiri dari batuan lepas dari berbagai jenis batuan dengan ukuran butir bervariasi dari lumpur hingga bongkah. Terdiri dari batuan metamorf (sekis), granit, granodiorit, diorit, sebagian dari komponen batuan tidak mengalami ubahan hidrotermal.

**Endapan Rombakan Batuan Ubahan**, terdapat pada kedalaman 3-39 m, dengan ketebalan ± 36 m, terdiri dari batuan lepas dengan komponen sekis,

granit, granodiorit, diorit yang telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas sedang hingga kuat. Sumber asal dari batuan tidak diketahui, karena penyebarannya tidak ditemukan di permukaan.

**Batu Pasir Terubah** terdapat pada kedalaman 39 – 185 m, satuan batu pasir ini mendominasi hampir seluruh batuan yang terdapat pada sumur MM-1.

Satuan batu pasir terdiri dari (bawah ke atas) konglomerat polimik, batu pasir berukuran sangat kasar sampai sangat halus serta lanau/silt. Ukuran butir ini bergradasi dari sangat halus pada bagian atas hingga sangat kasar pada bagian bawah dan lapisan yang paling bawah adalah konglomerat polimik.

Pada batuan ditemukan struktur sedimen berupa laminasi sejajar (parallel lamination), laminasi silang-siur (cross lamination) dan perlapisan bersusun (cross bedding). Terjadi perulangan perlapisan batuan sedimen ini hingga lebih dari 10 sekuen perlapisan. Melihat struktur sedimen tersebut di atas, dapat diperkirakan pembentukan atau lingkungan pembentukan batuan sedimen ini adalah lingkungan laut dalam atau sebagai batuan sedimen turbidit. Pada batuan sedimen ini ditemukan komponen atau fragmen batuan dari berbagai jenis batuan yang lebih tua seperti granit, granodiorit, batuan metamorf dan tufa. Fragmen tufa lebih dominan dibanding fragmen batuan lainnya, diduga fragmen tufa ini berasal dari endapan piroklastika hasil kegiatan vulkanisme yang tidak diketahui sumber asalnya. Apa sumber asal gunung api ini berada di laut, di Selat Makasar atau mungkin berada di daratan Sulawesi. Komponen/fragmen granit, granodiorit dan metamorf kemungkinan terbawa saat terjadi letusan, sehingga kemudian jatuh dan terendapkan pada lingkungan laut dalam. Melihat dari perulangan perlapisan yang terjadi lebih dari 10 sekuen perlapisan, menunjukkan bahwa periode kegiatan vulkanisme terjadi berulang-ulang hingga beberapa kali. Kemungkinan setelah terbentuk endapan piroklastik ini, terjadi endapan aliran lava, tetapi tidak ditemukan di daerah ini.

## **Struktur Geologi**

Gejala struktur geologi pada sumur bor dapat diindikasikan adanya breksiasi, milonitisasi, adanya hilang sirkulasi pada lumpur pembilas (TLC/PLC), adanya driling break dan lain sebagainya.

Pada sumur MM-1 gejala adanya struktur geologi hanya ditandai oleh adanya sirkulasi sebagian yang terjadi pada kedalaman 22.5 – 25 m, kemungkinan hanya merupakan struktur minor atau rekahan permukaan.

Kondisi batuan (inti bor) dari kedalaman 60 sampai dengan 170 m tidak menunjukkan adanya rekahan – rekahan yang disebabkan oleh adanya tektonik. Rekahan-rekahan halus yang terisi oleh mineral-mineral Ca, IO, Py, dan SQ baru ditemukan pada kedalaman 170 – 185 m. Tetapi pada kedalaman 170 – 181 m ini tidak terjadi hilang sirkulasi. Dengan demikian pada sumur MM-1 dapat dikatakan miskin rekahan/struktur.

## MINERAL UBAHAN

### Jenis Mineral Ubahan

Secara keseluruhan kehadiran mineral ubahan dari kedalaman 39 – 185 m dicirikan oleh adanya proses argilitisasi, piritisasi, oksidasi, silisifikasi, devitrifikasi dengan/tanpa karbonatisasi, kloritisasi, anhidritisasi, gisumnisasi, zeolitisasi dan epidotisasi.

Jenis mineral ubahan yang ditemukan pada sumur MM-1 adalah :

**Mineral Lempung (Cl)**, terdapat hampir pada semua kedalaman dari 3 – 185 m dalam jumlah sedang hingga sangat banyak (5 – 65 %) umumnya terbentuk karena proses argilitisasi sebagai replacement (terubah dan tergantikan) dari mineral utama dan masa dasar/matrik dari semua batuan yang terdapat di daerah ini.

**Kalsit /Karbonat (Ca)**, terdapat hanya pada kedalaman tertentu saja yaitu pada kedalaman 54 – 104 m (1 - 10%) dan kedalaman 125 – 185 m (1 – 5 %). Terbentuk sebagai ubahan hidrotermal terubah dan digantikan dari mineral utama pembentuk batuan dan matrik/masa dasar batuan, sebagian kecil sebagai vein (urat-urat halus pengisi rekahan pada batuan).

**Klorit (Ch)**, terdapat pada kedalaman tertentu saja yaitu pada kedalaman 9 - 30 m, 48 – 54 m, 66 – 80 m dan 125 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit (1 – 6 %). Umumnya terbentuk dari hasil replacement dari mineral utama pembentuk batuan dan masa dasar/matrik, sebagian kecil sebagai vein yang berasosiasi dengan pirit, oksida besi dan kuarsa sekunder.

**Pirit (Py)**, terbentuk hampir pada semua kedalaman mulai dari 3 – 185 m dalam jumlah relative sedikit (2 – 10 %), terbentuk sebagai replacement dari mineral utama dan masa dasar/matrik pada batuan. Hanya sebagian kecil sebagai pengisi rekahan pada batuan (vein).

**Oksida Besi (IO)**, terdapat pada hampir semua kedalaman mulai dari kedalaman 3 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit hingga cukup banyak (1 – 20 %). Terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan dan masa dasar/matrik batuan, sebagian kecil sebagai urat-urat halus

pengisi rekahan pada batuan (Vein) berasosiasi dengan kuarsa sekunder, kalsit dan klorit.

**Kuarsa Sekunder (SQ)**, terdapat pada hampir semua kedalaman mulai dari 39 – 185 m dalam jumlah yang relatif sedikit (1 – 8 %). Terbentuk sebagai replacement mineral plagioklas, feldspar dan masa dasar/matrik pada batuan.

Anhidrit (An), terdapat pada kedalaman tertentu yaitu pada kedalaman 50 – 54 m, 60 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit (1 – 4 %) dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan dan masa dasar/matrik pada batuan.

**Gypsum (Gy)**, terdapat dari mulai kedalaman 66 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit (1 – 4 %). Terbentuk sebagai replacement dari mineral utama dan masa dasar/matrik pada batuan.

**Illit (Il)**, terdapat pada kedalaman tertentu saja yaitu mulai dari kedalaman 60 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit (1 – 2 %) dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai replacement dari plagioklas dan mineral utama pembentuk batuan serta masa dasar gelas vulkanik.

**Zeolit (Ze)**, terdapat pada kedalaman 66 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit – agak banyak (1 – 10 %) dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan terutama plagioklas dan glas vulkanik. Sebagian kecil sebagai pengisi rongga pada batuan(Vug).

**Epidot (Ep)**, terdapat mulai dari kedalaman 101 – 185 m dalam jumlah relatif sedikit yaitu ( 1 %) dari total mineral ubahan pada batuan. Terbentuk sebagai replacement dari mineral utama pembentuk batuan ( granit, granodiorit, metamorf dan tufa ) dan ubahan dari masa dasar/matrik batuan.

### Intensitas Ubahan

Batuan dari kedalaman 39 m hingga kedalaman 185 m umumnya telah terubah dengan intensitas ubahan sedang sampai kuat (SM/TM=25-60%), dicirikan oleh proses argilitisasi, piritisasi, silisifikasi/ devitrifikasi, dengan/tanpa gisumnisasi, ilitisasi, zeolitisasi dan epidotisasi.

### Tipe Ubahan

Batuan dari kedalaman 0-3 m adalah endapan aluvial yang tidak mengalami ubahan hidrotermal. Batuan dari kedalaman 3-39 m adalah batuan lepas yang terdiri dari endapan rombakan batuan ubahan dengan komponen yang terdiri dari berbagai jenis batuan. Batuan dari permukaan hingga kedalaman 39 m (**Gb. 3**) merupakan tanah penutup atau **Overburden**.

Batuan dari kedalaman 39-60 m adalah batu pasir terubah dengan tipe ubahan **Argilik**, berfungsi sebagai batuan penutup panas (*cap rock/clay*

cap). Batuan dari kedalaman 60-185 m adalah batu pasir berubah dengan tipe ubahan *Phyllic*, sebagai lapisan transisi.

## PEMBAHASAN

Stratigrafi sumur landaian suhu sumur MM -1 dibangun oleh endapan aluvial, endapan rombakan batuan ubahan dan batu pasir berubah. Pada batu pasir gradasi besar butir dari pasir sangat halus – pasir hingga konglomerat terlihat jelas pada inti bor dari kedalaman 60 – 185 m. Struktur sedimen berupa paralel laminasi, graded bedding, cross laminasi mencirikan endapan terbentuk pada lingkungan laut dalam.

Pada batu pasir dan konglomerat ditemukan fragmen granit, granodiorit, sabak, sekis dan tufa. Satuan batu pasir ini lebih didominasi oleh tufa sebagai hasil endapan dari batuan vulkanisme. Batu pasir ini merupakan endapan piroklastik kemungkinan endapan jatuhnya piroklastik yang tidak diketahui dari mana sumber asalnya, dan batuan piroklastik ini terdapat pada suatu cekungan diatas batuan granit, granodiorit, dan batuan metamorf.

Struktur geologi dari hasil pemetaan menunjukkan bahwa batu pasir disekitar Sungai Masaingi tidak mengalami struktur sesar, tetapi menutupi granit yang tersesarkan dengan sesar normal masaingi. Selama pemboran hanya terjadi satu kali hilang sirkulasi sebagian yaitu pada kedalaman 22.5 – 25.6 m (PLC = 10 lpm), dari kejadian PLC dapat diperkirakan bahwa terdapat struktur geologi berupa rekahan pada kedalaman dangkal, kemungkinan bukan akibat struktur sesar. Secara keseluruhan batuan telah mengalami ubahan hidrotermal dengan intensitas sedang – kuat, (SM/TM = 25 – 60%).

Mineral ubahan hidrotermal yang terdapat pada sumur MM-1 umumnya terbentuk sebagai hasil replacement mineral utama pembentuk batuan seperti plagioklas, feldspar dan masa dasar/matrik. Mineral ubahan hidrotermal yang umum ditemukan di sumur MM-1 adalah mineral lempung, pirit, oksidasi besi, kuarsa sekunder, anhidrit, gypsum, zeolit dan epidot.

Mineral lempung terdiri dari mineral lempung yang terbentuk pada temperatur relatif rendah, seperti montmorilonit dan smektit lebih dalam lagi ditemukan illit sebagai mineral lempung yang terbentuk pada temperatur relatif tinggi. Mineral smektit terbentuk sebagai hasil replacement dari mineral utama pada batuan terutama plagioklas dan masa dasar/matrik, bukan merupakan mineral penunjuk temperatur tetapi pada beberapa laporan panas bumi di dunia seperti di New Zealand, Cerro

Prieto, Pilipina, Jepang, Iceland dan lapangan panas bumi lainnya smektit dapat hadir pada temperatur antara 100 – 200°C (Gab. .

Khusus untuk sumur MM-1 kemungkinan smektit terbentuk pada temperatur rendah, temperatur akhir dari hasil logging temperatur (104°C) menunjukkan bahwa smektit/montmorilonit sebagai fosil hidrotermal yang terbentuk pada masa lalu. Di New Zealand smektit ditemukan stabil pada temperatur  $\pm 140^{\circ}\text{C}$  sedangkan illit diatas  $220^{\circ}\text{C}$ , (Brown, 1993). Illit terdapat dalam jumlah yang relatif sedikit, juga sebagai fosil hidrotermal, tercatat bahwa illit dapat hadir pada temperatur antara  $140 - 310^{\circ}\text{C}$  (Cesro Prieto) dan pada beberapa laporan panas bumi dapat hadir pada temperatur  $210 - 310^{\circ}\text{C}$  (New Zealand, Salt Sea, Piliphine dll).

Kalsit hanya terdapat pada kedalaman tertentu saja ( $54 - 104$  m dan  $125 - 183$  m) dalam jumlah relatif sedikit (1 – 10 %) terbentuk umumnya sebagai urat-urat halus pengisi rekahan pada batuan bukan merupakan mineral penunjuk temperatur, tapi dapat hadir hingga temperatur  $300^{\circ}\text{C}$  di New Zealand sedangkan di Piliphina kalsit jarang ditemukan.

Pirit, kuarsa sekunder dan oksida besi terdapat sebagai replacement dari mineral utama dan masadasar/matrik pada batuan, sebagian kecil sebagai vein dan vug. Pirit dapat hadir hingga temperatur lebih kecil dari  $240^{\circ}\text{C}$ . Kuarsa sekunder dapat hadir pada temperatur antara  $150 - 330^{\circ}\text{C}$ , di Cetro Priesto  $> 100^{\circ}\text{C}$  di Pilipina  $> 180^{\circ}\text{C}$ . Jika tekanan rendah kuarsa sekunder diendapkan dari hasil pendinginan fluida (Lawless, 1994).

Yang menarik dari hasil sumur MM-1 adalah terdapatnya mineral zeolit dalam jumlah relatif besar. Pembentukan zeolit karena replacement mineral utama dan masadasar/matrik pada batuan. Menurut Brown (1993), pembentukan zeolit sangat bergantung pada temperatur oleh karena itu mineral ini sangat berguna sebagai penunjuk temperatur. Zeolit dapat terbentuk pada temperatur rendah ( $< 110^{\circ}\text{C}$ ) ditemukan pada lapangan panas bumi Iceland, diantara mineral-mineral zeolit ada yang terbentuk pada temperatur tinggi. Untuk zeolit jenis wairakit dapat mengindikasikan adanya boiling dan jenis fluida netral dengan temperatur pembentukan bervariasi dari  $180^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai  $320^{\circ}\text{C}$  (Lawless, 1994). Untuk zeolit jenis laumontit dapat menunjukkan permeabilitas rendah dan temperatur pembentukan antara  $140 - 280^{\circ}\text{C}$  (Pilipina),  $110 - 230^{\circ}\text{C}$  (Yellow stone),  $100 - 200^{\circ}\text{C}$  (Jepang) dan lapangan panas bumi lainnya.

Kehadiran epidot mulai dari kedalaman 101 – 185 m terbentuk sebagai replacement mineral utama dan masadasar/matrik. Sebagai replacement temperatur pembentukannya antara 230 – 250°C (Lawless, 1994). Sebagai vein dan vug, epidot tidak ditemukan di sumur MM-1, dibanding dengan hasil logging temperatur pada sumur MM-1 (maksimum 104°C) maka kehadiran epidot disini sebagai fosil hidrotermal. Setidaknya pada masa lampau pernah terjadi fluida panas bumi bertemperatur antara 230-250°C pada kedalaman 101 – 185°C sehingga membentuk epidot. Dengan demikian dalam perkembangannya hingga kini, telah terjadi cooling down/pendinginginan fluida hingga mencapai 104°C.

Dari kehadiran mineral ubahan pada sumur MM-1 dapat ditarik kesimpulan bahwa hampir keseluruhan mineral ubahan merupakan fosil hidrotermal yang terbentuk oleh fluida hidrotermal bersifat netral dengan temperatur pembentukan mineral relatif bervariasi dari rendah (100°C) hingga sangat tinggi (320°C).

Selama proses pengeboran temperatur lumpur pembilas, tercatat mengalami peningkatan secara bertahap. Dari permukaan hingga kedalaman 40 m temperatur lumpur masuk/keluar tercatat normal saja dengan selisih temperatur ( $\Delta t$ ) antara 1-3°C. Mulai dari kedalaman 40 m temperatur lumpur keluar mulai meningkat menjadi 35°C, mulai dari kedalaman 52 m temperatur lumpur keluar meningkat lagi menjadi 41°C dan pada kedalaman 60 m selisih temperatur masuk/keluar ( $\Delta t$ ) mencapai 12°C ( $T_{in/out}=32^\circ/48^\circ\text{C}$ ) sedang temperatur dari termometer Maksimum didasar sumur mencapai 75°C.

Pada kedalaman 60 m ini ada aliran airpanas yang keluar dari sumur, kemudian dilakukan monitoring temperatur dan debit airpanas. Hasil monitoring selama 15 jam tempratur naik dari 46°C menjadi 59°C dengan debit bervariasi, maksimum mencapai 6 liter/menit. Pada kedalaman 119 m, tercatat ada aliran airpanas dari dalam sumur dengan tempratur 76°C dengan debit  $\pm 5$  lt/mnt.

Bor formasi dilanjutkan hingga kedalaman 185 m, temperatur sirkulasi air meningkat terus, tercatat temperatur air masuk antara 29 – 30°C dan keluar mencapai 49°C, selisih ( $\Delta t$ ) temperatur masuk/keluar berkisar 10 – 19°C. Tekanan air dari bawah permukaan semakin kuat, stop bor untuk melakukan monitoring temperatur dan debit airpanas yang keluar melalui sumur MM-1. Hasil monitoring selama 24 jam menunjukkan tempratur

maksimum airpanas mencapai 95°C dan debit airpanas mencapai 317 lt/mnt.

Debit airpanas yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa panas yang terjadi dialirkan secara konveksi bukan konduktif, tempratur airpanas yang mencapai permukaan tidak jauh berbeda dengan tempratur airpanas di bawah permukaan/di dasar sumur. Hasil logging menunjukkan tempratur didasar sumur sebesar 104°C.

Tempratur airpanas yang mengalir kepermukaan cukup panas dengan debit sebesar 317 lt/mnt, maka pemboran tidak dapat dilanjutkan karena pompa lumpur/air tidak mampu menahan laju airpanas dari bawah permukaan dan karet-karet pompa lumpur/air mengalami kerusakan terkena airpanas.

Dengan demikian pengeboran sumur MM-1 telah menembus zona “up flow”. Batuan dari permukaan hingga kedalaman 3 m adalah endapan alluvial berfungsi sebagai lapisan penutup/overburden, batuan dari kedalaman 3– 39 m adalah endapan rombakan batuan ubahan, sebagai lapisan penutup/overburden. Batuan dari kedalaman 39-60 m adalah batupasir terubah berfungsi sebagai batuan penudung panas atau *cap rock/clay cap* dengan tipe ubahan *argilik* sedangkan batuan dari kedalaman 60 – 185 m adalah batupasir terubah berfungsi sebagai lapisan transisi dengan tipe ubahan *phyllic*.

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan analisa batuan sumur landaian suhu sumur MM-1, lapangan panas bumi Marana – Masaingi, Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Litologi sumur MM-1 terdiri dari ; Endapan alluvial (0-3 m), endapan rombakan batuan ubahan (3-39 m), dan batu pasir terubah (39-185 m), Struktur geologi hanya dicirikan oleh terjadinya hilang sirkulasi sebagian (PLC) pada kedalaman 22.50-25 m, mencirikan adanya rekahan pada batuan.
- Batuan dari kedalaman 0-39 m belum mengalami ubahan hidrotermal dan bersifat sebagai lapisan penutup atau *overburden*. Dari kedalaman 39 – 60 m adalah batupasir terubah dengan tipe ubahan *argilic* berfungsi sebagai batuan penudung panas (*cap rock/clay cap*). Batuan dari kedalaman 60 – 185 m adalah

batupasir berubah dengan tipe ubahan *phyllitic* sebagai lapisan transisi.

- Hampir keseluruhan mineral ubahan terbentuk sebagai replacement, sedikit vein dan vug dan terbentuk oleh fluida bersifat netral dengan temperatur pembentukkan relatif bervariasi dari rendah ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ) hingga sangat tinggi ( $\pm 320^{\circ}\text{C}$ ).
- Selama tiga tahapan pengukuran logging temperatur, yaitu pada kedalaman 104 m, 153 m dan 185 m sensor pada probe temperatur mengalami gangguan, sehingga pengukuran logging temperatur gagal, hanya pengukuran logging temperatur pada kedalaman 185 m dianggap berhasil dengan temperatur maksimum yang terukur  $104^{\circ}\text{C}$ .
- Pemboran sumur landaian suhu MM-I telah menembus zona 'up flow' dicirikan dengan adanya aliran airpanas dari dalam sumur dengan temperatur mencapai  $95^{\circ}\text{C}$  dengan debit air 317 liter/menit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 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 p
- Browne, P.R.L., 1970, *Hydrothermal Alteration as an aid in investigating Geothermal fields*. Geoth. Special issue
- , 1993, *Hydrothermal Alteration and Geothermal System*, Lecture of geothermal student, University of Auckland, NZ
- , 1994, *An introduction to Hydrothermal Alteration, Geothermal System and Technology Course, 15 Augustus – 2 Sept 1994*, Pertamina in Cooperation with Uniservices of University of Auckland and Yayasan Patra Cendekia, Cirebon, Jawa barat
- 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.
- 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.
- Tim Survey Terpadu, 2004, *Laporan Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Marana, Kab. Donggala, Sulawesi Tengah*
- Tim Pemboran Landaian Suhu, 2004, *Laporan Kegiatan Pemboran Landaian Suhu, Daerah Panas Bumi Mutubusa - Sokoria, Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur*
- Tim Pemboran Landaian Suhu, 2003, *Laporan Kegiatan Pemboran Landaian Suhu, Daerah Panas Bumi Werang, Kabupaten Manggarai, Nusa Tenggara Timur.*