



**INVESTIGASI ZONA-ZONA AKUIFER DI DAERAH BABAN
KECAMATAN SILO KABUPATEN JEMBER DENGAN
MENGUNAKAN METODE SEISMIC REFRAKSI**

SKRIPSI

Oleh
Rara Ayu Dewi Retnaningtyas
NIM 091810201003

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**INVESTIGASI ZONA-ZONA AKUIFER DI DAERAH BABAN
KECAMATAN SILO KABUPATEN JEMBER DENGAN
MENGUNAKAN METODE SEISMIC REFRAKSI**

SKRIPSI

diajukan guna tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh
Rara Ayu Dewi Retnaningtyas
NIM 091810201003

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh cinta, rasa syukur, dan terima kasih kepada :

1. Ibu Siti Sumarmini, Mama Ninik Susilowati, dan Bapak Rahmadi yang selalu setia memberikan doa, dukungan, nasehat, perhatian dan motivasi untuk Ananda dalam menyelesaikan pendidikan;
2. Saudara tercinta Erlangga Rifky dan Aditya Bayu serta seluruh keluarga besar di Ponorogo yang selalu memberi doa dan dukungan;
3. Sahabat tersayang Rentin Mala yang telah memberikan dukungan dan semangat selama ini;
4. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak (TK) sampai perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dengan penuh kesabaran;
5. Almamater tercinta, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember.

MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman. Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar”
(Al-Baqarah: 153) ^{*)}

"Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah."
(Thomas Alva Edison) ^{**)}

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2005. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung : Syaamil Cipta Media

***) Anonim, tanpa tahun.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

nama : Rara Ayu Dewi Retnaningtyas

NIM : 091810201003

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Investigasi Zona-Zona Akuifer Di Daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Juni 2016
Yang menyatakan,

Rara Ayu Dewi R
NIM 091810201003

SKRIPSI

**INVESTIGASI ZONA-ZONA AKUIFER DI DAERAH BABAN
KECAMATAN SILO KABUPATEN JEMBER DENGAN
MENGUNAKAN METODE SEISMIC REFRAKSI**

Oleh

**Rara Ayu Dewi Retnanintyas
NIM 091810201003**

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.
Dosen Pembimbing Anggota : Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Investigasi Zona-Zona Akuifer Di Daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari :
Tanggal :
Tempat : Fakultas MIPA Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua
Dosen Pembimbing Utama

Sekretaris
Dosen Pembimbing Anggota

Nurul Priyantari, S.Si.,M.Si.
NIP. 19700327199722001

Puguh Hiskiawan, S.Si.,M.Si.
NIP. 19741215202121001

Anggota I

Anggota II

Ir. Misto, M.Si
NIP. 195911211991031002

Endhah Purwandari, S.Si.,M.Si
NIP. 198111112005012001

Mengesahkan
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Investigasi Zona-Zona Akuifer Di Daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi; Rara Ayu Dewi R, 091810201003; 2016; 71 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Air merupakan kehidupan utama bagi manusia. Seiring bertambahnya populasi dan kemajuan industri menyebabkan kebutuhan air bersih sangat meningkat. Oleh karena itu, dicari sumber air yang dekat yaitu air yang ada di bawah permukaan atau air tanah. Air tanah merupakan salah satu sumber daya mineral terpenting yang dapat diambil dari bawah permukaan bumi. Air yang mengalir ke tanah selain bergantung pada ruang dan waktu, juga dipengaruhi oleh kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan.

Desa Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember memiliki daerah yang cukup landai tetapi di beberapa tempat yang lain kondisinya cukup curam. Hal ini terjadi karena Desa Baban memiliki struktur batuan yang berasal dari paparan Gunung Api Raung, karena itu struktur batuanya tidak mudah menyerap atau menyimpan air sehingga merupakan daerah yang termasuk kesulitan air meskipun pada musim hujan. Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan penelitian untuk mengetahui adanya akuifer (air tanah) di daerah penelitian dengan menggunakan metode seismik refraksi. Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran respon gelombang seismik yang dimasukkan ke dalam tanah dan kemudian direfleksikan atau direfraksikan sepanjang perbedaan lapisan tanah atau batas-batas batuan. Sumber seismik umumnya adalah *weightdrop* yang dihantamkan di atas tanah. Respon yang tertangkap dari tanah diukur dengan sensor yang disebut *geophone*, yang berfungsi mengukur pergerakan bumi.

Metode seismik refraksi efektif digunakan untuk penentuan struktur geologi dangkal sehingga metode ini sering digunakan untuk mengetahui nilai kedalaman

lapisan relatif kedap air. Metode seismik refraksi mengukur gelombang datang yang dipantulkan sepanjang formasi geologi di bawah permukaan tanah. Dengan mengetahui waktu tempuh gelombang dan jarak antar *geophone* dengan sumber ledakan maka struktur lapisan geologi di bawah permukaan bumi dapat diperkirakan berdasarkan besar kecepatannya.

Penelitian dilakukan di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember dengan menggunakan 4 lintasan yang berbentuk azimuth dengan panjang lintasan adalah 20 meter, jarak antar lintasan adalah 1 meter. Jarak sumber getar dengan *geophone* yang pertama adalah 2 meter. Perekaman dilakukan oleh 3 *geophone* dalam satu garis lurus dengan sumber getar. *Geophone* tersebut akan selalu berpindah pada titik-titik yang telah ditentukan sepanjang lintasan 20 meter. Pengambilan data masing-masing lintasan menggunakan cara *forward* dan *backward* dengan pengulangan sebanyak dua kali untuk tiap lintasan.

Data yang diperoleh dari survei seismik refraksi adalah waktu tempuh penjalaran gelombang dari sumber getar ke setiap *geophone* yang disebut *travel time*. Didapatkan 2 kurva *travel time* yaitu untuk metode *forward* dan *backward* pada tiap lintasan. Kurva tersebut memiliki tiga elemen yang menunjukkan *slope* untuk mencari nilai kecepatan gelombang serta kedalaman tiap-tiap lapisan tanah dimana tiap lintasan diperoleh tiga lapisan bawah permukaan dengan jenis material yang berbeda-beda. Dari data penelitian didapatkan lapisan pertama tiap lintasan tersusun atas tanah, pasir, pasir dan kerikil. Pada lapisan kedua tersusun atas pasir, pasir dan kerikil dekat permukaan dan tanah liat, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki jenis material yang hampir sama dengan lapisan kedua. Pada lintasan keempat terdeteksi adanya potensi akuifer atau air tanah dengan nilai kecepatan gelombang seismik yang diperoleh berkisar antara 1373,75 m/s hingga 1635,43 m/s dengan kedalaman 16,84 m hingga 17,48 m. Besarnya nilai kecepatan gelombang dipengaruhi oleh material yang ada di bawah permukaan bumi.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Investigasi Zona-Zona Akuifer Di Daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi;
2. Bapak Ir. Misto, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang memberikan kritik, saran dan masukan yang membangun dalam penulisan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. Teman-teman Mafia 2009, Indah, ZamZam, Intan, Helmi, Ovi, Pingkan, Taqim, Andik dan teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian dan yang telah memberikan dorongan semangat;
5. Sahabat-sahabatku tersayang, Fahmi Ramadhan, Dyah Ayu, dan Betha Dian yang telah memberikan semangat dan dukungan serta selalu menemani selama ini;
6. Pak Narto, Pak Ji, Pak Edy, Pak Budi, Pak Ansori, serta seluruh staf karyawan di Jurusan Fisika FMIPA terima kasih atas segala bantuannya.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk berbagai pihak.

Jember, 27 Juni 2016

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN.....	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Profil Daerah Penelitian	5
2.2 Air Tanah	6
2.3 Definisi Muka Air Tanah	7
2.4 Akuifer	7
2.5 Macam-Macam Akuifer	8

2.6 Definisi Metode Seismik Refraksi	11
2.7 Metode Refraksi	11
2.8 Kecepatan Rapat Gelombang Seismik	13
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	15
3.1.1 Tempat Penelitian	15
3.1.2 Waktu Penelitian	17
3.2 Alat Penelitian	17
3.3 Prosedur Penelitian Seismik Refraksi	17
3.4 Pengolahan dan Data.....	19
3.5 Skema Kerja	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Hasil.....	22
4.4 Pembahasan.....	26
BAB 5. PENUTUP.....	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN.....	35

DAFTAR TABEL

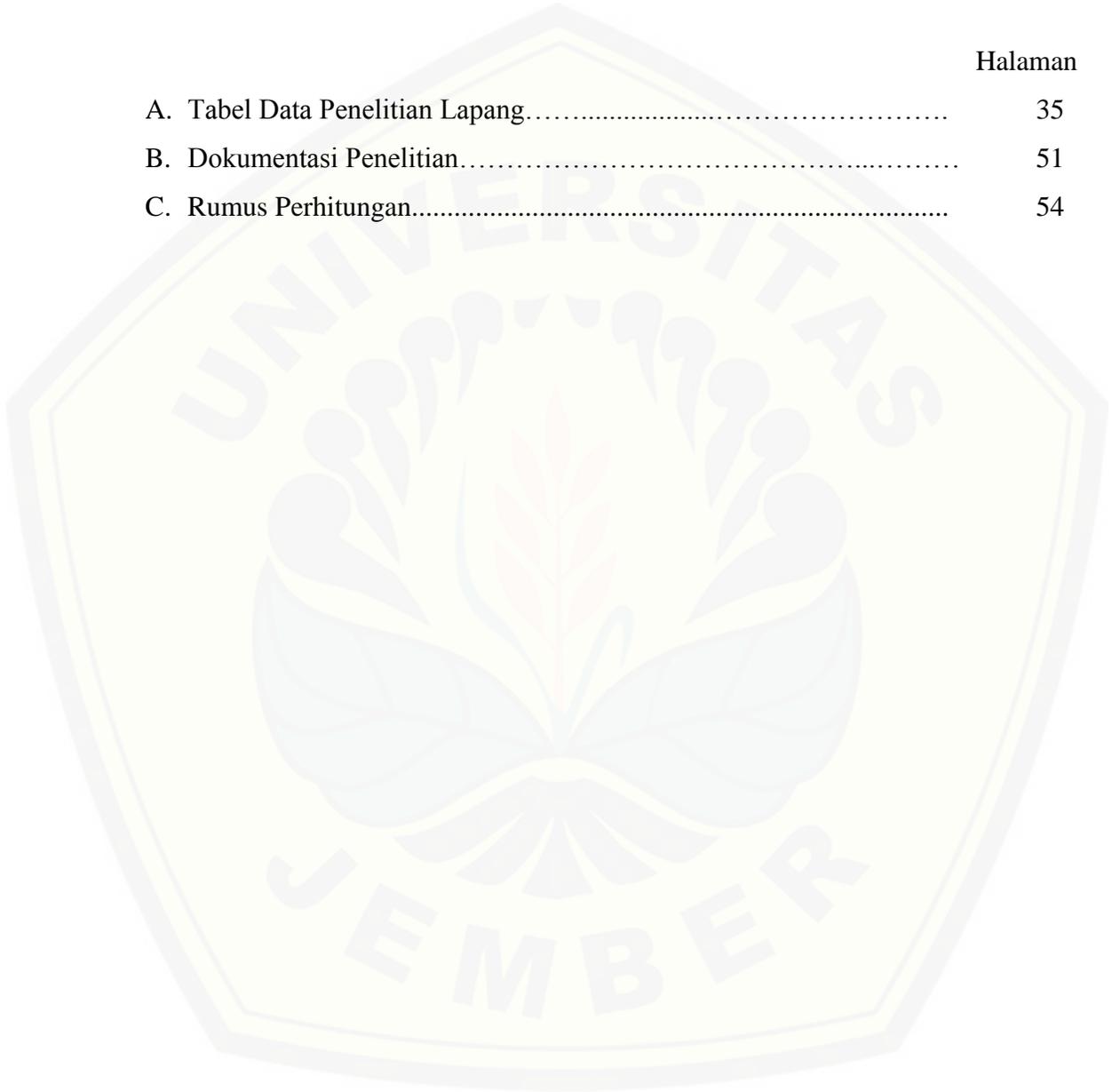
	Halaman
2.1 Daftar Nilai Kecepatan Gelombang P dari Tiap Batuan Yang Berbeda.....	14
4.1 Nilai Kecepatan Gelombang dan Kedalaman Tiap Lapisan Lintasan 1.....	22
4.2 Nilai Kecepatan Gelombang dan Kedalaman Tiap Lapisan Lintasan 2.....	23
4.3 Nilai Kecepatan Gelombang dan Kedalaman Tiap Lapisan Lintasan 3.....	24
4.4 Nilai Kecepatan Gelombang dan Kedalaman Tiap Lapisan Lintasan 4.....	25

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Peta Lokasi Penelitian di Kecamatan Silo.....	5
2.2 Akuifer Tidak Tertekan (<i>Unconfied Aquifer</i>)	9
2.3 Akuifer Tertekan (<i>Confied Aquifer</i>)	9
2.4 Akuifer Bocor	10
2.5 Akuifer Melayang	10
2.6 Pemantulan dan Pembiasan Gelombang	12
3.1 Peta Lokasi Penelitian di Kecamatan Silo Kabupaten Jember	14
3.2 Lokasi Lintasan Pengambilan Data Seismik Refraksi Untuk Menentukan Zona Akuifer	15
3.3 Desain Akuisisi Data eismik Refraksi	17
3.4 Skema Kerja Penelitian	20
4.1 Kurva <i>Travel Time</i> Lintasan 1	22
4.2 Kurva <i>Travel Time</i> Lintasan 2	23
4.3 Kurva <i>Travel Time</i> Lintasan 3	24
4.4 Kurva <i>Travel Time</i> Lintasan 4	25

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Tabel Data Penelitian Lapang.....	35
B. Dokumentasi Penelitian.....	51
C. Rumus Perhitungan.....	54



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air tanah merupakan kebutuhan utama bagi manusia. Pada zaman dahulu kehidupan berada di dekat air, sungai, mata air, dan danau. Seiring bertambahnya populasi dan kemajuan industri menyebabkan kebutuhan air bersih sangat meningkat. Bagi yang jauh dari sumber air, memerlukan banyak biaya untuk mengalirkan air dari sumber ke tempatnya. Oleh karena itu, dicari sumber air lain yang dekat, yaitu air yang ada di bawah permukaan atau air tanah.

Air yang mengalir ke tanah selain bergantung pada ruang dan waktu, juga dipengaruhi oleh kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan. Pada curah hujan yang cukup besar akan tetapi lerengnya curam dan ditutupi oleh material *impermeable* (kedap air), maka air yang mengalir di permukaan akan lebih banyak daripada yang terserap ke dalam tanah sedangkan pada curah hujan yang sedang namun lerengnya landai dan permukaannya *permeable* (tidak kedap air), maka air yang meresap tidak semuanya bergerak jauh karena akan tertahan oleh gaya pembungkus pada butiran-butiran tanah dan sebagiannya lagi akan menguap ke atmosfer, sedangkan sisa-sisanya merupakan cadangan bagi tumbuhan selama belum ada hujan. Air yang tidak tertahan dekat permukaan menerobos ke bawah sampai zona dimana seluruh ruang terbuka pada sedimen atau batuan berisi air (jenuh air). Air pada zona ini disebut air tanah (Hasanatullah, 2004).

Di daerah Desa Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember memiliki daerah yang cukup landai tetapi di beberapa tempat yang lain kondisinya cukup curam (Cahyani, 2007). Hal ini terjadi karena Desa Baban memiliki struktur batuan yang berasal dari paparan Gunung Api Raung (Supeno, *et al* 2009), karena itu struktur batumannya tidak mudah menyerap atau menyimpan air sehingga merupakan daerah

yang termasuk kesulitan air meskipun pada musim hujan. Sebagian besar penduduk di sekitar lokasi penelitian mengambil air untuk kebutuhan sehari-hari dari satu-satunya sumur yang terdapat jauh di dalam perkebunan. Air yang berasal dari sumur cukup keruh, itu digunakan untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari. Selain itu kesulitan air juga dapat disebabkan oleh adanya pertumbuhan industri yang cepat dan juga disertai pertumbuhan penduduk ataupun pemukiman warga yang pesat sehingga menyebabkan kebutuhan air semakin meningkat. Dengan permasalahan ini maka penulis ingin melakukan suatu penelitian untuk mengetahui adanya akuifer (air tanah). Adapun manfaat dari air tanah (akuifer) misal dalam bidang pertanian yaitu sebagai sarana alternatif irigasi karena adanya keterbatasan air di permukaan. Selain itu, data hasil pengamatan air tanah dapat juga digunakan sebagai titik lokasi pembuatan sumur bor. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui air tanah adalah metode seismik. Metode seismik adalah salah satu metode eksplorasi yang didasarkan pada pengukuran respon gelombang seismik yang dimasukkan ke dalam tanah dan kemudian direfleksikan atau direfraksikan sepanjang perbedaan lapisan tanah atau batas-batas batuan. Sumber seismik umumnya adalah *weightdrop* yang dihantamkan di atas tanah. Respons yang tertangkap dari tanah diukur dengan sensor yang disebut *geophone*, yang berfungsi mengukur pergerakan bumi.

Dalam penelitian ini penulis akan menggunakan metode seismik refraksi yang efektif digunakan untuk penentuan struktur geologi yang dangkal sehingga metode ini sering digunakan untuk mengetahui nilai kedalaman lapisan relatif kedap air (Priyantari, *et al* 2009). Metode seismik refraksi mengukur gelombang datang yang dibiaskan kritis sepanjang formasi geologi di bawah permukaan tanah. Peristiwa refraksi umumnya terjadi pada muka air tanah dan bagian paling atas formasi bantalan batuan cadas. Grafik waktu datang gelombang pertama seismik pada masing-masing *geophone* memberikan informasi mengenai kedalaman dan lokasi dari horison-horison geologi ini.

Metode seismik refraksi pernah digunakan oleh Listiyani *et al* (2007) dalam menentukan analisis geometri akuifer dangkal untuk studi kasus endapan *alluvial* di

daerah *South Dakota*, USA. Selain itu ada juga Kartika *et al* (2007) yang menggunakan metode seismik refraksi untuk menentukan struktur bawah permukaan tanah di Kabupaten Bantul, dan Priyantari *et al* (2009) menentukan kedalaman *bedrock* di Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. Pada daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember pernah dilakukan penelitian antara lain oleh Wanggono (2007) tentang studi *massive sulfida* dengan metode *self potensial*, Novitasari (2007) juga melakukan penelitian studi *massive sulfida* dengan metode *misse-a-la-masse*, dan Cahyani (2007) mengaplikasikan metode geolistrik *resistivitas* 2D konfigurasi *dipole-dipole* pada daerah potensi sumber daya mineral logam.

Berdasarkan latar belakang di atas maka peneliti ingin mengetahui adanya persebaran zona akuifer dengan menggunakan metode seismik refraksi sehingga didapatkan data lapang yang dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan rambat gelombang tiap lapisan tanah dan kedalaman lapisan batuan yang mengandung akuifer. Karena selama ini di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember kesulitan air maka diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk membantu warga dalam menyelesaikan permasalahan ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada ketersediaan air yang terbatas di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember serta adanya perbedaan lapisan tanah yang bervariasi di bawah permukaan maka dilakukan penelitian dengan permasalahan bagaimana menentukan zona akuifer pada tiap lapisan tanah dengan menggunakan metode seismik refraksi ?

1.3 Tujuan

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui adanya potensi zona akuifer dan kedalamannya di sekitar rumah penduduk di Desa Baban Kecamatan Silo dengan menggunakan metode seismik refraksi.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian yang dilakukan adalah :

1. Penentuan zona akuifer berdasarkan dari kecepatan gelombang dan kedalaman permukaan di sekitar rumah penduduk.
2. Pengolahan data lapang menggunakan *Microsoft Excel*.
3. Pengambilan data dilakukan pada saat musim kemarau.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian adalah dapat diketahui adanya potensi zona akuifer yang dapat membantu menyelesaikan ketersediaan air di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember sehingga masyarakat dapat mengeksplorasi sumber air tanah yang dapat digunakan untuk pemenuhan kebutuhan air dalam kehidupan sehari-hari misalnya dalam pembuatan sumur bor, sarana alternatif irigasi karena keterbatasan air permukaan dan penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan di bidang geofisika untuk penelitian yang lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Daerah Penelitian

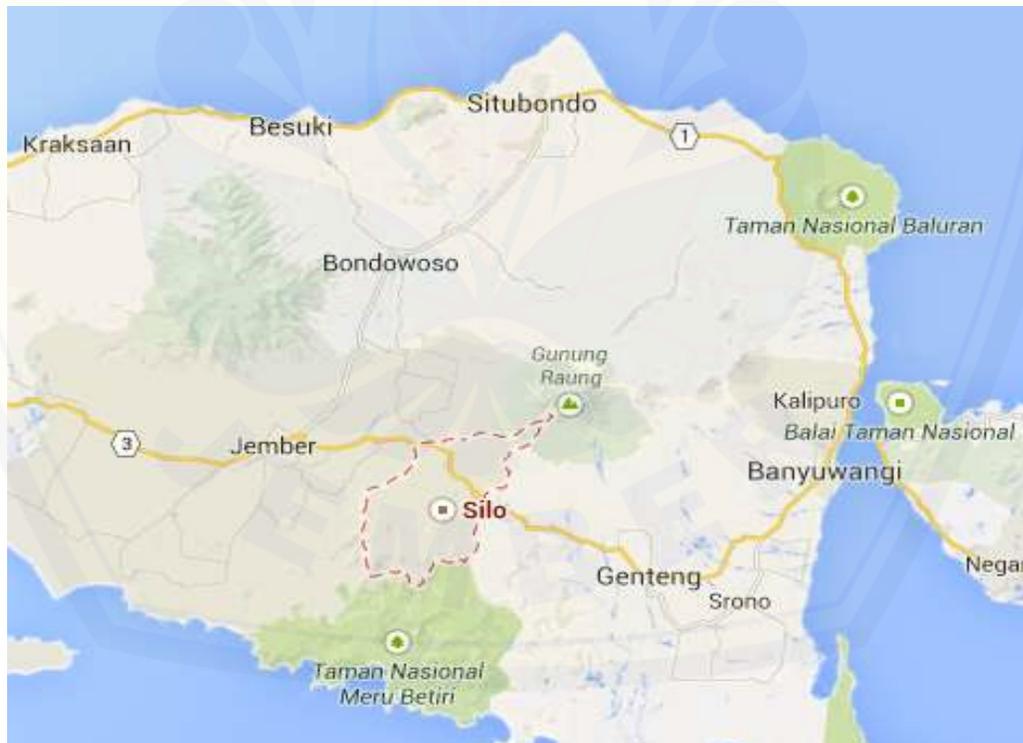
Kecamatan Silo mempunyai luas wilayah 309,99 km² dengan ketinggian rata-rata 469 m dari atas permukaan laut. Kecamatan Silo terdiri dari 9 desa yaitu: Mulyorejo, Pace, Harjomulyo, Karangharjo, Silo, Sempolan, Sumberjati, Gaharan, Sidomulyo. Batas Kecamatan Silo yaitu :

Sebelah Utara : Kecamatan Ledokombo

Sebelah Timur : Kabupaten Banyuwangi

Sebelah Selatan : Kecamatan Tempurejo

Sebelah Barat : Kecamatan Mayang.



Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian di Kecamatan Silo
(Sumber : maps.google.com, 2014)

Daerah Silo merupakan daerah perkebunan komersial terutama oleh tanaman kopi, karet dan jati dengan profil daerah berbukit-bukit. Secara umum batuan asal di daerah ini merupakan paparan batuan dari Gunung Api Raung (Supeno, *et al* 2009). Sebagian besar masyarakat di daerah tersebut bekerja di perkebunan untuk mengambil getah dari pohon karet, memanen biji kopi dan sebagian lagi beternak sapi dan kambing.

2.2 Air Tanah

Air tanah merupakan salah satu sumber daya mineral terpenting yang dapat diambil dari bawah permukaan bumi. Sekitar 30% dari konsumsi air harian di dunia didapatkan dari air tanah, sisanya didapatkan dari air permukaan pada sungai dan danau (Rismunandar, 1984).

Pengertian air tanah dikemukakan oleh banyak pengamat, antara lain yaitu :

- a. Air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi (Soemarto, 1995).
- b. Curah hujan yang masuk ke dalam tanah dan meresap ke lapisan yang di bawahnya (Wilson, 1993).
- c. Air yang terdapat pada bahan yang jenuh di bawah muka air tanah (Seyhan, 1990).
- d. Air permukaan yang meresap ke dalam tanah dan berkumpul di bagian lapisan bawah tanah yang kemudian sedikit demi sedikit akan keluar melalui mata air (Sutedjo, 1994).
- e. Air yang terdapat di bawah permukaan bumi. Salah satu sumber utamanya adalah air hujan yang meresap ke bawah lewat ruang pori diantara butiran tanah (Hardiyatmo, 2002).

Kandungan air pada akuifer di dalam tanah meningkat ketika musim hujan sedangkan kandungan air menurun atau tidak ada sama sekali ketika musim kemarau. Padahal air sangat diperlukan untuk mendukung kehidupan sehari-hari makhluk

hidup di bumi. Kondisi air tanah pada musim kemarau dapat diatasi dengan melakukan upaya konservasi (Sriyono, dkk, tanpa tahun).

Air tanah tidak dijumpai di semua tempat. Keterdapatannya air tanah tergantung dari ada tidaknya lapisan batuan yang dapat mengandung air tanah yang disebut akuifer. Akuifer adalah formasi batuan yang dapat menyimpan dan meluluskan air seperti misalnya pasir dan kerikil lepas (Simoen, 2001). Jumlah air tanah yang dapat diperoleh di suatu daerah tergantung pada sifat-sifat akuifer yang ada di daerah tersebut serta pada luas cakupan dan frekuensi imbuhan. Kapasitas suatu formasi untuk menampung air diukur dengan porositas, yaitu perbandingan antara *volume* pori-pori terhadap *volume* total formasi tersebut (Todd, 1980).

2.3 Definisi Muka Air Tanah

Muka air tanah adalah suatu permukaan yang disekati oleh ketinggian permukaan air dalam sumur yang menembus sampai zona saturasi. Sedikit di atas muka air tanah terdapat frinji kapilaritas, yaitu daerah di dalam tanah ketika air yang berasal dari zona jenuh ditarik oleh gaya kapiler ke dalam zona aerasi. Frinji kapilaritas berbentuk tidak beraturan dan selalu mengikuti muka air tanah. Frinji itu sendiri adalah bagian tepi atau atas dari muka air tanah yang menunjukkan batas yang tidak rata karena ada bagian yang menjulur keluar, sedangkan kapiler adalah pipa-pipa kecil atau saluran halus dalam tubuh batuan (Listiyani, *et al* 2007).

Aliran air tanah dapat berlangsung dalam zona jenuh (*saturated zone*) maupun dalam zona tidak jenuh (*unsaturated zone*). Proses pengaliran tanah pada zona tidak jenuh dapat berlangsung akibat adanya perbedaan tekanan, perbedaan kadar tanah, tekanan kapiler dan pengisapan oleh akar tumbuhan (*root water uptake*) (Rolia, 2011). Sedangkan pada zona jenuh dipengaruhi oleh kondisi geologi, hidrogeologi, gaya tektonik dan struktur bumi yang membentuk cekungan air tanah (Hadian, dkk, Tanpa Tahun). Pada daerah penelitian yang merupakan perkebunan komersial terdapat banyak tanaman terutama kopi, karet dan sengon.

2.4 Akuifer

Akuifer adalah lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang mengandung air dan dapat dirembesi air. Akuifer adalah formasi geologi atau grup formasi yang mengandung air dan secara signifikan mampu mengalirkan air melalui kondisi alaminya. Batasan lain yang digunakan adalah reservoir air tanah atau lapisan penyimpanan air tanah (Rizal, 2009).

Todd (1980) menyatakan tidak semua formasi litologi dan kondisi geomorfologi merupakan akuifer yang baik. Berdasarkan pengamatan lapangan, akuifer dijumpai pada bentuk lahan sebagai berikut:

- a. Lintasan air (*water course*), materialnya terdiri dari aluvium yang mengendap di sepanjang alur sungai sebagai bentuk lahan dataran banjir serta tanggul alam. Bahan aluvium itu biasanya berupa pasir dan kerikil.
- b. Lembah yang terkubur (*buried valley*) atau lembah yang ditinggalkan (*abandoned valley*), tersusun oleh materi lepas-lepas yang berupa pasir halus sampai kasar.
- c. Dataran (*plain*), ialah bentuk lahan berstruktur datar dan tersusun atas bahan aluvium yang berasal dari berbagai bahan induk sehingga merupakan akuifer yang baik.
- d. Lembah antar pegunungan (*intermontane valley*), yaitu lembah yang berada di antara dua pegunungan, materialnya berasal dari hasil erosi dan gerak massa batuan dari pegunungan di sekitarnya.
- e. Batu gamping (*limestone*), air tanah terperangkap dalam retakan-retakan atau diaklas-diaklas. Porositas batu gamping ini bersifat sekunder. Batuan vulkanik, terutama yang bersifat basal. Sewaktu aliran basal ini mengalir, ia mengeluarkan gas-gas. Bekas-bekas gas keluar itulah yang merupakan lubang atau pori-pori yang dapat terisi air.

2.5 Macam-Macam Akuifer

Berikut ini merupakan macam-macam akuifer berdasarkan litologinya yaitu :

1. Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan (*Unconfied Aquifer*)

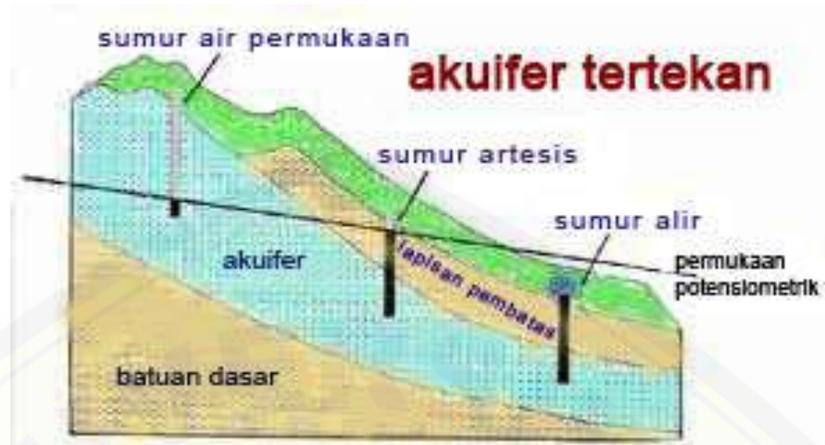
Akuifer bebas atau akuifer tidak tertekan adalah lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi air dan berada di atas lapisan kedap air (*impermeable*). Permukaan tanah pada akuifer bebas disebut *water table*. *Water table* adalah permukaan air yang mempunyai tekanan hidrostatik sama dengan atmosfer (Krussman dan Ridder, 1970). Permukaan air tanah di sumur dan air tanah bebas merupakan permukaan air bebas yang berada pada batas antara zona jenuh dengan air tanah dan zona tak jenuh (zona aerasi) di atas zona jenuh (Wuryantoro, 2007).



Gambar 2.2 Akuifer Tidak Tertekan (*Unconfied Aquifer*) (Wuryantoro, 2007)

2. Akuifer Tertekan

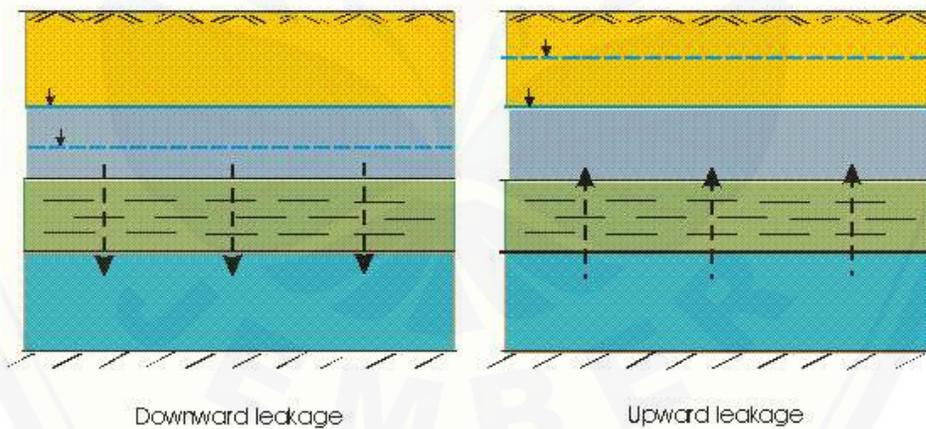
Akuifer tertekan adalah akuifer yang seluruh airnya dibatasi lapisan kedap air (*impermeable*), baik di atas maupun di bawah dan mempunyai tekanan jenuh lebih besar daripada tekanan atmosfer (Krussman dan Ridder, 1970).



Gambar 2.3 Akuifer Tertekan (*Confied Aquifer*) (Wuryantoro, 2007)

3. Akuifer Bocor

Akuifer bocor adalah akuifer di mana air tanah terkekang di bawah lapisan setengah kedap air. Akuifer bocor merupakan akuifer yang terletak diantara akuifer bebas dan akuifer tertekan.



Gambar 2.4 Akuifer Bocor (Wuryantoro, 2007)

4. Akuifer melayang

Akuifer melayang adalah akuifer yang terbentuk di atas lapisan kedap air (*impermeable*) di dalam zona tak jenuh (zona aerasi). Akuifer melayang mempunyai

variasi permukaan air dan volume yang besar sehingga tidak dapat dijadikan sebagai suatu pengembangan air tanah (Wuryantoro, 2007).



Gambar 2.5 Akuifer Melayang (Wuryantoro, 2007)

2.6 Definisi Metode Seismik Refraksi

Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau gelombang elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. Respon bumi sebagai bidang pemantul kemudian ditangkap oleh penerima yang telah disusun berdasarkan geometrinya di permukaan. Dari sini akan didapatkan data waktu gelombang seismik yang melewati atau bahkan menembus bumi dan kembali lagi ke permukaan yang dicatat sebagai *two-way-time* (Aditya, 2005).

Menurut Telford (1976), dasar teknik seismik dapat digambarkan dengan suatu sumber gelombang yang dibangkitkan di permukaan bumi. Karena material bumi bersifat elastik maka gelombang seismik yang terjadi akan dijajarkan ke dalam bumi dalam berbagai arah. Pada bidang batas antar lapisan, gelombang ini sebagian dipantulkan dan sebagian lagi dibiarkan untuk diteruskan ke permukaan bumi. Di permukaan bumi gelombang tersebut diterima oleh serangkaian detektor (*geophone*) yang umumnya disusun membentuk garis lurus dengan sumber ledakan (*profil line*), kemudian dicatat atau direkam oleh suatu alat seismograf. Dengan mengetahui waktu tempuh gelombang dan jarak antar *geophone* dengan sumber ledakan maka struktur

lapisan geologi di bawah permukaan bumi dapat diperkirakan berdasarkan besar kecepatannya.

Metode seismik refraksi memiliki kelebihan antara lain yaitu untuk menyelesaikan permasalahan mengenai perubahan lateral pada kedalaman lapisan hingga ke permukaan dan kecepatan seismik tiap lapisan. Parameter geofisika yang digunakan adalah kecepatan gelombang dari lapisan-lapisan batuan yang ada. Dalam beberapa hal, faktor geoteknik dapat diturunkan seperti menentukan kekuatan batuan dan fluida potensial. Penggunaan seismik refraksi untuk aplikasi teknik antara lain untuk investigasi hidrogeologi seperti menentukan kedalaman akuifer dan zona patahan (Reynolds, 1997).

2.7 Metode Refraksi

Bila gelombang elastik yang menjalar dalam medium bumi menemui bidang batas perlapisan dengan elastisitas dan densitas yang berbeda, maka akan terjadi pemantulan dan pembiasan gelombang tersebut. Bila kasusnya adalah gelombang kompresi (gelombang P) maka terjadi empat gelombang yang berbeda yaitu gelombang P-refleksi (PP_1), gelombang S-refleksi (PS_1), gelombang P-refraksi (PP_2), gelombang S-refraksi (PS_2). Dari Hukum Snellius diperoleh :

$$\frac{V_{P1}}{\sin i} = \frac{V_{P1}}{\sin \theta_p} = \frac{V_{S1}}{\sin \theta_s} = \frac{V_{P2}}{\sin r_p} = \frac{V_{S2}}{\sin r_s} \quad (2.1)$$

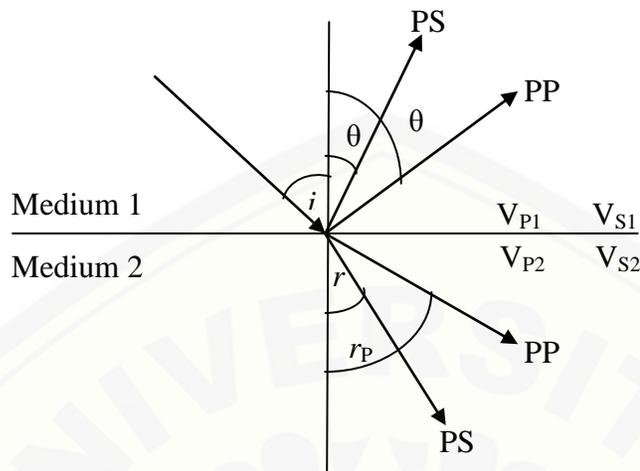
dimana :

V_{P1} = kecepatan gelombang P di medium 1 (m/s)

V_{P2} = kecepatan gelombang P di medium 2 (m/s)

V_{S1} = kecepatan gelombang S di medium 1 (m/s)

V_{S2} = kecepatan gelombang S di medium 2 (m/s)



Gambar 2.6 Pemantulan dan Pembiasan Gelombang (Susilawati, 2004)

Prinsip utama metode refraksi adalah penerapan waktu tiba pertama gelombang baik langsung maupun gelombang refraksi. Kecepatan gelombang P lebih besar daripada gelombang S maka kita hanya memperhatikan gelombang P. Dengan demikian antara sudut datang dan sudut bias menjadi :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.2)$$

Pada pembiasan kritis sudut $r = 90^\circ$ sehingga persamaan menjadi :

$$\sin i = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.3)$$

Persamaan ini digunakan untuk menjelaskan metode pembiasan dengan sudut datang kritis. Gelombang dari sumber S menjalar pada medium V_1 , dibiaskan kritis sehingga menjalar pada bidang batas lapisan. Dengan menggunakan prinsip Huygens pada bidang batas lapisan, gelombang dibiaskan ke atas di setiap titik pada bidang batas itu sehingga sampai ke detektor P yang ada di permukaan. Jadi gelombang yang dibiaskan di bidang batas yang datang pertama kali di titik P pada bidang batas di atasnya adalah gelombang yang dibiaskan dengan sudut kritis (Sustriamah, 2007).

2.8 Kecepatan Rambat Gelombang Seismik

Kecepatan gelombang seismik menunjukkan kecepatan penjaralan gelombang yang dibangkitkan di atas permukaan bumi kemudian merambat ke dalam medium bumi. Di dalam perambatannya gelombang seismik memiliki kecepatan yang berbeda ketika melewati material yang berbeda. Kecepatan rambat V pada bahan elastis adalah :

$$V = (\text{sesuai modulus elastis/density } \rho)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.4)$$

Kecepatan gelombang P adalah :

$$V_p = \left(\frac{k + 4\mu/3}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

Kecepatan gelombang S adalah :

$$V_s = (\mu/\rho)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Rasio V_p/V_s didefinisikan pada bentuk rasio Poisson (σ) sehingga :

$$\frac{V_p}{V_s} = \left(\frac{1 - \sigma}{1/2 - \sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Dengan $\mu = 0$ untuk cairan, karena cairan tidak dapat mendukung geseran dan rasio Poisson maksimum adalah $\sigma \approx 0,5$; $\sigma \approx 0,05$ untuk batuan keras, $\sigma \approx 0,45$ untuk sedimen dan $\sigma \approx 0,25$ untuk *unsolid* sedimen.

Kecepatan gelombang seismik dapat digunakan untuk menentukan struktur yang ada di bawah permukaan bumi. Tabel di bawah ini menunjukkan kecepatan gelombang seismik dari beberapa material yang berbeda.

Tabel 2.1 Daftar nilai kecepatan gelombang P dari setiap batuan yang berbeda

Batuan	V_p (m/s)
Tanah	100 – 500
Air	1450 – 1530
Pasir	200 – 2000
Pasir (bersifat meluluskan)	200 – 1000
Pasir (tersaturasi air, bersifat meluluskan)	1500 – 2000
Pasir dan kerikil	400 – 2300
Lempung	1000 – 2500
Endapan lempung / lempung	300 – 1800
Napal	1874 – 2216

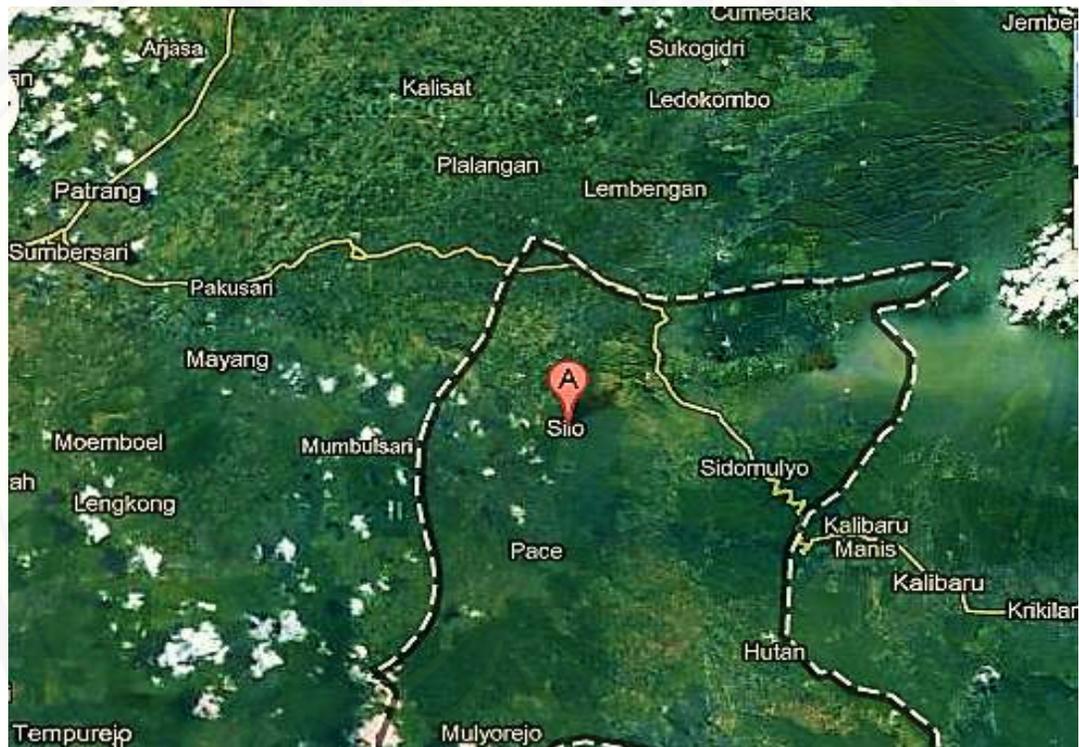
(Sumber : Reynolds, 1997).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan untuk mengetahui adanya zona akuifer di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember dengan menggunakan metode seismik refraksi.

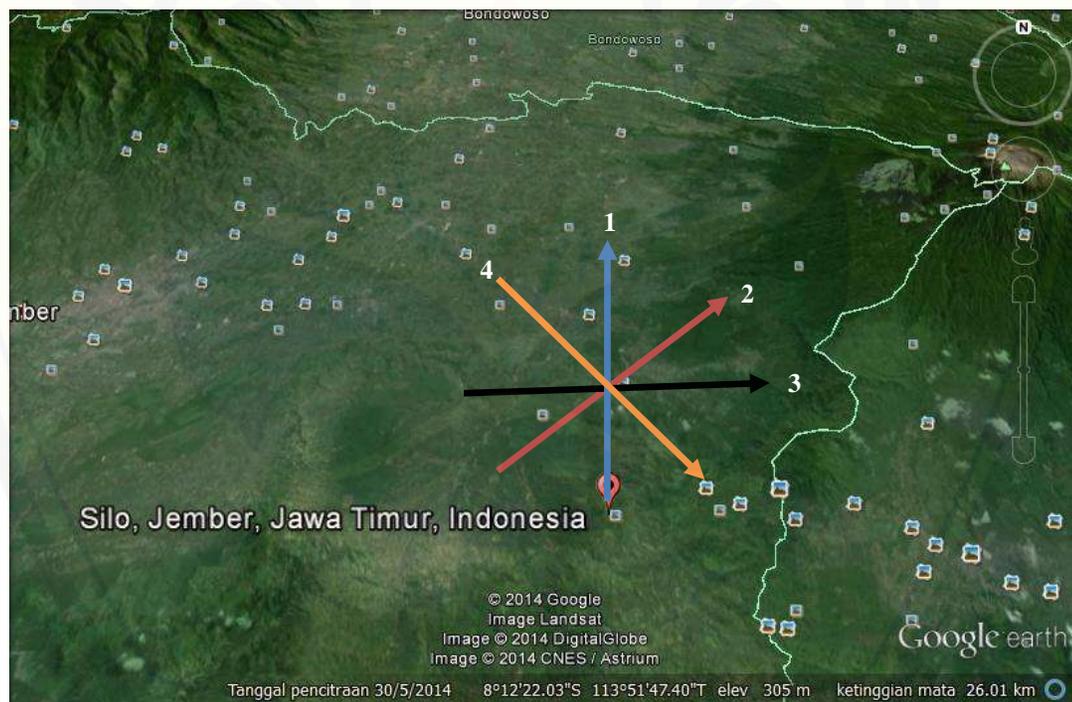


Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian di Kecamatan Silo Kabupaten Jember
(Sumber : maps.google.com, 2014)

Daerah Baban Kecamatan Silo merupakan daerah perkebunan komersial terutama kopi, karet dan jati. Lokasi yang digunakan untuk melakukan penelitian berada di daerah pemukiman warga yang kesulitan air. Terdapat 4 (empat) lintasan yang diambil untuk mendapatkan data seismik refraksi yaitu 1 (satu) lintasan yang

horisontal dan 1 (satu) lintasan vertikal yang kemudian 2 (dua) lintasan memotong pertemuan titik lintasan horisontal dan vertikal sehingga lintasan tersebut akan berbentuk azimuth. Lintasan yang diambil berdasarkan karena profil wilayah tersebut berbukit dan merupakan paparan dari Gunung Api Raung. Lintasan yang diambil ditunjukkan pada Gambar 3.2 dengan panjang masing-masing lintasan adalah 20 meter sedangkan jarak antar lintasan adalah 1 meter.

Penentuan lintasan ini dilakukan berdasarkan kondisi sekitar yang sering mengalami kekurangan air meskipun pada musim hujan. Pengambilan lintasan berada di dekat sumur yang biasanya digunakan oleh warga untuk mencukupi kebutuhan air sehari-hari. Hal ini dilakukan supaya lintasan ini memiliki titik acuan yang dapat digunakan untuk menemukan titik-titik zona akuifer.



Gambar 3.2 Lokasi Lintasan Pengambilan Data Seismik Refraksi Untuk Menentukan Zona Akuifer

Untuk keterangan dalam gambar yaitu :



3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian tentang investigasi zona akuifer dengan menggunakan metode seismik refraksi di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember dilakukan pada bulan September 2014 hingga selesai.

3.2 Alat Penelitian

Adapun peralatan dan bahan yang diperlukan dalam penelitian antara lain :

- Seismograf McSEIS-SX Model 1817
- Geophone* (3 buah)
- Sumber energi (*accu* 12V)
- Palu geologi
- Lempeng besi
- Kabel *geophone*
- Komputer (alat prosesing data)

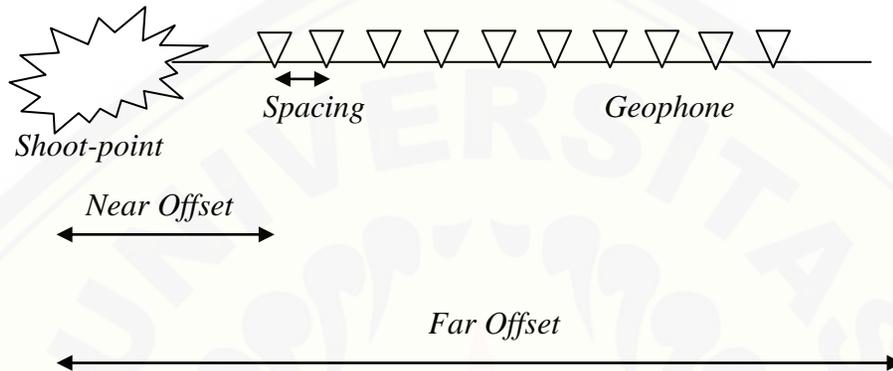
Peralatan penunjang terdiri dari :

- Kompas
- GPS
- Peta topografi
- Alat komunikasi (*handy talky*)
- Tool set*
- Peralatan kecil seperti selotip, rafia, meteran, dll.

3.3 Prosedur Penelitian Seismik Refraksi

Adapun desain dalam survei seismik refraksi dapat dilihat di bawah ini :

1. Peralatan disusun seperti pada gambar 3.3 dengan *geophone* dan sumber gelombang ditempatkan pada suatu garis lurus (*line seismic*).



Gambar 3.3 Desain Akuisisi Data Seismik Refraksi

2. Pengambilan data dilakukan dengan memukul palu geologi seberat 20 kg pada lempeng besi yang berfungsi sebagai *source* atau *shoot-point* untuk panjang lintasan 20 meter. Jarak sumber getar dengan *geophone* yang pertama adalah 2 meter yang disebut dengan *near offset*.
3. Perekaman dilakukan oleh 3 *geophone* dalam satu garis lurus dengan sumber getar. Spasi antar *geophone* yaitu 2 meter. 3 *geophone* tersebut akan selalu berpindah pada titik-titik yang telah ditentukan sepanjang lintasan 20 meter. Pengambilan data masing-masing lintasan menggunakan cara *forward* dan *backward*.
4. Penempatan sumber gelombang dilakukan untuk mendapatkan informasi struktur bawah permukaan secara detail. *Geophone* terdekat dengan sumber diharapkan dapat mendeteksi lapisan paling atas, sedangkan *geophone* paling jauh diharapkan dapat mendeteksi lapisan paling bawah yang dapat dicapai.

5. Data yang diperoleh dari survei seismik refraksi adalah waktu tempuh penjalaran gelombang dari sumber getar ke setiap *geophone* yang disebut *travel time*.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengukuran di lapangan yaitu *noise* yang bersifat mengganggu. Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, *noise* ini harus ditekan sekecil mungkin. Ada dua macam *noise* yaitu :

- a. *Noise* yang timbul sesaat kemudian lenyap

Noise ini diakibatkan oleh orang berjalan, motor / mobil, dan benda-benda yang bergerak dekat dengan *geophone*. Untuk menghindari *noise* semacam ini, pada saat sumber gelombang (*source*) ditimbulkan maka diusahakan tidak ada sesuatu yang bergerak di sekitar *geophone*.

- b. *Noise* yang timbul terus-menerus.

Noise ini biasanya timbul karena adanya angin, dedaunan yang tertiuip angin, aliran air sungai dan sebagainya. Untuk menghindari hal ini maka sebaiknya dilakukan *noise test*. Apabila *noise* yang timbul kecil maka pengukuran dapat dilaksanakan, sedangkan jika *noise* yang timbul besar maka pengukuran ditunda terlebih dahulu sampai *noise* mengecil (Sustriamah, 2007).

3.4 Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan dan analisa data yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

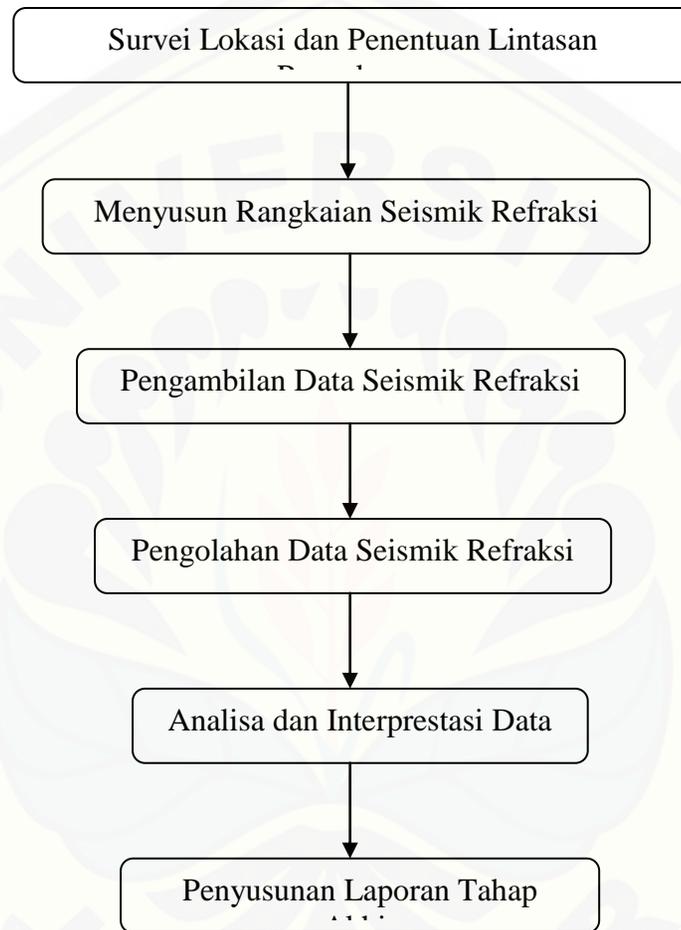
1. Data yang terekam dalam seismograf McSEIS-SX Model 1817 merupakan data *intercept time* yang menghasilkan data kedalaman tiap lapisan tanah yang didapat dari nilai kecepatan gelombang dan waktu penjalaran. Data ini dapat dipindahkan kemudian dianalisa kembali dengan menggunakan komputer atau *laptop*. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Excel* sehingga diperoleh kurva *travel time* dari jarak *geophone* dengan waktu tiba pertama gelombang.
2. Setelah data *first arrival time* diperoleh maka didapatkan grafik perbandingan jarak dan waktu. Kecepatan rambat gelombang pada lapisan dapat dicari dari

gradien yang dibentuk oleh garis hubungan antara jarak dan waktu yang digunakan untuk menentukan kedalaman lapisan (h).

3. Selanjutnya dari hasil perhitungan data diperoleh nilai kecepatan tiap lapisan. Dari kecepatan tiap lapisan tersebut dianalisis menggunakan variasi kecepatan gelombang P dari tiap lapisan batuan berdasarkan referensi untuk mendapatkan kedalaman dan ketebalan dari tiap *geophone*.
4. Dari nilai variasi kecepatan yang berbeda ini menunjukkan adanya jenis batuan penyusun dari tiap lapisan yang berbeda, sehingga dari analisis tiap lapisannya memperlihatkan kedalaman serta ketebalan tiap lapisannya yang digunakan untuk menganalisis letak lapisan akuifer atau geometri akuifer dangkal.

3.5 Skema Kerja

Adapun skema kerja yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4 Skema Kerja Penelitian

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan di daerah Baban Kecamatan Silo Kabupaten Jember dengan menggunakan metode seismik refraksi dan dari hasil pengolahan data yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Dari tiap lintasan diperoleh tiga lapisan bawah permukaan yang memiliki jenis material yang berbeda-beda. Pada lapisan pertama tiap lintasan tersusun atas tanah, pasir, pasir dan kerikil. Pada lapisan kedua tersusun atas pasir, pasir dan kerikil dekat permukaan dan tanah liat, sedangkan pada lapisan ketiga memiliki jenis material yang hampir sama dengan lapisan kedua.
2. Pada lintasan keempat terdeteksi adanya potensi akuifer atau air tanah dengan nilai kecepatan gelombang seismik yang diperoleh berkisar antara 1373,75 m/s hingga 1635,43 m/s dengan kedalaman 16,84 m hingga 17,48 m.
3. Besarnya nilai kecepatan gelombang dipengaruhi oleh material yang ada di bawah permukaan bumi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperlukan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik antara lain menambah jumlah lintasan agar dapat memperluas daerah penelitian dan menambah jumlah *geophone* sehingga lintasan yang dijangkau jauh lebih dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, H. 2005. *Analisa Model Kecepatan Berbasis Distribusi Kecepatan Stratigrafi Untuk Kegiatan Migrasi Domain Waktu Pada Lintasan HRIS03 PT. PERTAMINA (Persero)*. Skripsi. Surabaya : Jurusan Fisika FMIPA ITS
- Cahyani, I. 2007. *Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas 2D Konfigurasi Dipole-Dipole Pada Daerah Potensi Sumber Daya Mineral Logam Silo*. Skripsi. Jember : FMIPA Jurusan Fisika Universitas Jember
- Hadian, Mardiana, Waliyana dan Hendrawan. (Tanpa Tahun). *Karakteristik Batuan Vulkanik Dalam Mengungkap Potensi Sumber Daya Air Dan Kaitannya Dengan Zona Konservasi Lingkungan Di Daerah Lereng Gunung Salak Bagian Timur Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat*. Bandung : Universitas Padjajaran
- Hardiyatmo, H.C. 2002. *Teknik Pondasi 2 Edisi Kedua*. Beta Offset : Yogyakarta
- Hasanatullah, Z. 2006. *Akurasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Dan Konfigurasi Wenner-Schlumberger Pada Pendeteksi Air Tanah*. Jember : Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember
- Kartika, A., U., Yuliyanto, G., dan Harmoko, U. 2007. *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Desa Pleret, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul*. Semarang : Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Diponegoro
- Krussman, G., P., dan De Ridder, N., A. 1970. *Analysis And Evaluation Of Pumping Test Data*. Wageningen : International Institute For Land Reclamation And Improvement
- Listiyani, F., Yuliyanto, G. 2007. *Analisis Geometri Akuifer Dangkal Menggunakan Metode Seismik Bias Reciprocal Hawkins (Studi Kasus Endapan Alluvial Daerah Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America)*. **10** (1), Januari : 1-5

- Novitasari, P., W. 2007. *Studi Massive Sulfida Di Daerah Baban, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Misse-A-La-Masse. Skripsi.* Jember : FMIPA Jurusan Fisika Universitas Jember
- Priyantari, N. dan Suprianto, A. 2009. *Penentuan Kedalaman Bedrock Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember.* Jurnal Ilmu Dasar. **10** (1) : 6-12.
- Reynolds, J. M., 1997. *An Introduction to Applied and Geophysics.* Inggris : John Wiley & Sons Ltd. Baffins, Chichester, West Sussex PO19 IUD.
- Rismunandar. 1984. *Air, Fungsi Dan Kegunaannya Bagi Pertanian.* Bandung : Sinar Baru
- Rizal, M., K. 2009. *Analisis Pemetaan Zonasi Resapan Air Untuk Kawasan Perlindungan Sumber Daya Air Tanah (Ground Water) PDAM Tirtonadi Sibolangit Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Tesis.* Medan : Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara
- Rolia, E. 2011. *Penggunaan Metode Geolistrik Untuk Mendeteksi Air Tanah.* TAPAK. **1** (1) : 1-11
- Santoso, D. 2003. *Seismologi Eksplorasi.* Bandung : Departemen Teknik Geofisika IT
- Seyhan. 1990. *Dasar-dasar Hidrologi.* UGM Press : Yogyakarta.
- Simoen, S. 2001. *Sistem Akuifer Di Lereng Gunung Api Merapi Bagian Timur Dan Tenggara : Studi Kasus Di Kompleks Mata Air Sungsang Boyolali Jawa Tengah.* Majalah Geografi Indonesia **15** (1) : 141-152
- Soemarto, C., D. 1995. *Hidrologi Teknik Edisi Kedua.* Surabaya : Usaha Nasional.
- Sriyono, Q., N., dan Setyowati, D., L. (Tanpa Tahun). *Model Spasial Ketersediaan Air Tanah Dan Intrusi Air Laut Untuk Penentuan Zona Konservasi Air Tanah.* Semarang : Universitas Negeri Semarang

- Supeno, Nugroho, T., dan Utama, W. 2009. *Survei Potensi Sumber Daya Mineral Di Kecamatan Silo Kabupaten Jember Dengan Menggunakan Metode Potensial Diri*. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya 5 (1). Januari
- Susilawati, 2004. *Seismik Refraksi (Dasar Teori dan Akuisisi Data)*. Digital Library Universitas Sumatera Utara.
- Sustriamah. 2007. *Menentukan Kedalaman Bedrock Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Skripsi. Jember : FMIPA Jurusan Fisika Universitas Jember
- Sutedjo, K. 1994. *Teknologi Pengairan Pertanian (Irigasi)*. Jakarta : Bumi Aksara.
- Telford, W., M. dan Gerdart L., P. 1976. *Applied Geophysics*. London : Cambridge University Press.
- Todd, D., K. 1980. *Groundwater Hydrology*. New York : John Wiley & Sons. Inc.
- Wanggono, G., P. 2007. *Studi Massive Sulfida Di Daerah Baban Kecamatan Silo Dengan Metode Self Potensial*. Skripsi. Jember : FMIPA Jurusan Fisika Universitas Jember
- Wilson, E., M. 1993. *Hidrologi Teknik Edisi Kedua*. Bandung : ITB
- Wuryantoro. 2007. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Letak Dan Kedalaman Akuifer Air Tanah (Studi Kasus Di Desa Temperak Kecamatan Serang Jawa Tengah)*. Semarang : Universitas Negeri Semarang