

# KARAKTERISTIK GEOTERMAL SUMUR EKSPLORASI AT-1, LAPANGAN PANAS BUMI ATADEI, KABUPATEN LEMBATA – NTT.

Kastiman Sitorus dan Arif Munandar  
SUBDIT PANAS BUMI

## ABSTRACT

In 2004, Geothermal Division, Directorate of Mineral Resources and Inventory (DMRI) – DGGMR has done the drilling of 2 (two) exploration wells (AT-1 and AT-2) in Atadei geothermal field, Lembata District, East Nusa Tenggara Province (NTT). The exploration well drilling took 67 days. It was started on August 3, 2004 and terminated after drilling of the 6 5/8" liner to a depth of 830.50 m. Lithology of the AT-1 well was dominated by altered andesite (62 – 830.50 m) with altered tuff breccia, altered andesite and altered tuff on the upper part (0 – 62 m). All of the rocks have been hydrothermally altered with medium to high of alteration intensity (SM/TM = 35 – 85%), characterized by argillic alteration type, transition of argillic to propylitic, propylitic type and advanced argillic type. Measured temperature of the down hole was maximum of 145.50°C (extrapolation temperature of 185°C) after 24 hours of heating up in depth of 450 m. Flowing of the AT-1 well was only 2 minutes when the well was opened at WHP of 8.0 kscg. At the completion of this report, the well of AT-2 is still in drilling operation.

## SARI

Pada tahun 2004, Subdit Panas Bumi - Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral (DJGSM) melaksanakan pengeboran 2 (dua) sumur eksplorasi (AT-1 dan AT-2) di lapangan panas bumi Atadei, Kabupaten Lembata, Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Sumur eksplorasi AT-1 ditajak pada 3 Agustus 2004 dan diselesaikan dalam 67 hari setelah pemboran trayek liner 6 5/8" menembus kedalaman 830.50 m. Litologi sumur AT-1 didominasi oleh andesit terubah (62.00 – 830.50 m) dengan breksi tufa terubah, andesit terubah dan tufa terubah di bagian atas (0 – 62.00 m). Seluruh batuan terubah hidrotermal sedang – sangat kuat (SM/TM = 35 – 85%), dicirikan oleh tipe ubahan argilik, transisi argilik – propilitik, propilitik hingga *advanced argillic*. Temperatur terukur di bawah permukaan adalah maksimum 145.50 °C (suhu ekstrapolasi 185 °C) pada pemanasan selama 24 jam di kedalaman 450 m. Semburan sumur AT-1 hanya mampu bertahan selama 2 (dua) menit ketika sumur dibuka pada TKS 8.0 kscg. Pada waktu penyelesaian laporan ini, sumur eksplorasi AT-2 masih dalam tahap operasi pemboran.

## 1 PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Atadei terletak ± 30 km di sebelah selatan Lewoleba, Ibukota Kabupaten Lembata, Nusa Tenggara Timur. Sumur AT-1 dengan ketinggian 606.4 m dpl., terdapat pada koordinat (UTM) X = 558544.58 m dan Y = 9060951.67 m (Gb. 1).

Survei geosain (geologi, geokimia dan geofisika) daerah Atadei dilaksanakan pada tahun 1977. Khusus penyelidikan *magnetotelluric* dilakukan pada tahun 2000 atas kerjasama antara GSJ – Jepang dan Direktorat Vulkanologi. Pengeboran 2 (dua) sumur landaian suhu, yakni ATD-1 (TD = 250.80 m) dan ATD-2 (TD = 250.00 m) diselesaikan pada tahun 2002. Sumur ATD-1 dengan temperatur maksimum 106.20 °C, terletak

di zona *up-flow* dalam sistem panas bumi Atadei (Sub-Direktorat Panas Bumi, 2002).

Menindak lanjuti kebijakan pemerintah dalam pengembangan energi, khususnya di Indonesia bagian timur, maka pada tahun 2004 Subdit Panas bumi – DIM, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral melaksanakan pengeboran 2 (dua) sumur eksplorasi (AT-1 dan AT-2) di lapangan panas bumi Atadei. Lokasi sumur AT-1 dan AT-2 ditempatkan di dalam kaldera Watuwawer, masing-masing berjarak sekitar 200 m dan 800 m dari sumur ATD-1. Sumur AT-2 terletak ± 80 m di sebelah timur-laut manifestasi panas bumi permukaan Watuwawer (fumarol dan *steaming ground*). Penempatan sumur di *up-flow zone* diharapkan bahwa sumur

eksplorasi AT-1 dan AT-2 dapat menyemburkan uap dalam jangka panjang.



Gambar 1. Peta Lokasi Lapangan Panas Bumi Atadei

## 2 KEGIATAN PEMBORAN

Sumur AT-1 ditajak pada 3 Agustus 2004 (jam 14.45 WITA) melalui pemboran 12 ¼" hingga kedalaman 42.25 m. Setelah perbesar lubang dengan pahat 171/2", pasang sepatu selubung 13 3/8" di 40.57 m. Trayek selubung 10 ¾" dibor dengan pahat 12 ¼" dari kedalaman 44.24 – 254.08 m, kemudian set sepatu selubung 10 ¾" di kedalaman 253.0 m. Setelah pasang annular-BOP, pemboran trayek selubung 8 5/8" dilakukan dengan pahat 9 5/8" hingga kedalaman 402.25 m. Lakukan pengukuran temperatur dari permukaan – 400.0 m, *logging tool* duduk di kedalaman 346 m. Karena usaha masuk ke posisi lebih dalam tidak berhasil, cabut *T-logging* ke permukaan, kemudian masuk rangkaian pahat 9 5/8", lanjut *reaming*, kemudian bor formasi dari 402.25 – 450.00 m. Pengukuran temperatur diulang dari 0 – 450.00 m, terbaca temperatur maksimum 145.5°C (temperatur ekstrapolasi 180°C) pada pemanasan (*heating-up*) 24 jam. Saat selubung produksi 8 5/8" dimasukkan, ternyata duduk di kedalaman 360m. Akhirnya sepatu selubung 8 5/8" diset di kedalaman 360.0 m, semen selubung dan TSK. Pemboran trayek liner 6 5/8" dengan pahat 7 5/8" dimulai dari kedalaman 452.25 hingga 830.50 m. Konstruksi sumur eksplorasi AT-1 diakhiri dengan memasukkan liner 6 5/8" di kedalam 823.11 m dan *liner hanger* di 341.80 (Gb. 2). Kegiatan pemboran sumur eksplorasi AT-1 berlangsung 67 hari kalender. Hambatan dalam operasi pemboran hanya disebabkan oleh *bit balling*, *T-logging tool* dan selubung 8 5/8" yang tidak dapat menembus ke posisi lebih dalam dari 346 – 360 m. Kejadian hilang sirkulasi sebagian (*static loss* 2 – 2.5 lpm dan 5 – 23 lpm)

tercatat di masing-masing kedalaman 324.80 – 402.25 m dan 360 – 830.50 m.

## 3. GEOLOGI SUMUR

### 3.1 Litologi dan Ubahan Hidrotermal

Hasil analisis megaskopis 297 contoh serbuk bor (*cuttings*) menunjukkan bahwa litologi sumur AT-1 (0 – 830.50 m) terutama disusun oleh andesit terubah (AT) dengan breksi tufa terubah (BTT), andesit terubah (AT) dan tufa terubah (TT) di antara 0 – 62 m. Seluruh batuan terubah hidrotermal sedang – sangat kuat (SM/TM = 35 – 85%), dicirikan oleh mineral lempung (8 – 77% dari total mineral), oksida besi (0 – 35%), pirit (0 – 30%), kuarsa sekunder (1 – 30%), anhidrit (0 – 3%), kalsit (0 – 15%), klorit (0 – 7%), gipsum (0 – 10%), epidot (0 – 4%) dan sedikit zeolit (0 – 1%). Mineral lempung (montmorilonit/smektit dan kaolinit) hadir mulai dari 0 – 830.50 m, sebagai hasil ubahan gelas vulkanik, plagioklas, piroksen dan hornblende. Prosentase mineral lempung (*swelling clay*) cukup menonjol dari permukaan – 416 m, kemudian jumlahnya menurun atau bahkan absen mulai kedalaman 416 – 590 m dan 590 – 830.50 m. Megaskopis epidot pertama dijumpai pada andesit terubah di kedalaman 590 – 608 m, selanjutnya hadir dalam jumlah kecil di kedalaman 674 – 683 m, 737 – 743 m, 758 – 764 m, 773 – 794 m dan 812 – 815 m. Prosentase mineral ubahan lainnya seperti oksida besi, pirit, kuarsa, kalsit dan gipsum kadangkala hadir cukup menonjol, sedangkan klorit, anhidrit dan zeolit dijumpai setempat-setempat dan berjumlah relatif kecil (Gb. 2).

Analisis PIMA 5 (lima) contoh serbuk bor di masing-masing interval kedalaman 416 – 419 m, 590 – 593 m, 674 – 677 m, 737 – 740 m dan 773 – 776 m menunjukkan hadirnya epidot di kedalaman 590 – 593 m dan 674 – 677 m. Montmorilonit masih terdeteksi pada batuan di kedalaman 416 – 419 m dan 737 – 740 m. Variasi mineral ubahan seperti klorit, muskovit, illit, paragonit, *pyrope* dan *dickite* terutama dijumpai pada batuan di kedalaman 674 – 776 m (Gb. 2 dan Tab. 1). Karena itu, litologi sumur AT-1 terdiri dari lapisan *overburden* (0 – 6 m), tipe ubahan argilik (*clay cap*) di antara 6 – 416 m, lapisan transisi tipe ubahan argilik – propilitik



Tabel 1. Interpretasi Spektra Hasil Pengukuran PIMA Menggunakan TSG v 3.0

No.	Sample	TSA Mineral-1	TSA Weight-1	TSA Mineral-2	TSA Weight-2	TSA Error	Asosiasi Mineral
1.	AT1 416-419	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	Montmorillonite + Paragonite + Illite + Phologopite
2.	AT1 416-419	Montmorillonite	0.59	Paragonite	0.41	386	
3.	AT1 416-419	Illite		Phologopite1	NULL	NULL	
4.	AT1 416-419	Illite	0.613		0.387	429.192	
5.	AT1 590-593	Epidote	1	NULL	NULL	186.484	Epidote
6.	AT1 590-593	Epidote	1	NULL	NULL	101.264	
7.	AT1 590-593	Epidote	1	NULL	NULL	207.784	
8.	AT1 590-593	Epidote	1	NULL	NULL	176.081	
9.	AT1 674-677	Int.Chlorite	0.7	Muscovite	0.3	172.582	Intermediate Chlorite + Muscovite + Epdote + Illite
10.	AT1 674-677	Epidote	0.503	Muscovite	0.497	227.67	
11.	AT1 674-677	Muscovite	0.573	Epidote	0.427	258.652	
12.	AT1 674-677	Illite	0.649	Epidote	0.351	380.179	
13.	AT1 737-740	Paragonite	0.548	Montmorillonite	0.452	222.592	Paragonite + Montmorillonite + Illite + Pyrophyllite
14.	AT1 737-740	Montmorillonite	0.51	Paragonite	0.49	237.093	
15.	AT1 737-740	Illite	0.779	Pyrophyllite	0.221	146.555	
16.	AT1 737-740	Illite	0.773	Illite	0.227	181.752	
17.	AT1 773-776	Dickite	0.564	Illite	0.436	216.618	Dickite + Illite + Pyrophyllite
18.	AT1 773-776	Illite	0.779	Pyrophyllite	0.221	136.454	
19.	AT1 773-776	Dickite	0.763	Illite	0.237	32.855	
20.	AT1 773-776	Illite	0.642	Pyrophyllite	0.358	126.029	

(*clay cap* – reservoir) di kedalaman 416 – 590 m, sedangkan batuan reservoir diwakili tipe ubahan propilitik dan *advanced argillite type* (kedalaman 590 – 830.50 m).

### 3.2 Temperatur Bawah Permukaan

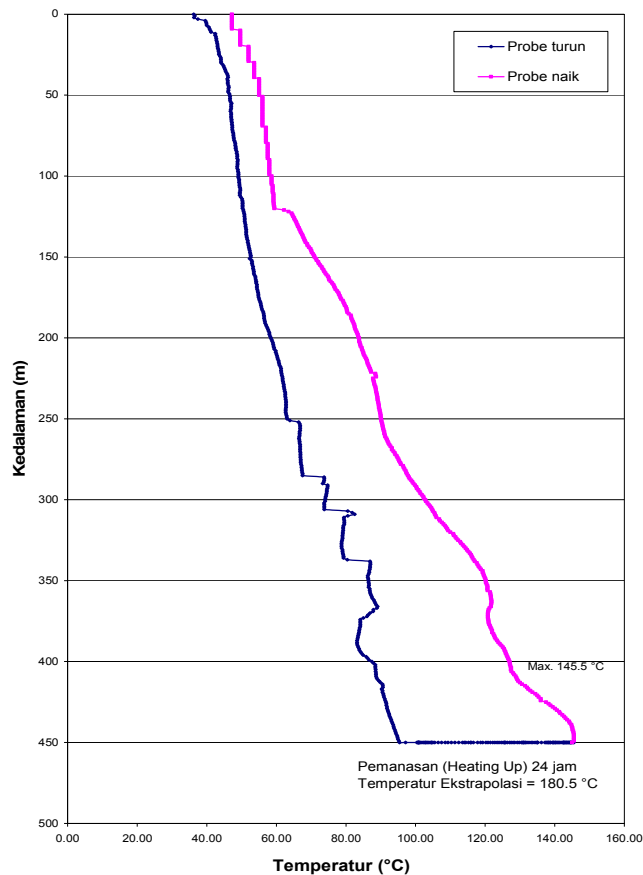
Temperatur bawah permukaan sumur AT-1 dapat ditentukan dari hasil pengamatan temperatur sirkulasi ( $T^{\circ}$  in/out) saat operasi pemboran dan pengukuran dengan *logging tool*.

Lonjakan temperatur sirkulasi pada operasi pemboran di masing-masing interval kedalaman 0 - 254 m dan 254 – 452 m adalah relatif kecil, yakni maksimum 2.3 °C ( $T^{\circ}$  in/out = 38.2/40.5 °C) dan 4.8 °C ( $T^{\circ}$  in/out = 45.6/50.4 °C). Perbedaan temperatur sirkulasi yang cukup signifikan (maksimum 12.5 °C) tercatat pada interval kedalaman 452 – 830.50 m ( $T^{\circ}$  in/out = 49.3/61.8 °C; CT = ON). Sesuai pengalaman pengeboran beberapa sumur eksploitasi di Kamojang, bahwa selisih temperatur lumpur masuk/keluar antara 10 – 12.5 °C menunjukkan bahwa operasi pemboran telah memasuki zona reservoir bertemperatur tinggi dan korelasi temperatur bawah permukaan adalah 3 sampai 3.5 dikalikan temperatur lumpur keluar. Karena itu, temperatur di bagian bawah lubang sumur AT-1 adalah berkisar antara 3 sampai 3.5 x 61.8 °C, yaitu 185 – 216 °C.

Hasil pengukuran temperatur maksimum sumur AT-1 (pemanasan 14.5 jam) di masing-masing interval kedalaman 0 – 196 m, 0 – 227 m dan 0 – 346 m adalah 70 °C, 95.2 °C dan 112.7 °C. Pengukuran *T-logging* terakhir di kedalaman 0 – 450 m (alat direndam di dasar sumur AT-1 selama 24 jam) menunjukkan suhu maksimum 145.5 °C. Suhu ekstrapolasi hasil perhitungan dengan *Horner-plot* adalah 180 °C (Gb. 3).

### 3.3 Permeabilitas dan Peluang Semburan

Permeabilitas batuan di sumur eksplorasi AT-1 dapat ditelusuri dari parameter bor seperti zona hilang sirkulasi, perubahan kecepatan bor yang tiba-tiba (*drilling break*) atau adanya lonjakan (peak) pada profil temperatur - tekanan bawah permukaan. Tidak dijumpai adanya *drilling break* pada operasi pemboran sumur AT-1 dari permukaan hingga 830.50 m. Zona hilang sirkulasi sebagian (*static loss* = 2 – 2.5 lpm) pada operasi pemboran di kedalaman 324.80 – 402.25 m mungkin sudah tertutup oleh penyemenan selubung 8 5/8” di antara 0 - 360 m. Kejadian hilang sirkulasi sebagian (PLC) hasil 12 kali observasi pada pengeboran di kedalaman antara 676.74 – 830.50 m (*static loss* = 5 – 23 lpm) seolah-olah menunjukkan zona hilang sirkulasi



**Gambar 3.** Profil Temperatur Sumur AT-1 di Kedalaman 450 m

yang cukup tebal pada sumur AT-1. Kejadian hilang sirkulasi hasil observasi pertama di kedalaman 676.74 m (*static loss* = 23 lpm) menggambarkan bahwa observasi hilang sirkulasi pada kedalaman berikutnya merupakan manifestasi zona hilang sirkulasi di kedalaman 676.74 m. Karena itu, permeabilitas batuan di sumur AT-1 adalah relatif sangat kecil. Hal ini terbukti dari adanya program pemecahan formasi pada akhir kegiatan pemboran sumur AT-1. Sumur AT-1 dipompa dengan tekanan 30 kscg, tetapi formasi tidak pecah.

Berbagai usaha seperti menimba kolom air (*fluid level @ 300 m*) dari lubang sumur, pemanasan (*heating-up*) sumur atau menurunkan kolom cairan dengan kompresor dilakukan berulang-kali untuk menyemburkan sumur AT-1, dan tidak berhasil. Semburan sumur AT-1 berlangsung

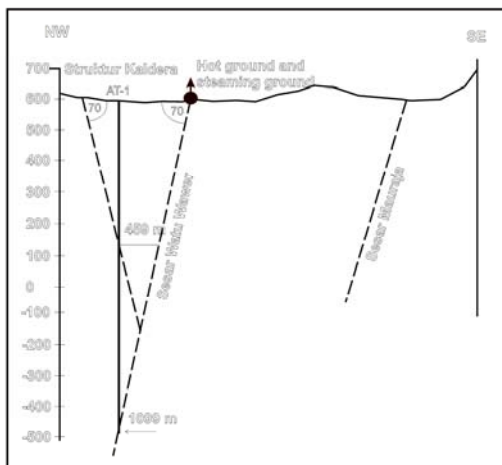
sekitar 2 menit ketika *10''-master valve* dibuka cepat setelah terbaca TKS sebesar 8.0 kscg.

#### 4 DISKUSI DAN EVALUASI

Seperti telah disebutkan di atas, bahwa litologi sumur AT-1 di kedalaman 6 – 416 m tergolong tipe ubahan argilik (lapisan *overburden* 0 – 6 m) dan lapisan transisi (argilik – propilitik) terdapat pada batuan di antara 416 – 590 m. Selanjutnya, pada kedalaman 590 – 830.50 m merupakan batuan reservoir (tipe propilitik dan *advanced argille type*) yang ditandai oleh hadirnya mineral temperatur tinggi seperti epidot, klorit, illit, pyrophilit dan zeolit. Karakteristik fluida hidrotermal di kedalaman 590 – 608 m lebih dicirikan oleh tipe fluida klorida (pH - netral) bertemperatur antara 180 – 240 °C (epidot, klorit dan illit). Kehadiran mineral ubahan pyrophilit,

*dickite* bersama dengan pirit dan kuarsa sekunder pada kedalaman 608 – 830.50 m cenderung dipengaruhi oleh fluida hidrotermal bertipe klorida sulfat asam (pH rendah). Kondisi demikian menjelaskan adanya percampuran 2 (dua) tipe fluida, yakni fluida sulfat-asam dan fluida klorida-netral. Hadirnya montmorilonit (*smectite*) di antara 737 – 740 m memerlukan penelitian lanjut tentang adanya kemungkinan bahwa batuan di kedalaman 608 – 830.50 m berubah oleh fluida sulfat - asam dan fluida klorida - normal pada waktu yang sama atau proses ubahan hidrotermal terjadi pada perioda waktu yang berbeda (*over-print*).

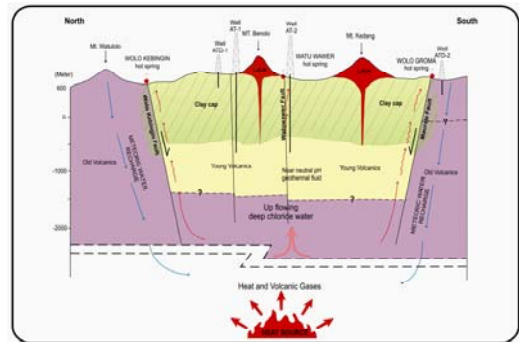
Permeabilitas batuan pada lubang terbuka (*open hole*) di kedalaman 360 – 830.50 m adalah relatif sangat kecil ( $PLC-static = 5 - 23$  lpm). Sumur AT-1 dicirikan oleh rekahan-rekahan halus yang sebahagian besar tertutup oleh pengisian mineral sekunder seperti kuarsa, pirit, kalsit dan zeolit. Permeabilitas batuan akan lebih besar kalau operasi pemboran sumur AT-1 menembus target struktur sesar Watuwawer dengan kemiringan  $70^\circ$  (Gb. 4 dan Gb. 5) di sekitar kedalaman 1100 m (Tim Pemboran Panas Bumi, 2004).



Gambar 4. Perkiraan Perpotongan Sumur AT-1 Terhadap Struktur Kaldera dan Sesar Watu Wawer

Walaupun temperatur terukur (*logging tool*) dan korelasi temperatur mineral ubahan menunjukkan suhu bawah permukaan yang relatif tinggi (180 – 240 °C), tetapi sumur AT-1 tidak berhasil disemburkan dalam waktu lama. Penyemburan sumur yang demikian memerlukan prosedur yang tepat dan mengacu pada data (informasi) seperti

posisi puncak cairan, kolom gas/uap, *feed zone*, titik didih dan tekanan reservoir (Sitorus, K. dkk., 2002 dan Sueyoshi, Y. dkk. 2002). Dengan demikian dapat dipastikan, apakah sumur AT-1 masih dapat disemburkan dalam jangka panjang.



Gambar 5. Model Tentatif Sistem Panas Bumi Atadei

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi dan pembahasan tersebut di atas, kesimpulan dan saran diuraikan sebagai berikut :

1. Litologi sumur eksplorasi AT-1 disusun oleh breksi tufa berubah (0 – 18 m), andesit berubah (18 – 56 m) dan tufa berubah (56 – 62 m) dan andesit berubah (62 – 830.50 m).
2. Seluruh batuan mengalami ubahan hidrotermal sedang – sangat kuat ( $SM/TM = 35 - 85\%$ ), terdiri dari lapisan over burden (0 – 6 m), tipe ubahan argilik (*clay cap*) dari 6 - 416 m, transisi argilik – propilitik (416 - 590 m), dan batuan reservoir (tipe propilitik dan *advanced argillite type*) di antara 590 – 830.50 m.
3. Temperatur terukur maksimum adalah 145.5 °C (suhu ekstrapolasi 180 °C) di kedalaman 450 m. Temperatur reservoir sumur AT-1 berkisar antara 180 – 240 °C (korelasi terhadap mineral ubahan).
4. Batuan berubah di sumur AT-1 dicirikan oleh permeabilitas yang sangat kecil, dipengaruhi oleh 2 jenis fluida hidrotermal, yakni fluida sulfat-asam dan fluida klorida-netral.
5. Untuk menyemburkan sumur AT-1 diperlukan prosedur yang tepat, mengacu pada data sumur (informasi) seperti posisi puncak cairan, kolom gas/uap, *feed zone*, titik didih dan tekanan

reservoir. Hal ini akan memastikan, apakah sumur eksplorasi AT-1 masih atau tidak dapat disemburkan dalam jangka panjang.

6. Perlu melakukan penelitian laboratorium lanjut untuk memastikan adanya kemungkinan *over-print* pada batuan terubah di sumur AT-1.
7. Sebaiknya, sumur AT-1 diperdalam hingga total kedalaman (TD) 1500 m agar diperoleh tambahan data geotermal lapangan panas bumi Atadei, sekaligus memastikan target struktur sesar di sekitar kedalaman 1100 m.

#### DAFTAR PUSTAKA

Sitorus, K. dkk, 2002, Long term flow test of the MT-2 well at the Mataloko geothermal field, Ngada, NTT, Flores - Indonesia. Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island. 411–423 pp.

Sitorus, K. 2003, Potensi Energi Panas Bumi Propinsi Nusa Tenggara Timur dan Evaluasi Lapangan Panas Bumi Mataloko. Kumpulan Makalah Hasil Kegiatan Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral Tahun Anggaran 2002.

Sub-Direktorat Panas Bumi, 2002, Pemboran 2 (dua) Sumur Landaian Suhu (ATD-1 dan ATD-2) di Lapangan Panas Bumi Atadei, Kabupaten DT II Lembata – Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral. Laporan Tahunan. Tidak dipublikasikan.

Sueyoshi, Y. dkk., 2002, Exploratory Well Drilling and Discharge Test of MT-1 and MT-2 in The Mataloko Geothermal Field, Flores – Indonesia. *Special Publication: Indonesia-Japan Geothermal Exploration Project in Flores Island*. 307–327 pp.

Tim Pemboran Panas Bumi, 2004, Laporan Pemboran Sumur Eksplorasi AT-1, Lapangan Panas Bumi Atadei, Kabupaten Lembata – Nusa Tenggara Timur. Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral. Tidak dipublikasikan.