

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Secara administratif Gunung Arjuno-Welirang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Gunung Arjuno-Welirang berada pada koordinat  $112^{\circ}29'12''$ – $112^{\circ}37'39''$ BT sampai  $7^{\circ}37'56''$ – $7^{\circ}49'51''$ LS atau terletak pada koordinat UTM antara 665500 – 679250 mT dan 9139000 – 9158200 mU pada proyeksi peta *Universal Transverse Mercator* (UTM) Datum WGS 1984 zona 47S. Untuk lokasi penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Peta lokasi daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang (Tim Survei Geologi dan Geokimia PSDG, 2010)**

## 2.2. Manifestasi Panas Bumi

Sebaran manifestasi panasbumi di kompleks Arjuno-Welirang dapat dibedakan menjadi lima lokasi berupa tiga kelompok air panas (Padusan, Coban dan Cangar), fumarol dan alterasi di puncak Welirang, serta alterasi di sekitar Gunung Pundak (PSDG, 2010).

### a. Air Panas Padusan

Terdiri dari 3 titik lokasi air panas yang berada di Kali Kretek. Air panas muncul pada batuan aliran piroklastik dan bongkah lava andesit produk Gunung Welirang. Pada elevasi 893 - 901 m dpl yang bertemperatur 50°C dan 55°C, pada temperatur udara di lokasi 22°C dan 25°C, jernih, tidak berbau dan tidak terasa, pH 5,87 – 6,30 dengan debit masing-masing 2 L/detik dan terdapat lapisan sinter karbonat dan oksida besi yang cukup banyak.

### b. Air Panas Coban

Air panas muncul pada elevasi 1348 m dpl, pada sela-sela lava andesit produk vulkanik Arjuno–Welirang tua dengan temperatur 39,4°C, temperatur udara 22,7°C, jernih tidak berbau, pH 6,44 dengan debit air panas kecil yaitu 0,1 L/detik dengan oksida besi yang cukup banyak.

### c. Air Panas Cangar

Sebaran Air Panas Cangar terdapat di dua lokasi dengan jarak 100 m antara Air Panas Cangar 1 dan Air Panas Cangar 2. Air panas muncul pada batuan aliran piroklastik produk Gunung Kembar pada elevasi 1604 – 1611 m dpl, temperatur air panas 48,3°C dan 54,1°C, temperatur udara 22,3°C dan 24,1°C, air panas jernih, tidak berbau dan berasa. Lapisan sinter karbonat ditemukan tipis, oksidasi besi lemah.

d. Fumarol

Sebaran fumarol berada pada masing-masing puncak kerucut kompleks Gunung Arjuno–Welirang seperti di kawah Gunung Arjuno, Gunung Kembar I, Kembar II dan kawah Gunung Welirang (Plupuh dan Jero). Temperatur terukur dilakukan di Kawah Plupuh dengan kisaran antara  $94,1^{\circ}\text{C}$  –  $137,5^{\circ}\text{C}$ , pada temperatur udara  $17,2^{\circ}\text{C}$ , hembusan kuat, beberapa tempat disertai sublimasi belerang membentuk solfatara. Solfatara dan fumarol Gunung Welirang terdapat pada elevasi 3050 – 3150 m dpl.

e. Alterasi

Sebaran alterasi batuan terbagi di dua lokasi yaitu di sekitar Kawah Plupuh, dan di bawah Gunung Pundak. Alterasi yang muncul di sekitar kawah memiliki penyebaran yang cukup luas hingga ke lereng Welirang – Kembar I. Alterasi yang nampak berwarna keputih-putihan, kemerahan, abu-abu dan kecoklatan. Alterasi yang kedua terdapat di bawah Gunung Pundak pada koordinat  $x = 672529$  dan koordinat  $y = 9150021$  dengan elevasi diatas 1000 m berwarna keputih-putihan pada lava produk Gunung Pundak yang merupakan erupsi samping.

## **2.3. Geologi Daerah Penelitian**

### **2.3.1. Geomorfologi**

Satuan morfologi di kompleks Arjuno-Welirang dapat dibedakan menjadi tujuh satuan geomorfologi (Soetoyo, 2010) yaitu:

a. Satuan geomorfologi tubuh Gunung Anjasmoro

Kondisi daerah terjal dan curam, sungai-sungai membentuk pola sub paralel dengan lembah sempit berbentuk V. Litologi penyusun berupa lava dan aliran

piroklastik produk Gunung Anjasmoro Satuan morfologi tersusun oleh batuan lava andesitik produk Gunung Arjuno-Welirang tua.

b. Satuan geomorfologi tubuh tua kompleks Arjuno-Welirang

Kondisi daerah terjal dengan sungai-sungai membentuk pola sub-dendritik dan bentuk lembah yang sempit.

c. Satuan geomorfologi erupsi samping Gunung Bulak dan Pundak

Puncak ketinggian berada di Gunung Pundak dan Gunung Bulak yang tersusun oleh lava andesit. Kemiringan lereng terjal dengan sungai membentuk pola aliran radial.

d. Satuan geomorfologi tubuh muda Gunung Arjuno-Welirang

Tersusun oleh batuan lava andesit, aliran piroklastik produk gunungapi Sin-Arjuno Welirang seperti Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Kemiringan lereng antara bergelombang hingga terjal dengan sungai-sungai yang membentuk pola pengaliran radial dan sub-dendritik serta lembah V yang dalam.

e. Satuan puncak Gunung Arjuno-Welirang

Satuan ini menempati bagian tengah dari kompleks Gunung Arjuno-Welirang pada masing-masing puncak Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Tersusun oleh batuan lava andesit dan aliran piroklastik.

f. Satuan kaki Gunung Arjuno-Welirang

Tersusun oleh batuan lava andesit aliran piroklastik, longsoran vulkanik dan lahar. Kemiringan lereng bergelombang dengan pola pengaliran sungai sub-radial dengan sungai yang cukup lebar (>5 m) dan membentuk lembah U. Berfungsi sebagai daerah

limpasan (*discharge*), tempat munculnya air panas Cangar, Padusan dan Coban. Disamping itu banyak pula muncul mata air dingin dengan debit yang besar.

g. Satuan kaki Gunung Penanggungan

Tersusun oleh aliran piroklastik produk Gunung Penanggungan. Kemiringan lereng landai.

### **2.3.2. Stratigrafi dan Struktur Geologi**

Hampir seluruh daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang merupakan batuan produk vulkanik Kuarter yang dapat dipisahkan berdasarkan pusat erupsinya. Beberapa produk gunungapi di daerah ini terdiri dari aliran lava dan piroklastik. Komponen stratigrafi dan struktur geologi daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.



Berdasarkan Gambar 2 maka untuk komponen stratigrafi daerah Gunung Arjuno-Welirang dapat dijelaskan (Soetoyo, 2010) sebagai berikut:

a. Satuan Lava Anjasmara (Qla)

Satuan ini tersebar di bagian barat daerah survei, tersusun oleh lava andesit basaltis dan breksi vulkanik. Lava andesit berwarna abu-abu gelap afanitik porfiritik, keras dan masif. Di beberapa daerah terlihat jelas struktur vesikular yang mencerminkan lava pada bagian atas, terdapat kekar berlembar (*sheeting joint*), tebal satuan ini lebih dari 1000 m dengan ciri topografi curam dengan bentuk dinding sesar yang cukup luas dengan bentuk radial seperti *rim* kaldera.

Batuan tersusun oleh plagioklas dan mineral mafik (olivin, piroksen) yang cukup banyak. Singkapan muncul di sepanjang jalan dari arah padusan ke arah kota Batu. Breksi vulkanik berwarna abu-abu gelap sampai kehitaman, menyudut, kompak dan keras, terdiri dari komponen lava basaltik berukuran lapili – bom tersusun oleh mineral plagioklas dan piroksen, matriks berwarna coklat kehitaman tersusun tufa kasar.

b. Lava Tua Arjuno-Welirang (Qltaw)

Satuan ini tersebar di bagian barat hingga ke selatan daerah survei terutama di sekitar Gunung Ringgit, Gunung Lincing, di bagian utara sekitar Prigen dan juga tersingkap sedikit di bagian barat daerah Air Panas Coban. Karakteristik batuan berupa lava andesit–basaltis dengan tekstur porfiritik, keras dan tebalnya yaitu >1000 m. Mineral penyusun didominasi oleh mineral mafik (piroksen) dan plagioklas. Beberapa tempat berstruktur kekar berlembar. Satuan ini diduga sebagai tubuh tua dari kompleks Arjuno–Welirang yang masih tersingkap di permukaan.

c. Aliran Piroklastik Tua Arjuno–Welirang (Qaptaw)

Satuan ini terhampar di bagian selatan daerah survei, berupa aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan, terdiri dari komponen lava, *scorea* dan *pumice* berukuran lapili sampai bom, menyudut sampai menyudut tanggung, vesikular tertanam dalam matrik tufa pasir berwarna kecoklatan. Satuan ini diperkirakan merupakan produk eksplosif dari tubuh lava tua kompleks Arjuno-Welirang yang berumur Kuartar awal, hal tersebut berkaitan dengan munculnya *pumice* dan *scorea* yang merupakan material hasil eksplosif besar. Disamping itu pembentukan satuan ini diperkirakan berhubungan dengan runtuhnya tubuh Arjuno-Welirang yang membentuk struktur *ring fracture*.

d. Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp)

Satuan ini tersebar di bagian timur laut daerah survei, tersusun oleh aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan dengan komponen lava andesit produk Gunung Penanggungan, angular. Matrik batuan berupa tuf berwarna kecoklatan.

e. Erupsi Samping (Qes)

Satuan ini tersebar di tiga lokasi, masing-masing adalah lava produk Gunung Bulak, lava produk Gunung Pundak di bagian utara dan lava produk Gunung Tanggungan di bagian barat kompleks Arjuno–Welirang. Lava berkomposisi andesit – basaltik berwarna abu-abu tua – kehitaman, afanitik – porfiritik dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan sedikit olivin. Produk samping ini terbentuk setelah pembentukan lava Arjuno-Welirang tua yang muncul melalui zona struktur di bagian samping kompleks Arjuno–Welirang, memiliki ketinggian sampai 300 m dari lereng sampingnya.



f. Lava Welirang 1 (Qlw1)

Satuan ini tersebar di bagian tengah ke arah utara daerah survei. Lava basalt berwarna abu-abu kehitaman, porfiritik, masif, terdiri dari mineral plagioklas, piroksen, olivin dan mineral sekunder berupa mineral lempung dan oksida besi. Satuan ini diduga merupakan produk Sin-Arjuno Welirang yang terbentuk setelah terjadinya kolaps/subsiden pada batuan pra-Arjuno Welirang. Munculnya lava Welirang kemungkinan diakibatkan oleh terbentuknya struktur regional yang berarah barat laut–tenggara yang memfasilitasi naiknya lava melalui zona tersebut ke permukaan. Struktur tersebut sejajar dengan munculnya pusat erupsi Gunung Kembar I, II dan Arjuno.

g. Aliran Piroklastik Welirang I (Qapw1)

Satuan ini tersebar di bagian utara daerah survei, di sekitar Padusan, Pacet hingga Kenang di kaki Gunung Penanggungan. Satuan ini memiliki hubungan yang selaras dengan Lava Welirang I. Diperkirakan terbentuk sebagai akibat adanya letusan eksplosif yang juga membentuk *ring fracture* yang menghasilkan produk aliran piroklastik yang tersebar luas dengan jatuhan piroklastik tipis.

Aliran piroklastik berwarna abu-abu tua kecoklatan, keras, menyudut dengan komponen lava andesit – basal berukuran bongkah – lapili yang tertanam pada matrik tuf berukuran sedang berwarna kecoklatan. Satuan ini menindih lava Welirang dan aliran piroklastik tua Pra-Arjuno Welirang. Jatuhan piroklastik tipis berwarna abu-abu tua, berukuran sedang tersingkap di daerah Claket menindih aliran piroklastik Welirang 1 dengan ketebalan <30 cm.

h. Lava Arjuno (Qlar)

Satuan ini menempati bagian tengah kompleks Arjuno–Welirang dengan

penyebaran ke arah tenggara. Produk Arjuno terbentuk setelah terjadinya subsiden yang merupakan Sin-Arjuno Welirang. Batuan berkomposisi lava basalt, berwarna abu-abu kehitaman, afanitik – porfiritik, setempat terdapat struktur kekar berlembar. Mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan olivin serta mineral lempung sedikit oksida besi. Satuan ini mengalami aktifitas struktur yang lebih kuat dibanding satuan lainnya dengan ditunjukkan dengan terbentuknya longsoran berarah tenggara dan timur laut.

i. Aliran Piroklastik Arjuno (Qapa)

Satuan tersebar di bagian tenggara daerah survei disekitar Tambaksari. Tersusun oleh aliran piroklastik produk Arjuno yang berwarna abu-abu kecoklatan, dengan komponen lava basalt berukuran lapili – bom dan matrik tuf kecoklatan berukuran sedang. Satuan ini menindih secara selaras satuan lava Arjuno.

j. Lava Welirang II (Qlw2)

Satuan ini menindih satuan lava Welirang I dengan pusat erupsi sama. Pada bagian puncak terbentuk kawah yang masih aktif dan terbagi menjadi dua lokasi. Kawah Jero berada di bagian puncak dan kawah Pluluh berada di tepian, hanya berjarak <500 m antara keduanya. Batuan berupa lava basalt dan aliran piroklastik. Pada masing-masing kawah terbentuk pengendapan belerang dalam jumlah yang banyak. Alterasi, solfatara dan fumarol ditemukan pada satuan ini.

Lava Welirang berjenis basalt, tekstur porfiritik, berongga (*scoreous*) menunjukkan adanya proses pendinginan di permukaan dengan cepat dan banyak mengeluarkan gas. Lava ini berselang-seling dengan aliran piroklastik dimana tersingkap *charcoal* sebagai salah satu komponennya.

k. Lava Kembar II (1) (Qlk2)

Satuan ini berada diantara puncak Arjuno dan Welirang, terbentuk setelah terjadinya proses amblesan yang kemudian membentuk pola kesejajaran pusat erupsinya, salah satunya adalah Gunung Kembar II. Aliran lava mengalir ke bagian barat hingga daerah Cangar. Komposisi batuan berupa lava basalt berwarna abu-abu, porfiritik dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan sedikit olivin.

l. Aliran Piroklastik Kembar II (1) (Qapk1)

Satuan ini penyebarannya kearah timur dari pusat erupsi Gunung kembar II. Mengisi bagian depresi pada elevasi yang lebih rendah akibat struktur Arjuno dan membentuk pada puncak Gunung Ringgit yang memiliki elevasi lebih tinggi.

m. Lava Kembar I (Qlk1)

Penyebaran dari lava Kembar ke arah barat dan timur dari puncak erupsinya. Karakteristik batuan berupa lava andesit hornblen dengan presentasi mineral hornblen yang lebih banyak dari piroksen. Porfiritik dan terdiri dari mineral lava plagioklas, hornblen, piroksen yang tertanam dalam massa dasar gelas vulkanik. Vesikular akibat pelepasan gas di permukaan.

n. Aliran Piroklastik Kembar I (Qapk2)

Satuan ini berada di bagian barat daya daerah survei dengan penyebaran di sekitar Sumber brantas ke arah Kota Batu dan muncul sedikit di bagian timur pusat erupsinya. Aliran piroklastik berwarna coklat dengan komponen lava berukuran lapili – bom, matrik berupa abu vulkanik berwarna kehitaman. Air panas Cangar muncul melalui rongga dan rekahan dari satuan ini, menindih satuan aliran piroklastik pra-arjuno welirang dan lava Kembar II (1).

o. Lava Bakal (Qlb)

Satuan ini penyebarannya hanya sedikit. Volume lava yang dikeluarkan tidak menyebar luas hingga ke lereng bawah kompleks Arjuno–Welirang. Disamping itu aliran lavanya dibatasi oleh morfologi yang dibentuk oleh aliran piroklastik Kembar II. Satuan ini menindih lava Kembar II dan lava Arjuno.

p. Lava Kembar II (2) (QlkII 2)

Satuan ini diperkirakan merupakan produk terakhir dari pembentukan kompleks Arjuno–Welirang yang didasarkan pada rekonstruksi pola kemenerusan dan bentuk pola kontur. Satuan ini dibatasi oleh lava Bakal dan lava Kembar I.

Untuk struktur geologi daerah penelitian (seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2) dapat diklasifikasikan berdasarkan arah kelurusan pola strukturnya yaitu:

1. Sesar berarah Utara–Selatan.

Beberapa sesar pada arah ini diwakili oleh Sesar Cangar, Sesar Puncung dan Sesar Claket, berupa kelurusan manifestasi, munculnya gawir sesar dan air terjun serta perbedaan ketinggian pada topografi yang cukup terjal.

2. Sesar berarah Baratlaut–Tenggara.

Sesar ini diperkirakan sebagai pola struktur yang muncul berupa antitetik dari sesar utama dengan arah baratdaya–timurlaut sejajar pola Meratus. Sesar ini diwakili oleh Sesar Padusan, Sesar Kemiri, dan Sesar Bakal. Sesar Kemiri dan Sesar Claket diperkirakan membentuk suatu daerah graben yang bagian turunnya diisi oleh aliran piroklastik Welirang. Kenampakan di lapangan dicirikan oleh kelurusan air panas dan topografi yang terjal. Sesar-sesar ini kemungkinan mengontrol munculnya air panas di sekitar Padusan dan berpengaruh dalam

pembentukan daerah *impermeabel* dalam sistem panas bumi Arjuno-Welirang.

3. Sesar berarah Baratdaya–Timurlaut.

Sesar ini diperkirakan sebagai sesar utama yang mempengaruhi munculnya kompleks gunungapi Arjuno-Welirang. Sejajar dengan arah sesar basement yang berpola Meratus. Memiliki kecenderungan berasosiasi terhadap munculnya Gunung Penanggungan yang menerus ke arah lumpur Sidoarjo. Sesar ini diwakili oleh Sesar Welirang, Sesar Kembar dan Sesar Bulak. Kenampakan di lapangan berupa gawir yang membentuk air terjun.

4. Sesar berarah Barat–Timur.

Sesar ini diwakili oleh Sesar Ledug dan Sesar Ringit. Penarikan sesar didasarkan pada kelurusan topografi dan citra *landsat*.

5. Rim Kaldera Anjasmoro.

Sesar ini berjenis sesar normal yang membentuk gawir curam dan melingkar. Kenampakan di lapangan dapat dilihat jelas dari arah jalan menuju Cangar. Diperkirakan merupakan bentukan dari sisa kaldera tua yang terbentuk akibat aktivitas vulkano tektonik di kompleks Anjasmoro.

6. Sektor amblasan (*collapse*).

Sesar yang terbentuk berupa sesar normal ditunjukkan dengan bentukan yang khas setengah melingkar dengan arah bukaan ke tenggara dan timurlaut. Sesar-sesar ini ditunjukkan oleh Sesar Arjuno. Disamping itu sektor amblasan ditarik berdasarkan kelurusan dari tubuh tua Gunung Arjuno-Welirang dengan daerah bukaan ke arah baratdaya. Amblasnya daerah ini kemungkinan diakibatkan oleh aktivitas vulkanik

Gunung Arjuno-Welirang yang memuntahkan material vulkaniknya sehingga terjadi kekosongan dan memicu munculnya produk vulkanik baru

### **2.3.3. Batuan Ubahan**

Batuan ubahan dikelompokkan menjadi dua lokasi yaitu daerah alterasi di sekitar Kawah Plupuh dicirikan dengan kehadiran mineral ubahan yang didominasi oleh mineral alunit, hallosyit dan kaolinit dengan intensitas kuat, disamping itu terdapat oksida besi dalam jumlah yang cukup tinggi.

Berdasarkan keberadaan batuan ubahan dapat diinterpretasikan bahwa daerah tersebut telah terbentuk alterasi hidrotermal yang dipengaruhi oleh fluida asam. Zona ubahan termasuk kedalam zona Argilik lanjut (*Advance Argillic*). Daerah lainnya berada di sekitar Gunung Pundak, Desa Claket dengan dicirikan oleh batuan lava andesit, porfiritik, berwarna putih kecoklatan dengan spot hitam dari mineral piroksen. Mineral alterasi yang terbentuk adalah montmorilonit yang diakibatkan oleh pengaruh fluida panas. Zona ubahan termasuk kedalam zona argilik.