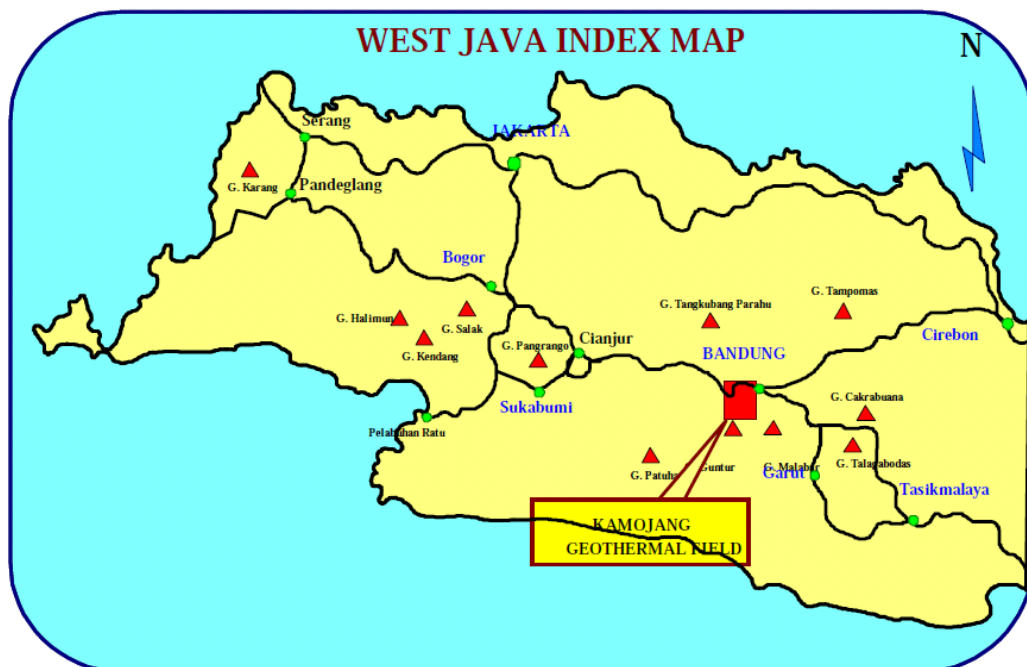


II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Penelitian

Area panasbumi Kamojang terletak 40 Km dari Kota Bandung ke arah Tenggara, didalam wilayah pemerintahan Kabupaten Bandung dan Garut. Area panasbumi Kamojang meliputi luas kurang lebih sebesar 31,68 km² dan luas daerah prospek sekitar 21 Km². Secara geografis daerah ini berada pada posisi 7° 8' 2" LS - 107° 48' 0,01" BT dengan ketinggian sekitar 1500 m di atas muka air laut. Kamojang beriklim sejuk, dengan suhu 15⁰ - 20⁰C dengan curah hujan setiap tahunnya mencapai 2885 mm.



Gambar 1. Lokasi area panasbumi Kamojang, Jawa Barat Indonesia

2.2. Sistem Reservoir Panasbumi

Sistem reservoir panasbumi secara umum terdiri dari empat bagian utama, yaitu sumber panas alami (*hot rock*), suplai air yang cukup, reservoir dan batuan penutup (*cap rock*).

1. Sumber Panas Alami (*Hot Rock*)

Sumber panas suatu daerah panasbumi adalah intrusi magma ke dalam kerak bumi yang memiliki temperatur 600 - 900⁰ C pada kedalaman sekitar 7 – 15 km dari permukaan bumi. Panas dari intrusi magma ini dihantarkan secara konduktif oleh batuan menuju akuifer, untuk selanjutnya dihantarkan secara konvektif oleh fluida dalam akuifer. Karena itu, daerah panasbumi umumnya berlokasi disekitar daerah vulkanis (gunung berapi). Di Indonesia, daerah produktif maupun potensial panasbumi terletak disepanjang zona subduksi dan gunung berapi.

2. Suplai Air (Fluida)

Pada awalnya, para ahli geologi menduga bahwa sumber air (fluida) panasbumi berasal dari air magmatik, yaitu air yang dilepaskan dari magma cair ketika tekanannya berkurang. Namun dengan ditentukannya aplikasi teknik isotop alam dalam panasbumi telah membuktikan bahwa sumber fluida tersebut adalah air meteorik (air hujan), hanya sebagian kecil daerah panasbumi yang sumber fluidanya berasal dari air magmatik. Air meteorik tersebut masuk ke dalam reservoir melalui patahan dan dipanasi oleh batuan melalui proses konduktif dan konvektif. Jika suatu reservoir panasbumi dieksploitasi, maka ketersediaan suplai air harus diperhatikan agar produksidapat berkelanjutan.

3. Reservoir Panasbumi

Akuifer adalah suatu formasi geologis yang dapat menyimpan air. Batuan permeabel merupakan media yang baik untuk menyimpan air. Reservoir panasbumi berupa akuifer dengan batuan permeabel yang berbeda-beda. Sistem reservoir dengan sifat permeabilitas yang tinggi akan menghasilkan uap dari sumur yang dapat memproduksi paling sedikit 20 ton/jam, bahkan beberapa sumur panasbumi dapat memproduksi uap hingga ratusan ton/jam. Contoh berbagai jenis batuan reservoir yang dapat menghasilkan produksi uap yang baik antara lain batuan *greywacke* pada lapangan Geyser (Amerika Serikat), batuan karbonat pada Larderello (Italia), *ignimbrite* pada Wairakei (Selandia Baru) dan tufa vulkanik pada Cerro Prieto (Meksiko).

4. Batuan Penutup

Batuan penutup merupakan batuan dengan permeabilitas yang rendah yang menyebabkan fluida tidak dapat menembusnya, kecuali melalui patahan yang ada. Contoh jenis batuan penutup pada berbagai lapangan panasbumi seperti formasi *flysc* di Larderello, formasi *lucustrine huka* di Wairakei dan *deltaic clay* di Cerro Prieto.

Secara singkat sirkulasi fluida dalam sistem panasbumi dapat dijelaskan sebagai berikut. Air hujan yang memiliki temperatur relatif rendah dan densitas relatif tinggi masuk ke dalam bumi melalui patahan-patahan dan mencapai akuifer yang berupa batuan permeabel, dimana dalam akuifer tersebut fluida menerima transfer panas yang berasal dari intrusi magma secara konduktif. Air yang panas atau dapat juga berupa uap memiliki

densitas yang lebih rendah sehingga bergerak ke atas melalui patahan yang terdapat dalam batuan penutup dengan permeabilitas rendah, mengalir menuju permukaan bumi dan keluar berupa manifestasi panasbumi seperti fumarol, *heated pool* dan mata air panas.

2.3. Kondisi Geologi

2.3.1. Fisiografi dan Morfologi

Secara fisiografi, bagian utara Lembar ini termasuk ke dalam zona Bandung yang gunungapi Kuarter, dan bagian selatan termasuk ke dalam zona Pegunungan Selatan Jawa Barat bagian tengah (Bemmelen, 1949).

Secara morfologi, daerah ini dapat dibagi menjadi 4 satuan, yakni Kerucut Gunungapi, Perbukitan Bertimbulan Kasar, Pebukitan menggelombang dan Pedataran.

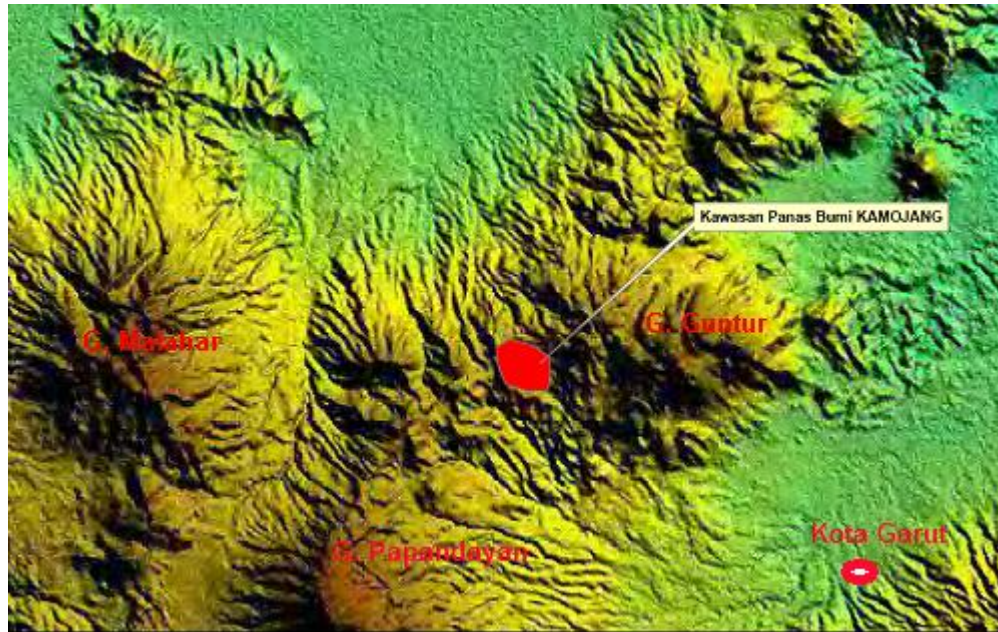
Kerucut gunungapi menempati bagian utara dan tengah Lembar, yang tersusun oleh batuan gunungapi Kuarter. Puncak-puncaknya antara lain G. Malabar (2321 m), G. Papandayan (2622 m), G. Cikuray (2820 m) dan G. Kracak (1838 m). Pada tubuh gunungapi tersebut, sungai-sungai umumnya menampilkan pola aliran memencar yang sebagian mengalir ke arah utara sebagai hulu sungai S. Cisangkuy, S. Citarum, dan S. Cimanuk; dan sebagian ke arah selatan sebagai hulu sungai S. Ciwulan, S. Cihideung, S. Cikandang, dan S. Cilaki. Daerah ini merupakan pegunungan pemisah air dari sungai-sungai yang mengalir ke arah berlawanan tersebut.

Pebukitan Bertimbulan Kasar menempati daerah sebelah selatan daerah Kerucut Gunungapi, merupakan bagian dari pegunungan Selatan. Satuan ini

tersusun terutam oleh batuan gunungapi berumur Tersier Akhir (Pliosen) hingga Kuartar Tua. Puncak-puncaknya antara lain G. Sorok (1416m), G. Sembung (1230 m), G. Puncakgede (1801 m), G. Mandalagiri (1813 m) dan G. Cupu (1457 m). Didaerah ini, sungai-sungai mengalir dengan pola meranting (*dendritic*) dengan aliran yang cukup deras. Lembah-lembahnya sempit berbentuk huruf “V” dengan tebing agak terjal dan banyak jeram. Permukaan yang bertimbulan kasar menunjukkan tingkat erosi lebih dewasa dari pada di daerah Kerucut Gunungapi.

Pebukitan menggelombang menempati daerah selatan Lembar yang dibentuk oleh batuan-batuan sediment berumur Tersier. Bukit-bukit umumnya rendah dengan lereng yag tidak terjal. Sungai-sungainya mengalir ke selatan dengan pola agak sejajar. Daerah pebukitan tersebut terletak pada ketinggian kurang dari 1000 m di atas permukaan laut.

Daerah Pedataran menempati daerah sempit terutama di daerah pantai selatan dan di antara Kerucut Gunungapi di bagian tengah daerah penelitian. Sebarannya yang agak luas terdapat di bagian utara daerah penelitian yakni antara sungai Citarum dan sungai Cisangkuy. Satuan pedataran tersusun sebagian oleh endapan pantai dan sungai, sebagian lagi oleh endapan rempah lepas gunungapi muda.



Gambar 2. Kenampakan morfologi lapangan Kamojang

2.3.2. Struktur dan Tektonika

Struktur geologi yang terdapat di daerah ini adalah lipatan, sesar dan kekar. Lipatan yang terjadi mempunyai arah sumbu barat-barat laut-timur tenggara pada Formasi Bentang dan utara barat laut–selatan tenggara pada Formasi Jampang. Perbedaan arah sumbu tersebut disebabkan oleh perbedaan tahapan dan intensitas tektonika pada kedua satuan batuan tersebut. Sesar yang dijumpai adalah sesar normal dan sesar geser. Sesar normal yang utama merupakan bagian unsur pembentukkan depresi (Zona Bandung) yang dicirikan sebagai sesar Pegunungan Selatan, berarah barat-timur. Arah jurus sesar geser umumnya baratdaya-timurlaut, beberapa ada yang hampir barat-timur dan baratlaut–tenggara. Sesar-sesar itu melibatkan satuan batuan Tersier dan Kuarter, sehingga dapat ditafsirkan sebagai sesar yang muda. Melihat pola arahnya diperkirakan gaya tektonika berasal dari selatan ke utara

yang diduga telah berlangsung sejak Oligosen Akhir Miosen Awal. Dengan demikian dapat diduga bahwa mungkin sebagian dari sesar tersebut merupakan penggiatan sesar lama. Sesar yang berkembang dalam Kuartir umumnya sebagai pengontrol tumbuhnya gunungapi muda, terutama sistem sesar berarah baratdaya-timurlaut yang memotong bagian tengah daerah ini. Pada jajaran gunungapi tersebut, dua gunungapi di antaranya masih giat yaitu G. Papandayan (2622 m) dan G. Guntur (2249 m).

Kekar terjadi terutama pada batuan yang berumur tua, antara lain pada Formasi Jampang dan terobosan diorit kuarsa, pada batuan gunungapi Neogen seperti Formasi Besar dan Batuan Gunungapi Plio-Plistosen.

Seperti halnya di daerah lain pada bagian selatan P. Jawa, tektonika daerah ini pada Zaman Tersier sangat dipengaruhi oleh penunjaman Lempeng Samudra Hindia ke bawah Lempeng Asia Tenggara.

Penunjaman yang terjadi pada Oligosen Akhir-Miosen Awal/Tengah menghasilkan kegiatan gunungapi yang bersusun andesit yang diikuti dengan sedimentasi karbonat pada laut dangkal. Di beberapa tempat, seperti di Lembar Pangandaran, sedimentasi berlangsung pada lereng bawah laut (*submarine slope*). Kegiatan magmatik waktu itu diakhiri dengan penerobosan diorit kuarsa pada akhir Miosen Tengah yang mengakibatkan pempropilitan pada Formasi Jampang di beberapa tempat dan menghasilkan pemineralan yang penting. Setelah terjadi perlipatan, pengangkatan dan erosi, terjadi sedimentasi Formasi Bentang di bagian selatan Lembar dan kegiatan gunungapi di utara pada Miosen Akhir-Pliosen Awal. Setelah perlipatan,

pengangkatan dan erosi, terjadi kegiatan magmatik yang menghasilkan kegunungapian dan diakhiri oleh penerobosan retas-retas andesit pada Pliosen.

Pada Plio-Plistosen kegiatan gunungapi kembali terjadi disusul oleh serangkaian kegiatan Kuarter Awal hingga sekarang di bagian tengah dan utara Lembar yang tersebar pada lajur barat-timur.

2.4. Geologi Daerah Kamojang

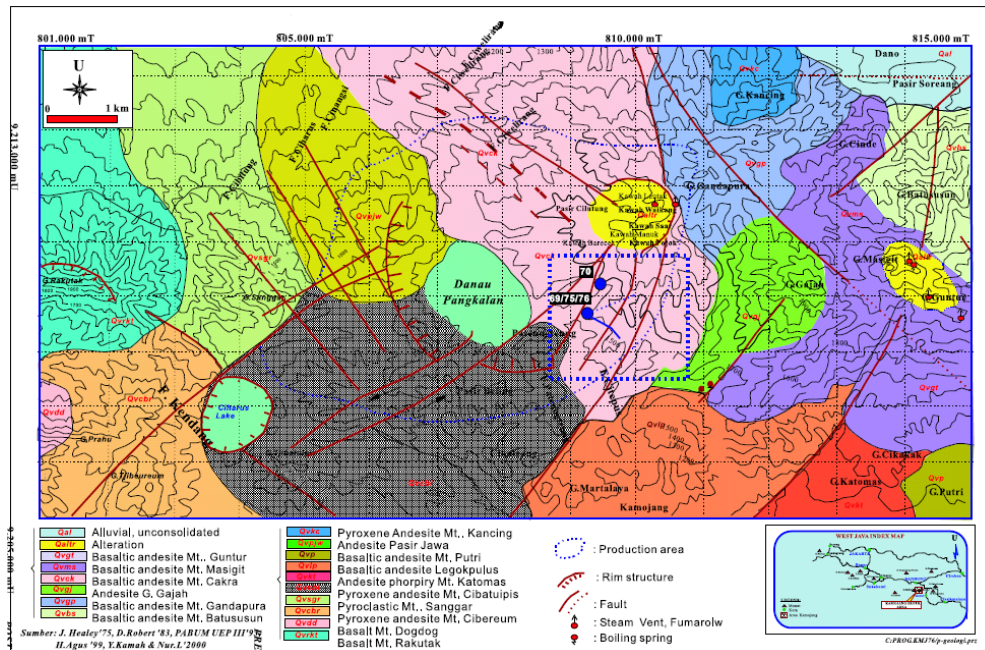
Area panasbumi Kamojang terletak pada rantai dataran tinggi vulkanik berarah Barat-Timur dari G. Rakutak di Barat sampai G. Guntur di sebelah Timur dengan ketinggian 1500 m dpl dengan panjang 15 km dan lebar 4,5 km. Sistem ini berasosiasi dengan endapan vulkanik kuarter berumur 400.000 tahun produk dari gunung vulkanik Pangkalan dan Gandapura dan terlihat menempati bagian dalam hasil depresi vulkanik yang dibentuk oleh rim kaldera Pangkalan yang berbentuk graben oleh sesar Kendeng di Barat dan sesar Citepus di Timur. Rim kaldera Pangkalan, sesar Citepus dan sistem sesar-sesar yang cenderung Barat-Timur di sebelah Utara lapangan ini memberikan target *drilling* yang menarik karena berasosiasi dengan produktivitas uap yang tinggi.

Secara umum Area Panasbumi Kamojang dan sekitarnya tersusun dari endapan *Pre-Caldera* dan *Post-Caldera*. Formasi *Pre-Caldera* dari yang berumur tua sampai termuda adalah Basalt Mt. Rakutak, Basalt Dogdog, Pyroxene andesite Mt. Cibeureum, Pyroclastic Mt. Sanggar, Pyroxene andesite Mt. Cibatuipis, Phorphiry andesite Mt. Katomas, Basaltic andesite Legokpulus dan Mt. Putri, Andesite lava Pasir Jawa dan Pyroxene andesite

Mt. Kancing. Sedangkan Formasi Post-Caldera dari yang berumur tua ke yang berumur muda terdiri dari Basaltik Andesite Mt. Batususun dan Mt. Gamdapura, Andesite Lava Mt. Gajah, Basaltic Andesite Mt. Cakra-Masigit dan Guntur. Kelompok Formasi Post-Caldera menindih tidak selaras kelompok Formasi Pre-Caldera.

Struktur geologi yang berkembang adalah sesar dan depresi melingkar, yang mengendalikan permeabilitas lapangan Kamojang. Arah sesar-sesar adalah Barat Daya-Timur Laut (BD-TL), Barat Laut-Tenggara (BL-TG), Barat Barat Laut – Timur-Timur Laut (BBL-TTL) dan Utara-Selatan (U-S). Berdasarkan umurnya sesar-sesar itu dapat diturunkan dari tua ke muda sebagai berikut (Tim Pokja Kamojang, 2000):

- A. Sesar BD-TL (arah $N60^{\circ}E$) diperkirakan merupakan sesar tertua di daerah Kamojang di bagian Utara Danau Pangkalan merupakan sesar normal dengan Blok Tenggara relatif turun. Di bagian Selatan danau Pangkalan merupakan sesar mendatar.
- B. Sesar BL-TG (arah $N140^{\circ}E$) merupakan kelompok sesar normal yang rumit.
- C. Sesar BBL-TTL (arah $N110^{\circ}E$) muncul dibagian Timur Laut daerah Kamojang. Sesar ini merupakan sesar normal dengan Blok Selatan relatif turun.
- D. Sesar U-S (arah $N15^{\circ}E$) muncul di bagian timur daerah Kamojang, yang diperkirakan merupakan sesar termuda. Sesar ini merupakan sesar normal dengan Blok Barat relatif turun.



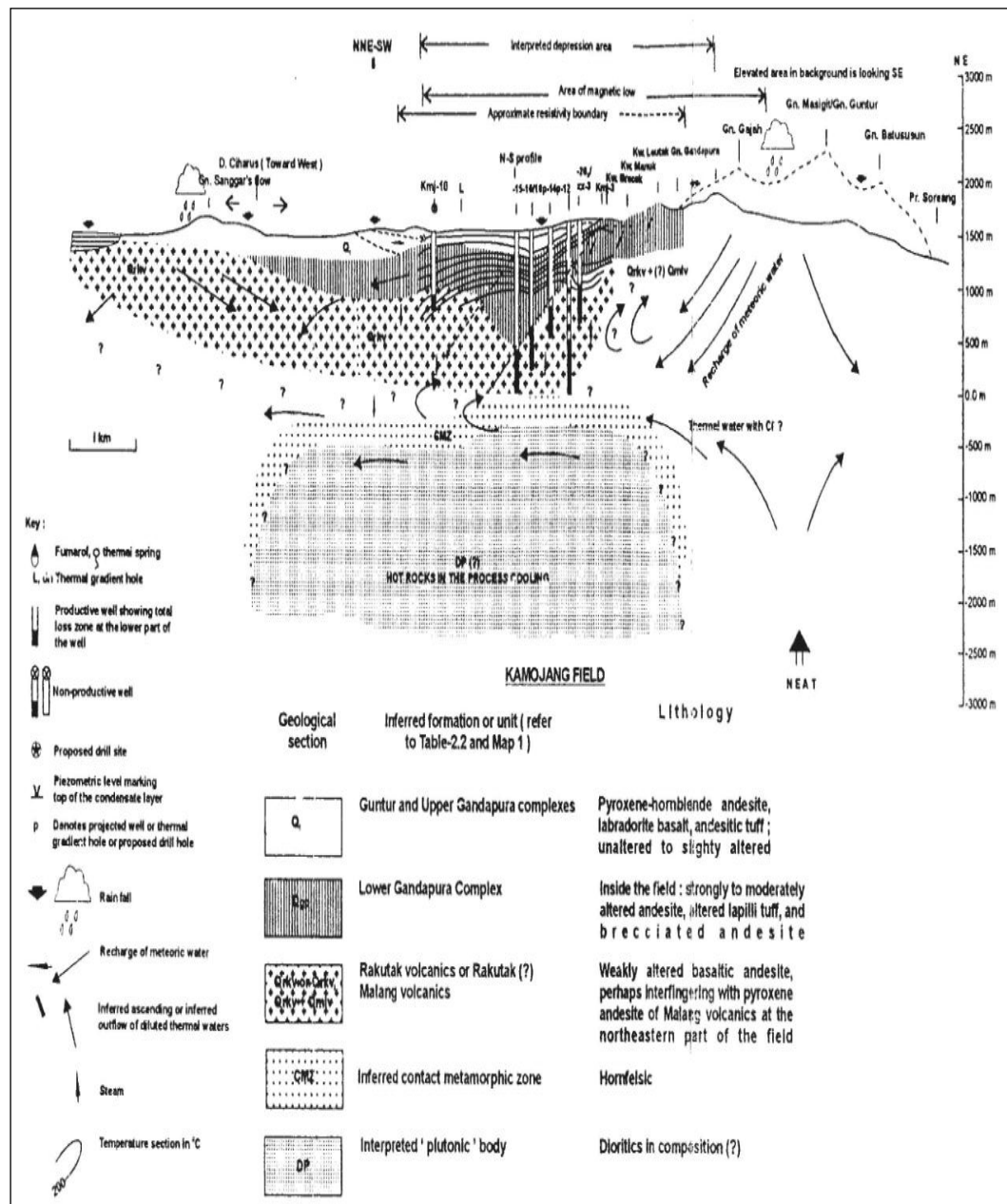
Gambar 3. Peta geologi lapangan Kamojang

Bentuk depresi melingkar diduga merupakan sisa kaldera atau kawah yang terdapat di sekitar Danau Pangkalan, Danau Ciharus, dan Gunung Rakutak. Pertemuan kedua pola distribusi struktur (BD-TL dan BL-TG) ini menyebabkan terbentuknya *zone subsurface geology* sangat lemah, sehingga muncul manifestasi-manifestasi panasbumi berupa *fumarole*, *hot springs*, *mud pool*, *silica residu* dan lain-lain di sebelah Timur Laut Area Kamojang.

2.5. Hidrogeologi Kamojang

Dari studi geologi dan geofisika lapangan panasbumi Kamojang (Sudarman, 1983) menguraikan hidrogeologi lapangan panasbumi Kamojang seperti terlihat pada Gambar 2 di bawah ini. Pada lapangan panasbumi Kamojang terdapat kompleks Guntur dan formasi Gandapura Atas (Q_1) yang dicirikan

oleh batuan padat dengan porositas moderat, permeabilitas relatif tinggi dan resistivitas menengah hingga tinggi.



Gambar 4 Penampang geologi (W-E) area Kamojang (Sudarman, 1983)

Terdapat airtanah dengan permukaan yang dangkal pada kedalaman 5 hingga 60 m. Airtanah ini diperkirakan merupakan percampuran antara airtanah yang dingin dan airtanah thermal yang naik pada akuifer yang kedalamannya diperkirakan kurang dari 100 m di bawah permukaan. Di bawah akuifer yang

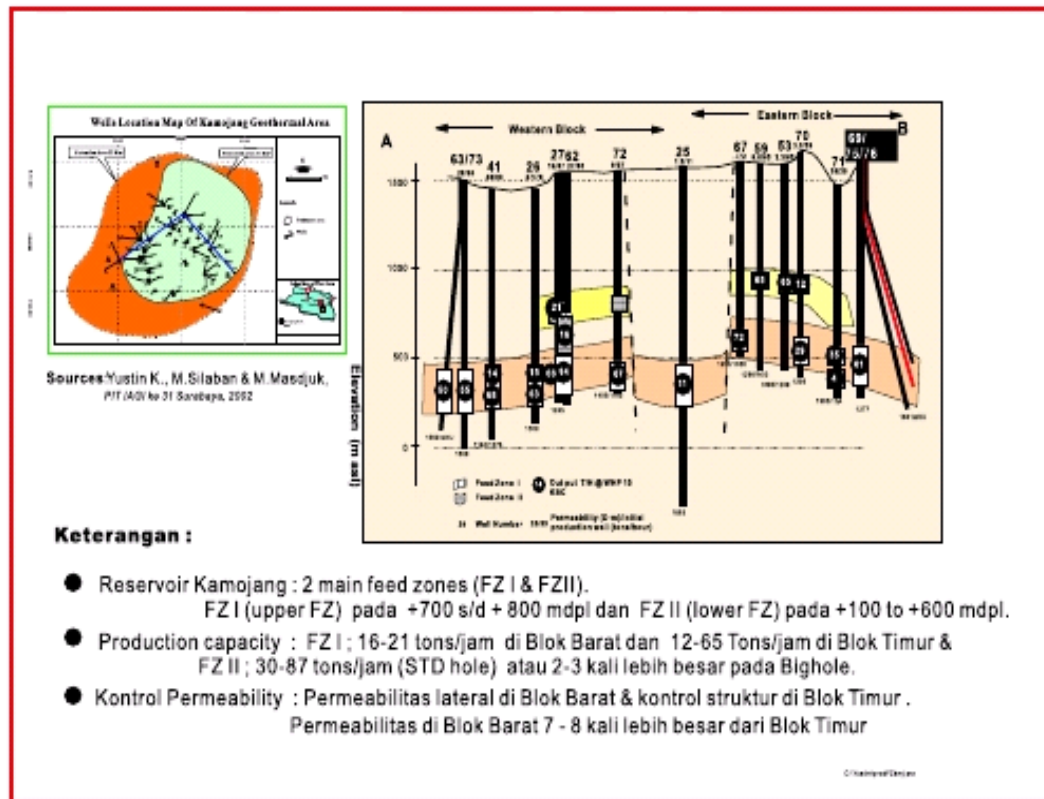
dangkal ini terdapat akuifer yang lebih dalam (lapisan kondensat) yang diperkirakan berada pada kedalaman antara 100 hingga 200 meter. Hal ini dapat diamati pada sumur KMJ-8, 9 dan 10. Temperatur puncak lapisan kondensat ini antara $50 - 70^{\circ}\text{C}$ yang berada diantara formasi Q_1 dan Q_{GP} . Formasi kompleks Gandapura (Q_{GP}) terdiri dari batuan andesit yang teralterasi moderat hingga tinggi. Ketebalan lapisan kondensat ini antara 350-550 meter. Bagian bawah lapisan kondensat ini diperkirakan memiliki temperatur antara $220 - 230^{\circ}\text{C}$. Formasi kompleks Gandapura ini merupakan lapisan yang produktif dan merupakan reservoir 2-fase berada pada kedalaman 700 – 1200 m.

2.6. Reservoir Kamojang

Evaluasi hasil pemboran sumur-sumur yang telah dibor di area Panasbumi Kamojang menunjukkan bahwa reservoir panasbumi Kamojang terdiri dari 2 (dua) feed zones utamanya yaitu pada elevasi 700-800 m asl untuk feed zone Pertama (FZ I) dan pada elevasi 100-600 m asl untuk feed zone Kedua (FZ II), seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Produksi masing-masing feed zone 12 – 65 ton/jam @WHP 15 Ksc untuk FZ I dan 30 – 87 ton/jam @WHP 15 Ksc untuk FZ II (Kamah, 2003).

Reservoir Kamojang dikontrol oleh kontak formasi dan struktur geologi. Kontak formasi dan ketidakselarasan secara lateral lebih dominan mengontrol reservoir bagian tengah (Central Block) walaupun tidak dapat dikesampingkan pengaruh setting rim structures yang stepnya memisahkan Block tengah dengan Block Barat Kamojang. Sementara struktur geologi

berupa rangkaian patahan (step of fault) lebih dominan mengontrol di Blok Timur Kamojang (Kamah, 2003).



Gambar 5. Profil zona produktif reservoir area Kamojang

2.7. Manifestasi Panasbumi di Lapangan Kamojang

Manifestasi panas bumi di lapangan Kamojang terdiri dari pemunculan mata air panas, fumarol, lumpur panas dan tanah panas terdapat di Kawah Manuk, Kawah Berecek, Kawah Kamojang dan Kawah Saat. Temperatur fumarol tertinggi adalah 141°C terdapat di Kawah Cibereum kira-kira 700 m sebelah utara-timurlaut (NNE) dari daerah manifestasi yang di sebut sebelumnya. Hampir seluruh manifestasi di daerah ini mempunyai debit dan pH yang rendah. Terdapat 5 sumur bor dengan kedalaman maksimum 128 meter dibor

pada zaman Belanda (Stehn, 1929) dan salah satu diantara sumur itu adalah sumur KMJ-3 masih mengeluarkan uap dengan temperatur 140°C.

Di lapangan Kamojang telah terjadi aktivitas hidrotermal pada beberapa litologi seperti lava andesit, debu vulkanik, tuf dan lain-lain. Pengamatan petrografi dari contoh inti dan serpihan beberapa sumur menunjukkan adanya proses-proses hidrotermal dengan munculnya mineral-mineral hidrotermal secara melimpah.

Mineral hidrotermal seperti illit, monmorillonit, kalsit, khlorit, pirit dan kuarsa muncul dengan melimpah. Mineral-mineral anhidrit dan walrakit muncul dengan jumlah menengah. Sedang mineral-mineral leukoxen, serisit, siderite, sphene, adularia, epidot dan pirhotit muncul dengan jumlah sedikit.

Pemunculan melimpah dapat terlihat pada 150 meter sampai kedalaman suatu sumur. Sedang yang pemunculannya menengah dan jarang pada kedalaman lebih dari 600 meter. Khusus untuk anhidrit muncul pada kedalaman relative dangkal, maksimum 400 meter. Hadirnya mineral anhidrit menyatakan bahwa air di lapangan Kamojang kaya akan sulfat.

Mineral-mineral lain hasil proses hidrotermal seperti lempung, silika, kalsit dan pirit mempengaruhi batuan piroklastik berubah, lava andesit berubah serta breksi berubah, dan menjadikannya sebagai batuan tudung yang baik.

Kehadiran mineral hidrotermal seperti albit dan epidot pada beberapa lapisan berpengaruh terhadap permeabilitas, sehingga membentuk zona berpori.

Satuan batuan yang mempengaruhinya adalah lava andesit terubah, tuf berubah dan breksi terubah yang bertindak sebagai batuan reservoir.

Dari paragenesa mineral-mineral hidrotermal, temperatur reservoir dapat dihitung, yang dapat mencapai 250 °C, bahkan lebih besar. Browne dengan cara yang sama telah mengukur temperatur reservoir lapangan Kamojang, hasilnya berkisar antara 230-300 °C.

Studi inklusi cairan pada contoh inti di lapangan Kamojang, mendapatkan harga temperatur 210-268 °C. Hasil pengukuran temperatur di lapangan menunjukkan harga maksimum 240 °C, sehingga dapat disimpulkan bahwa lapangan Kamojang saat ini dalam proses pendinginan.