



**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK BATUAN PENINGGALAN MASA
MAJAPAHIT DITINJAU DARI SIFAT FISIK BATUANNYA**

SKRIPSI

Oleh:

**Rosaria Dwi Sukmadewi
NIM 111810201043**

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



**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK BATUAN PENINGGALAN MASA
MAJAPAHIT DITINJAU DARI SIFAT FISIK BATUANNYA**

SKRIPSI

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

Oleh

Rosaria Dwi Sukmadewi

NIM 111810201043

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

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang serta shalawat senantiasa terhaturkan kepada Nabi Muhammad SAW dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur mengucapkan Alhamdulillah, Tugas Akhir/ Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. kedua orang tua tercinta Miswanto dan Nina Tri Setyaning Rahayu, terima kasih atas doa, cinta, kasih sayang, perhatian dan pengorbanan yang telah diberikan, semoga Allah SWT melimpahkan kasih sayang-Nya;
2. kakak tercinta Nurillia Alifie Qolbydica dan Alm. Nurka Akbar yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam menyelesaikan Skripsi ini;
3. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

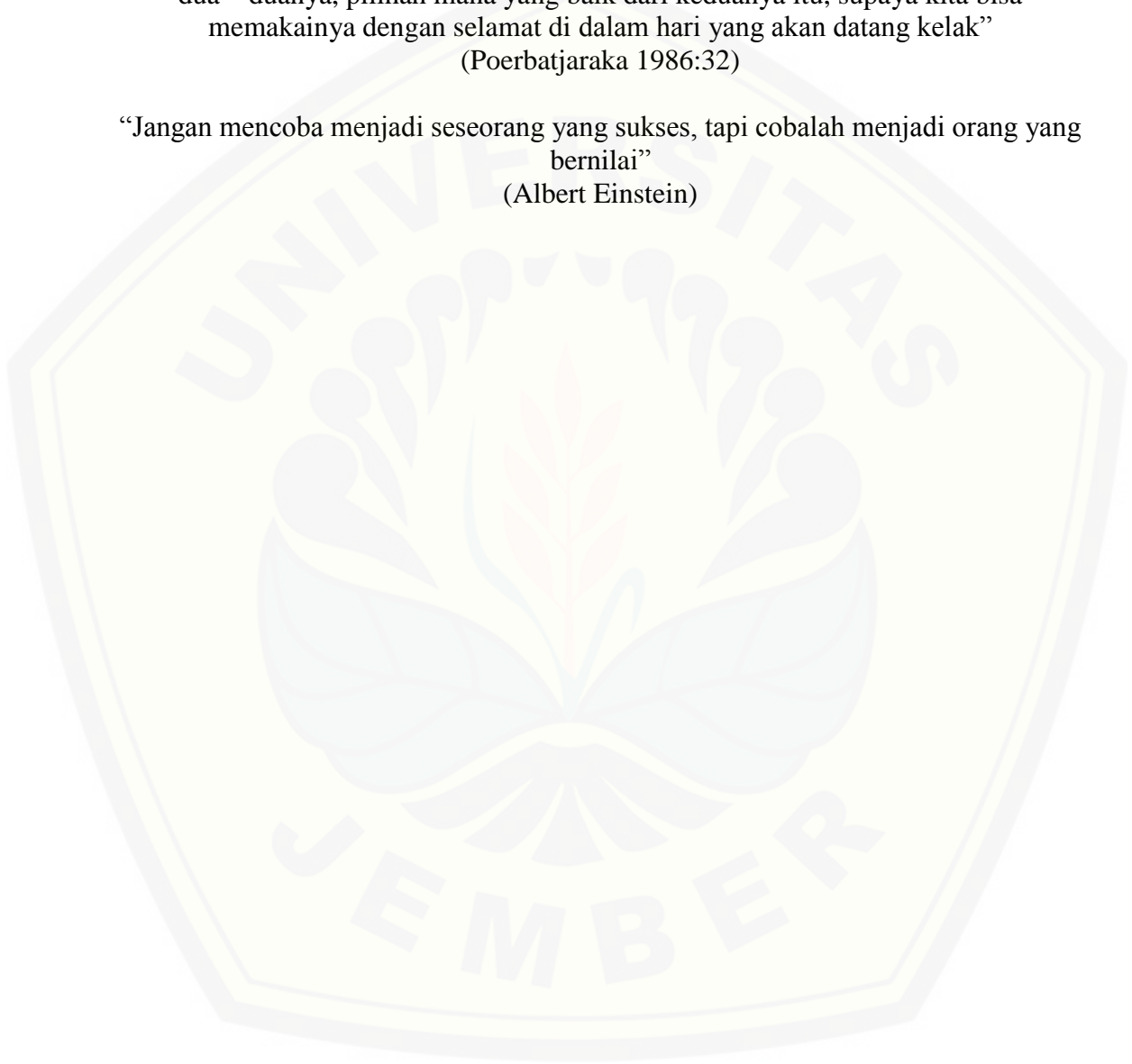
MOTTO

“ Janganlah mabuk kebudayaan kuno, tetapi jangan mabuk kebaratan juga; ketahui dua – duanya, pilihah mana yang baik dari keduanya itu, supaya kita bisa memakainya dengan selamat di dalam hari yang akan datang kelak”

(Poerbatjaraka 1986:32)

“Jangan mencoba menjadi seseorang yang sukses, tapi cobalah menjadi orang yang bernilai”

(Albert Einstein)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Rosaria Dwi Sukmadewi

NIM : 111810201043

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “*Identifikasi Karakteristik Batuan Peninggalan Masa Majapahit Ditinjau dari Sifat Fisik Batuannya*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, April 2016

Yang menyatakan,

Rosaria Dwi Sukmadewi

111810201043

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK BATUAN PENINGGALAN MASA
MAJAPAHIT DITINJAU DARI SIFAT FISIK BATUANNYA**

Oleh

Rosaria Dwi Sukmadewi

111810201043

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Supriyadi, S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Nurul Priyantari, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ Identifikasi Karakteristik Batuan Peninggalan Masa Majapahit Ditinjau Dari Sifat Fisik Batuannya” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Supriyadi, S.Si., M.Si
NIP. 198204242006041003

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si
NIP. 197003271997022001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Ir. Misto, M.Si
NIP. 195911211991031002

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

Mengesahkan,

Dekan Fakultas MIPA,

Drs. Sujito, Ph.D
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Identifikasi Karakteristik Batuan Masa Peninggalan Masa Majapahit Ditinjau dari Sifat Fisik Batuannya; Rosaria Dwi Sukmadewi, 111810201043; 2016: 45 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Periodisasi sejarah menurut Dr. Soekanto secara kronologis terdiri dari beberapa masa. Salah satu masa yang paling terkenal adalah masa Majapahit. Masa Majapahit merupakan masa kerajaan di Indonesia yang paling terkenal, ditunjukkan dengan beberapa peninggalan berupa situs percandian di Indonesia. Dari beberapa bangunan candi yang ditemukan, secara umum memiliki jenis batuan yang sama yaitu batu bata merah.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi karakteristik batuan penyusun bangunan peninggalan masa Majapahit ditinjau dari sifat fisik batuannya. Selain itu, membandingkan sifat fisik batu masa Majapahit dengan sifat fisik batu bata masa sekarang. Sifat fisik yang diteliti yaitu porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal. Sampel batuan diambil dari dua candi yang ada di Kabupaten Jember, Jawa Timur, yaitu candi Deres dan candi yang berada di daerah Wuluhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas, resistivitas, konduktivitas listrik dan konduktivitas termal dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan peninggalan masa Majapahit.

Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, konduktivitas termal batu bata masa Majapahit yaitu Situs Beteng dan candi didaerah Wuluhan memiliki selisih yang cukup jauh dengan batu bata sekarang. Batu bata masa Majapahit memiliki porositas sebesar

6,59% untuk Situs Beteng dan 7,80% untuk candi di daerah Wuluhan, resistivitas sebesar $15,73\Omega\text{m}$ untuk Situs Beteng dan $17,5\Omega\text{m}$ untuk candi di daerah Wuluhan, konduktivitas listrik sebesar $0,06(\Omega\text{m})^{-1}$ untuk Situs Beteng dan candi di daerah Wuluhan, serta konduktivitas termal sebesar $5,53\text{watt/mK}$ untuk Situs Beteng dan $6,09\text{watt/mK}$ untuk candi di daerah Wuluhan. Sementara itu untuk batu bata sekarang memiliki nilai porositas sebesar 16,39%, resistivitas sebesar $22,56\Omega\text{m}$, konduktivitas listrik sebesar $0,045(\Omega\text{m})^{-1}$, dan konduktivitas termal sebesar $4,16\text{watt/mK}$. Berdasarkan nilai diatas, dapat disimpulkan bahwa porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan peninggalan masa Majapahit.

PRAKATA

Segala puji milik Allah SWT pengenggam alam semesta, yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Identifikasi Karakteristik Batuan Masa Peninggalan Masa Majapahit Ditinjau dari Sifat Fisik Batuannya*”, sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan program strata satu (S1) Jurusan Fisika, Fakultas MIPA , Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si, selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
3. Supriyadi, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Nurul Priyantari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, bimbingan dalam masa kuliah dan penulisan skripsi ini;
4. Ir. Misto, M.Si, selaku Dosen Penguji I dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, bimbingan, kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Mutmainnah, S.Si., M.Si dan Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, bimbingan akademik dalam masa kuliah;
4. Bapak dan Ibu dosen – dosen FMIPA UNEJ, dan dosen – dosen fisika khususnya yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan, dan membimbing dengan penuh kesabaran;
5. Guru – guru di TK Pertiwi Sumber Jeruk, SD Nasional, SMPN 1 Kalisat serta SMAN Kalisat yang telah mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran;

6. Nur Sarafina Agustini, Dera Ratna Kumala, Amanda Nur Imbani, Nova Alviati, Tri Indah Ratnasari, Tito Febri Andhika, Dhimas Widya Risma Nugraha, Wawan Badrianto untuk dukungan dan kebersamaan dikala suka dan duka;
7. Teman – teman GP'11, terimakasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang telah diberikan;
8. Teman – teman klub Geofisika, FORMASI JATIM, kelompok PoB'S, kelompok MOTESI, alumni XII IPA 1 SMAN Kalisat terimakasih atas saran, kerjasama, bantuan, serta dukungan yang telah diberikan;

Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunannya, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak khususnya bidang Geofisika.

Jember, April 2016

Penulis

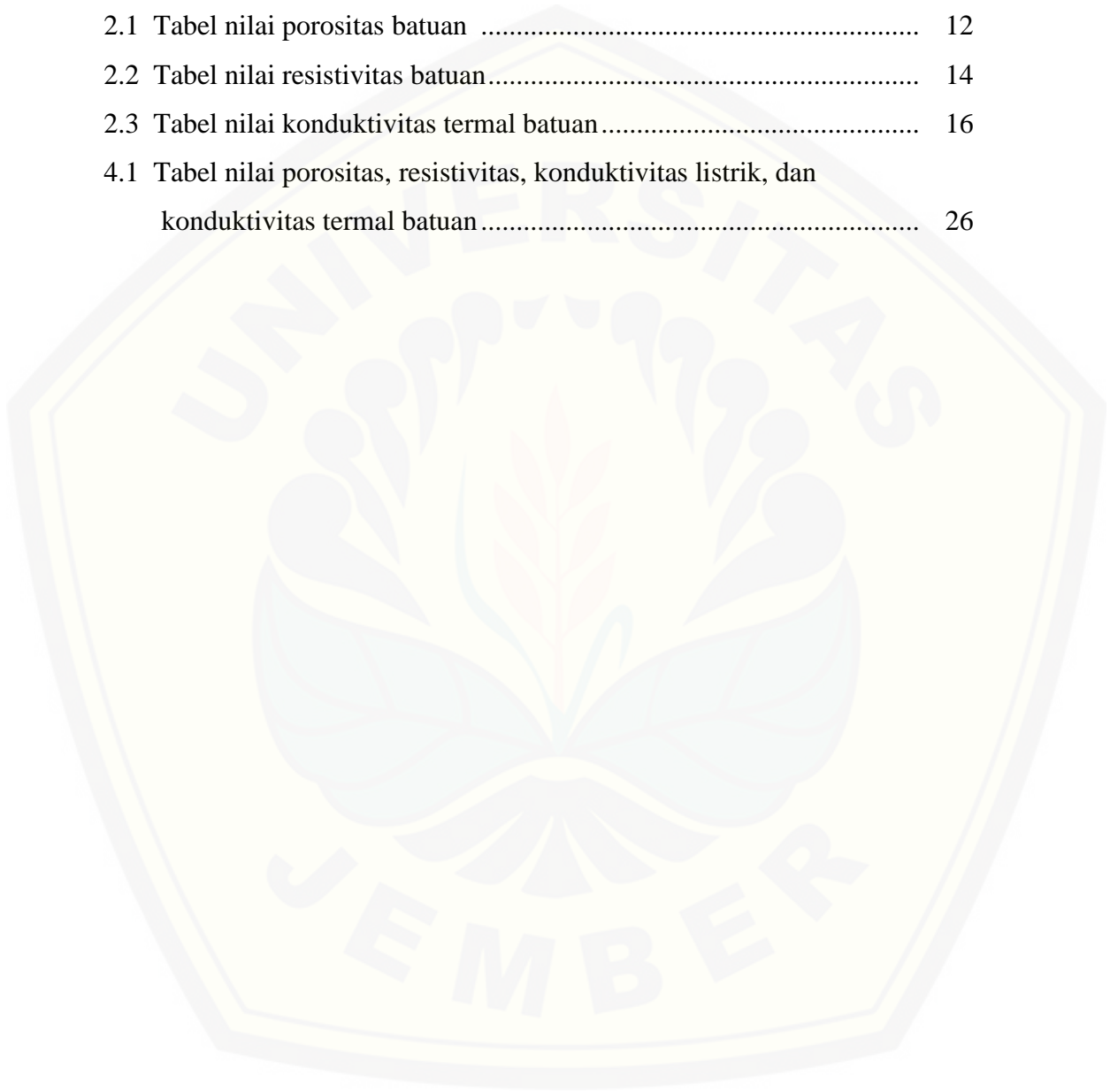
DAFTAR ISI

	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	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Periodisasi Sejarah	7
2.2 Masa Kejayaan Majapahit	8
2.3 Kota Jember	9
2.4 Batu Bata	10
2.5 Porositas Batuan	11
2.6 Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan	13

2.7 Konduktivitas Termal Batuan	15
BAB 3. METODE PENELITIAN	17
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian	18
3.3 Diagram Alir Penelitian	19
3.3.1 Pengukuran Porositas Batuan.....	20
3.3.2 Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan	21
3.3.3 Pengukuran Konduktivitas Termal Batuan	22
3.4 Metode Analisis	23
3.4.1 Pengukuran Porositas Batuan	23
3.4.2 Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan	24
3.4.3 Pengukuran Konduktivitas Termal Batuan.....	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Porositas Batuan	26
4.2 Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan	28
4.3 Konduktivitas Termal Batuan	30
4.4 Hubungan Antar Parameter	31
BAB 5. PENUTUP	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	38

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Tabel nilai porositas batuan	12
2.2 Tabel nilai resistivitas batuan.....	14
2.3 Tabel nilai konduktivitas termal batuan.....	16
4.1 Tabel nilai porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal batuan.....	26

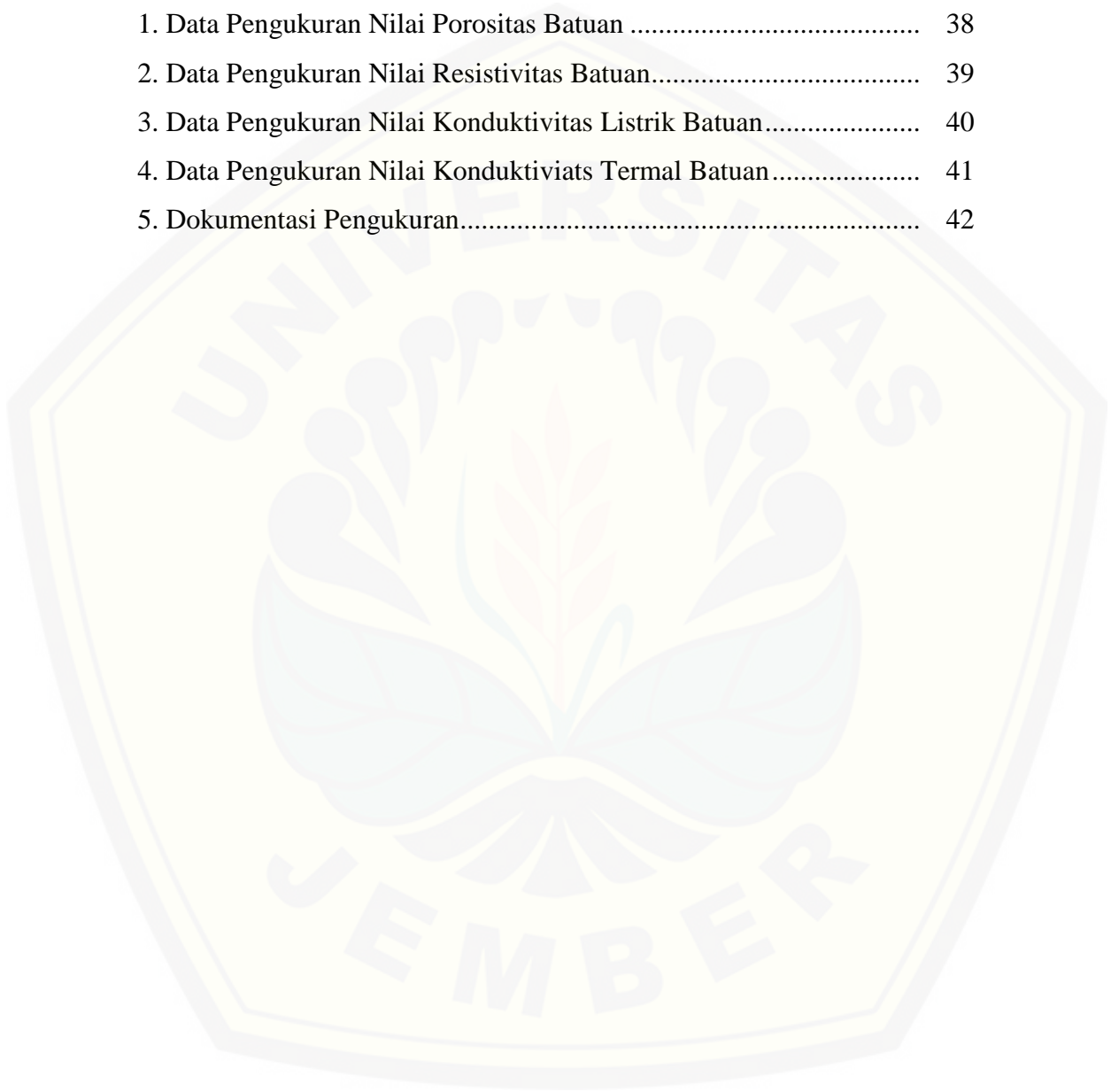


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gambar Candi Wringin Lawang	9
2.2 Gambar peta Kabupaten Jember	10
2.3 Gambar batu bata yang dipakai untuk bahan material dinding.....	11
2.4 Gambar keadaan porositas rendah dan porositas tinggi	11
3.1 Gambar lokasi pengambilan sampel di Dusun Sidomekar, Kecamatan Semboro, Jember.....	17
3.2 Gambar lokasi pengambilan sampel di Desa Tamansari, Kecamatan Wuluhan, Jember	17
3.3 Gambar diagram alir penelitian.....	19
3.4 Gambar pengujian porositas batuan	21
3.5 Gambar pengujian resistivitas dan konduktivitas listrik batuan	21
3.6 Gambar pengujian konduktivitas termal batuan	22
3.7 Gambar grafik hubungan antar parameter.....	31

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Data Pengukuran Nilai Porositas Batuan	38
2. Data Pengukuran Nilai Resistivitas Batuan.....	39
3. Data Pengukuran Nilai Konduktivitas Listrik Batuan.....	40
4. Data Pengukuran Nilai Konduktivitas Termal Batuan.....	41
5. Dokumentasi Pengukuran.....	42





BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara yang memiliki sejarah yang kental. Periodisasi sejarah Indonesia terdiri dari beberapa masa. Menurut pemikiran Prof. Dr. Sartono Kartodirdjo dalam penelitian Pradjoko, dkk (2008), sebagai dasar periodisasi adalah derajat integrasi yang tercapai di Indonesia pada masa lampau. Periodisasi tersebut adalah zaman prasejarah, zaman kuno, zaman baru, dan zaman Republik Indonesia. Pada zaman kuno, dibagi menjadi 2 masa yaitu masa Sriwijaya (dari abad VII–XIII atau XIV) dan masa Majapahit (dari abad XIV–XV). Sementara itu, menurut Dr. Soekanto periodisasi sejarah Indonesia secara kronologis yaitu masa pangkal sejarah, masa Kutai–Tarumanegara (0– 600M), masa Sriwijaya–Medang – Singosari (600M–1300M), masa Majapahit (1300M–1500M), masa Kerajaan Islam (1500M–1600M), masa Aceh–Mataram–Makassar (1600M–1700M), masa pemerintahan asing (1700M–1945) dan masa Republik Indonesia (1945–sekarang) (Arifa, dkk, 2013).

Satyana (2007) mengemukakan bahwa masa Majapahit adalah kerajaan dalam sejarah Indonesia yang paling terkenal. Dibawah pemerintahan Majapatih Gajah Mada dan Raja Hayam Wuruk, kerajaan ini menguasai wilayah seluas hampir seluruh wilayah Indonesia. Anwar (2009) menjelaskan bahwa Majapahit mampu menguasai kerajaan-kerajaan lainnya yang ada di Semenanjung Malaya, Borneo, Sumatra, Bali, dan Filipina. Masa Majapahit adalah kerajaan Hindu terakhir di Semenanjung Malaya dan dianggap sebagai salah satu dari negara terbesar dalam sejarah Indonesia. Kekuasaan kerajaan Majapahit terbentang dari Sumatra, Semenanjung Malaya, Borneo dan Indonesia Timur.

Sesudah mencapai puncaknya pada abad ke-14, kekuasaan Kerajaan Majapahit berangsur-angsur melemah dan akhirnya runtuh (Soeroso dalam penelitian Anwar, 2009). Namun, Kerajaan Majapahit tetap dikenal sebagai kerajaan besar yang membawa perubahan, apalagi setelah ditemukannya situs per candian di beberapa daerah seperti Mojokerto, Madiun, Probolinggo, Jember, dan lain sebagainya. Belakangan ini penggalian arkeologi telah menemukan beberapa peninggalan aktivitas industri, perdagangan, dan keagamaan, serta kawasan permukiman serta sistem pasokan air bersih. Para peneliti Balai Arkeologi Yogyakarta menemukan struktur bangunan hidrolik kuno bercorak Majapahit pada tanggal 15–20 Desember 2014 di Situs Ngurawan, Dusun Ngrawan, Desa Dolopo, Kecamatan Dolopo, Madiun, Jawa Timur, dalam ekskavasi selama enam hari. Batu bata penyusun struktur bangunan hidrolik itu mirip dengan batu bata peninggalan masa Majapahit yang berdimensi 42 cm x 20 cm x 7 cm (ABK, 2015). Menurut Julan (2015) pada tanggal 25 Maret 2015, benda bersejarah peninggalan masa Majapahit ditemukan warga sekitar Dusun Pesantren, Kecamatan Puri, Kabupaten Mojokerto. Sisa-sisa bangunan berupa tembok bata berukuran sekitar 40 cm x 20 cm x 7cm dan sejumlah uang logam kuno ditemukan warga di area persawahan. Pada tanggal 12 Mei 2015, Ishommudin (2015) menemukan kembali bangunan kuno masa Majapahit. Pengrajin batu bata di Dusun Nglingsuk, Desa Trowulan, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur, menemukan struktur dinding batu bata kuno. Diduga dinding batu bata ini bagian dari bangunan kanal atau saluran air pada masa Majapahit abad ke-13 sampai 15 Masehi.

Pada masa Majapahit, wilayah selatan Jember seperti Puger, Kencong serta Gumuk Mas menjadi rute perjalanan Raja Hayam Wuruk. Peninggalan yang terdapat di daerah Jember yaitu candi. Candi-candi yang ada di wilayah Jember yaitu di daerah Gumuk Mas dan Wuluhan. Pada daerah Gumuk Mas, terdapat Candi Deres yaitu terletak di atas gumuk dan berada di tengah-tengah area persawahan penduduk. Batuan penyusun candi tersebut adalah batu bata merah. Kondisi fisik bangunan candi tersebut sudah mulai hancur sedikit demi sedikit dan dipisahkan oleh sebuah

pohon besar menjadi dua bagian (Ias, Tanpa tahun). Benda bersejarah peninggalan masa Majapahit lainnya ditemukan warga sekitar Dusun Gondosari, Desa Tamansari, Kecamatan Wuluhan pada tanggal 4 November 2008 lalu. Pada daerah tersebut, kondisi batu bata merah tampak terbelah dengan ukuran yang cukup besar. Pengamat sejarah dari Fakultas Sastra Universitas Jember yaitu Budiono menduga kuat dari ciri-ciri yang ada seperti batu merah ukuran besar itu memang merupakan situs bekas peninggalan masa Majapahit. Sebelumnya, di lokasi yang bersebelahan dengan temuan itu, juga ditemukan bangunan mirip candi dari batu bata merah ukuran besar (Juliatmoko, 2008). Selain candi, terdapat beberapa peninggalan masa Majapahit seperti artefak dan benda pusaka lainnya. Pada tahun 2013 lalu, ditemukan kembali Situs Benteng di Kecamatan Semboro, Jember. Situs Benteng menyimpan beberapa peninggalan – peninggalan yang ditemukan sejak tahun 1956–1995 seperti artefak, sisa – sisa bangunan masa Majapahit, maupun benda pusaka lainnya di daerah Semboro, Jember (Anonim, 2013).

Peninggalan–peninggalan yang sudah ditemukan seperti pada penjelasan sebelumnya, secara umum memiliki jenis batuan yang sama. Dari beberapa candi peninggalan masa Majapahit, diketahui jenis batuan tidak jauh berbeda antara satu dengan yang lainnya. Begitu pula pada bangunan – bangunan peninggalan masa Majapahit, dimana memiliki batuan yang sejenis yaitu batu bata merah.

Ditinjau dari segi fisika, setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri. Parameter–parameter fisika yang bisa diukur dari batuan antara lain resistivitas, konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan porositas. Dari semua sifat fisika batuan dan mineral, resistivitas memperlihatkan variasi harga yang sangat banyak. Komposisi yang bermacam-macam akan menghasilkan rentang resistivitas yang bervariasi pula. Batuan juga mempunyai kemampuan untuk menghantarkan arus listrik yaitu disebut konduktivitas listrik. Selain itu, konduktivitas termal merupakan karakteristik dari suatu material yang menentukan kemampuan suatu benda menghantarkan panas. Parameter lain berupa porositas merupakan jumlah atau

persentase pori (rongga) dalam total volume batuan ataupun sedimen (Wuryantoro, 2007).

Definisi batu bata pada penelitian Kamali (2014) adalah suatu unsur bangunan untuk pembuatan konstruksi bangunan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, serta tidak dapat hancur lagi jika direndam di dalam air. Sifat fisis batu bata memiliki densitas sebesar $1,60 \text{ g/cm}^3 - 2,00 \text{ g/cm}^3$, kuat tekan sebesar $10,40 \text{ MPa}$, penyerapan (absorbtion) atau porositas sebesar 13% dan 17%. Menurut Hunt dalam Kamali (1984), harga resistivitas dari batu bata (tanah lanauan pasiran) sebesar $15 - 150 \Omega m$. Konduktivitas dari batu bata sebesar $0,067(\Omega m)^{-1} - 0,0067(\Omega m)^{-1}$.

Di daerah Jember, candi atau bangunan-bangunan pada masa Majapahit diduga masih banyak yang terpendam di dalam tanah. Penelitian yang telah dilakukan selama ini terkait peninggalan benda-benda bersejarah lebih banyak menggunakan pencitraan bawah permukaan dengan interpretasi data secara umum seperti pada penelitian Arika (2007). Objek yang diteliti tersebut yaitu struktur bawah permukaan candi Deres. Metode yang digunakan adalah metode geolistrik resistivitas 2D konfigurasi Wenner dengan metode *mapping* (horisontal). Data yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan nilai resistivitas batu bata identik dengan nilai resistivitas batu bata yang mengacu pada tabel batuan Hunt (1984) yaitu $15 \Omega m - 150 \Omega m$. Namun, hasil yang didapatkan dari metode ini kurang detail. Rentang nilai resistivitas yang didapatkan terlalu lebar. Selain itu, alat yang digunakan juga membutuhkan biaya yang besar serta area penelitian yang luas dalam pengujiannya. Penelitian lain mengenai pendugaan bangunan zaman sejarah di bawah permukaan yaitu penelitian Rusli, dkk (Tanpa Tahun). Objek yang diteliti yaitu candi Jabung, Probolinggo. Metode yang digunakan yaitu metode magnetik. Tidak jauh berbeda dengan penelitian Arika, hasil yang didapatkan pada penelitian ini kurang detail serta membutuhkan biaya besar dan area yang luas dalam pengujiannya. Oleh karena itu, dari kedua penelitian di atas diperlukan penelitian yang lebih detail untuk bisa mengkarakterisasi batuan tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis berkeinginan untuk meneliti karakteristik dari batuan penyusun candi peninggalan masa Majapahit di wilayah Jember ditinjau dari beberapa parameter fisika dari batuan antara lain resistivitas dan konduktivitas listrik, konduktivitas termal serta porositas dengan harapan bisa menjadi penelitian awal untuk membantu menginterpretasikan hasil penelitian lapang yang dilakukan. Dari penelitian yang lebih spesifik tersebut, diharapkan dapat memudahkan penelitian di lapangan untuk mengkorelasi parameter-parameter tersebut dengan jenis batuan yang ditemukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu bagaimana karakteristik batuan peninggalan masa kejayaan Majapahit ditinjau dari parameter fisika batuan antara lain resistivitas dan konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan porositas?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah penelitian hanya dilakukan pada tiga tempat peninggalan masa kejayaan Majapahit yaitu Candi yang berada di Desa Tamansari Kecamatan Wuluhan, Jember, Situs Beteng yang berada di Dusun Sidomekar, Kecamatan Semboro, Jember, dan batu bata sekarang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui karakteristik batuan peninggalan masa kejayaan majapahit ditinjau dari sifat batumannya antara lain resistivitas dan konduktivitas listrik, konduktivitas termal, dan porositas.

1.5 Manfaat

Penelitian ini merupakan suatu penelitian lapangan, dengan harapan dapat mengkarakterisasi batuan penyusun Situs Beteng dan Candi yang ada di daerah

Wuluhan ditinjau dari nilai porositas, resistivitas, konduktifitas listrik, dan konduktifitas termal. Selain itu dapat digunakan sebagai acuan awal bagi para peneliti di lapangan mengenai candi–candi masa Majapahit.



BAB 2. DASAR TEORI

2.1 Periodisasi Sejarah

Menurut Pradjoko, dkk (2008), kata “sejarah” yang biasa dikenal dalam bahasa Indonesia berasal dari bahasa Arab yaitu, syajaratun yang berarti pohon, syajarah an-nasab berarti pohon silsilah. Dalam bahasa Indonesia juga terdapat beberapa kata yang merupakan kata serapan dari bahasa lain yang digunakan untuk mengkaji masa lampau seperti: “silsilah” yang menunjuk pada asal usul keluarga atau nenek moyang; “hikayat” yang digunakan untuk mengisahkan seseorang; ”babad” dan “carita” atau “cerita” yang digunakan mengisahkan kejadian-kejadian tertentu. Pada hakekatnya masalah pembabakan atau periodisasi sejarah menentukan batas awal dan batas akhir, dan menjelaskan alasan-alasan rasional, yang berkaitan erat konsep pemenggalan waktu tersebut, termasuk konsep ruang (spatial) dan waktu (temporal). Pada buku “Sejarah Nasional Indonesia” Sartono Kartodirdjo menjelaskan susunan pembabakannya adalah sebagai berikut:

1. Jilid I Jaman Prasejarah di Indonesia,
2. Jilid II Jaman Kuno (awal M – 1500 M) yang terdiri dari 2 masa yaitu masa kerajaan tertua, yaitu masa Sriwijaya (dari abad VII-XIII atau XIV), dan masa Majapahit (dari abad XIV – XV)
3. Jilid III Jaman Baru,
4. Jilid IV Jaman Republik Indonesia.

Sedangkan menurut Dr. Soekanto pada Arifa, dkk (2013) periodisasi sejarah Indonesia secara kronologis yaitu

1. masa pangkal sejarah,
2. masa Kutai – Tarumanegara (0–600M),
3. masa Sriwijaya – Medang – Singosari (600M–1300),
4. masa Majapahit (1300–1500),
5. masa Kerajaan Islam (1500–1600),
6. masa Aceh – Mataram – Makassar (1600–1700),
7. masa pemerintahan asing (1700–1945), masa Republik Indonesia (1945–sekarang).

2.2 Masa Kerajaan Majapahit

Majapahit merupakan sebuah kerajaan kuno di Indonesia yang berdiri pada tahun 1293 hingga 1500 M. Kerajaan Majapahit mencapai puncak kejayaannya pada masa kekuasaan Hayam Wuruk, yang berkuasa dari tahun 1350 hingga tahun 1389. Majapahit dianggap sebagai salah satu dari negara terbesar dalam sejarah Indonesia yang mampu menguasai kerajaan-kerajaan lainnya yang ada di semenanjung Malaya, Borneo, Sumatra, Bali, dan Filipina. Kerajaan Majapahit memiliki pengaruh yang nyata dan berkelanjutan dalam bidang arsitektur di Indonesia. Kebesaran kerajaan Majapahit dan berbagai intrik politik yang terjadi pada masa itu menjadi sumber inspirasi bagi para seniman masa selanjutnya untuk menuangkan kreasinya, terutama di Indonesia (Anwar, 2009).

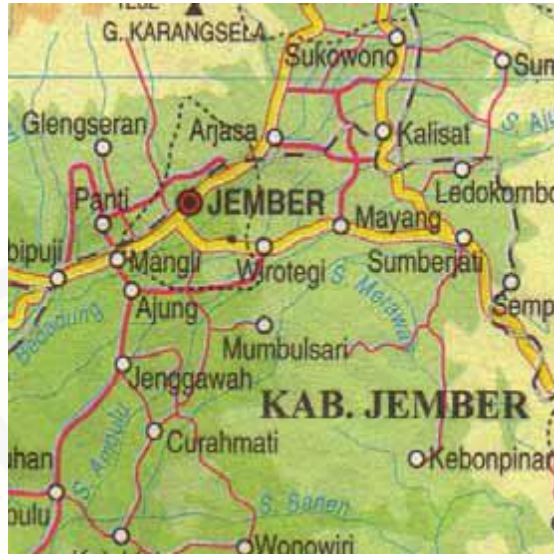


Gambar 2.1 Candi Wringin Lawang (Sumber: Anwar, 2013)

Sesudah mencapai puncaknya pada abad ke-14, kekuasaan Kerajaan Majapahit berangsur-angsur melemah dan akhirnya runtuh, namun tidak menghilangkan kebesarannya setelah ditemukannya situs percandian di daerah Trowulan, Mojokerto yang menurut para ahli Arkeologi merupakan pusat pemerintahan dari kerajaan Majapahit.

2.3 Profil Kota Jember

Kabupaten Jember merupakan salah satu kabupaten di Propinsi Jawa Timur yang terletak di wilayah timur Pulau Jawa. Daerah Tingkat II Kabupaten Jember berbatasan dengan Kabupaten Lumajang di sebelah barat, Kabupaten Probolinggo dan Bondowoso di sebelah utara, serta Kabupaten Banyuwangi di sebelah timur, dan Laut Pasifik di sebelah selatan. Secara astronomis Kabupaten Jember terletak pada posisi 6027'29" s/d 7014'35" Bujur Timur dan 7059'6"s/d 8033'56" Lintang Selatan (UKWS, Tanpa Tahun).



Gambar 2.2 Peta Kabupaten Jember (UKWS, Tanpa Tahun)

2.4 Batu Bata

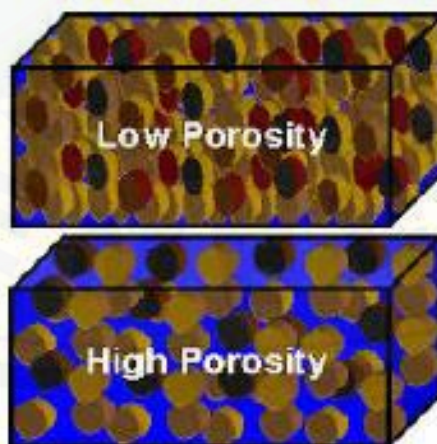
Batu Bata adalah suatu unsur bangunan yang dipergunakan dalam pembuatan konstruksi bangunan dan dibuat dari tanah liat ditambah air dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain melalui beberapa tahap pengerjaan, seperti manggali, mengolah, mencetak, mengeringkan, membakar pada temperatur tinggi hingga matang dan berubah warna, serta akan mengeras seperti batu jika didinginkan hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Tanah liat merupakan bahan dasar dalam pembuatan batu bata yang memiliki sifat plastis dan susut kering. Sifat plastis pada tanah liat sangat penting untuk mempermudah dalam proses awal pembuatan batu bata. Apabila tanah liat yang dipakai terlalu plastis, maka akan mengakibatkan Batu bata yang dibentuk mempunyai sifat kekuatan kering yang tinggi sehingga akan mempengaruhi kekuatan, penyusutan, dan mempengaruhi hasil pembakaran Batu bata yang sudah jadi (Kamali, 2014).



Gambar 2.3 Batu Bata yang Dipakai Untuk Bahan Material Dinding (Kamali, 2014)

2.5 Porositas Batuan

Menurut Dwiharto (2014), porositas adalah jumlah atau persentase pori atau rongga dalam total volume batuan atau sedimen. Porositas dapat dibagi menjadi dua yaitu porositas primer dan porositas sekunder. Porositas primer adalah porositas yang ada sewaktu bahan tersebut terbentuk sedangkan porositas sekunder dihasilkan oleh retakan-retakan dan alur yang terurai.



Gambar 2.4 Keadaan Porositas Rendah dan Porositas Tinggi (Dwiharto, 2014)

Tabel 2.1 Nilai Porositas Batuan

Rock Type	Porosity (%)
<i>Granite</i>	1
<i>Basalt</i>	2
<i>Greywacke</i>	3
<i>Standstone-Carboniferous</i>	12
<i>Standstone-Triassic</i>	25
<i>Limestone-Carboniferous</i>	3
<i>Limestone-Jurassic</i>	15
<i>Chalk</i>	30
<i>Mudstone-Carboniferous</i>	10
<i>Shale-Carboniferous</i>	15
<i>Clay-Cretaceous</i>	30
<i>Coal</i>	10
<i>Gypsum</i>	5
<i>Salt</i>	5
<i>Hornfeis</i>	1
<i>Marbie</i>	1
<i>Gneiss</i>	1
<i>Schist</i>	3
<i>Shale</i>	1

Sumber: Waltham (1995).

Perbandingan antara volume total ruang pori dan volume total batuan disebut porositas total atau absolut. Perbandingan antara ruang pori yang saling berhubungan dan volume total batuan disebut porositas efektif. Porositas menurut Levorsen dalam Nurwidyanto (2005), dirumuskan dengan:

$$\phi = \frac{\text{volume pori-pori}}{\text{volume keseluruhan batuan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Volume pori – pori bisa disebut juga dengan kerapatan isi, yaitu persatuan volume batuan kering. Kerapatan isi dapat pula digunakan untuk menentukan ruang pori – pori total . Untuk menentukan ruang pori – pori, batuan dijenuhkan lalu ditimbang yang kemudian disebut volume keseluruhan batuan. Perbedaan berat antara batuan jenuh air yang sama dengan volume ruang pori – pori dalam tanah disebut ruang pori – pori total (Hakim, 1986).

2.6 Konduktivitas dan Resistivitas Batuan

Menurut Schoen (1998), konduktivitas adalah suatu sifat atau karakterisasi aliran listrik dari bahan suatu batuan. Pada bagian batuan, atom-atom terikat secara ionik atau kovalen. Karena adanya ikatan ini maka batuan mempunyai sifat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik ini ada yang bersifat ionik berarti arus mengalir melalui penghantar ionik atau larutan elektrolit, untuk konduksi listrik pada mineral dan batuan, konduksi elektrolit dibagi menjadi :

- a. Elektrolit padat (kristal ion) : Kebanyakan penyusun pada batuan dan mineral seperti elektrolit padat. Transfer arus listrik pada elektrolit padat terjadi akibat adanya perpindahan ion – ion yang melewati kristal tersebut.
- b. Elektrolit *water solutions* : Di dalam batuan, terdapat air sebagai penyangga yang juga dapat menghantarkan listrik, namun pada konduktivitas batuan dominan pada pori – pori airnya terdapat konduktivitas elektrolit.

Menurut Wuryantoro (2007), setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri tak terkecuali dalam hal sifat kelistrikannya. Salah satu sifat batuan tersebut adalah resistivitas yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan harga resistivitasnya, batuan digolongkan dalam 3 kategori yaitu konduktor baik ($10^{-6} < \rho < 1$)(Ωm)⁻¹, konduktor sedang ($1 < \rho < 10^7$)(Ωm)⁻¹, isolator ($\rho > 10^7$ (Ωm)⁻¹).

Dalam hukum Ohm, resistivitas dirumuskan dengan:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

sehingga didapatkan nilai resistansi (ρ):

$$\rho = \frac{V A}{I L} \quad (2.3)$$

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.4)$$

namun banyak orang lebih sering menggunakan sifat konduktivitas (σ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan Ωm .

$$\sigma = 1/\rho = \frac{IL}{VA} = \left(\frac{I}{A}\right) \left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E} \quad (2.5)$$

dengan J adalah rapat arus (A/m^2) dan E adalah medan listrik (V/m) (Rob dan Perry dalam Wuryantoro, 2007).

Tabel 2.2 Nilai Resistivitas Macam – Macam Material

Bahan	Resistivitas (Ωm)
Udara	~
Tanah	1-10
Lempung Halus	30
Lempung Basah	20
Batu Gamping	500-10.000
Batu Pasir	200-8.000
Batu Tulis	20-2.000
Pasir	1-1.000
Lempung	1-100
Air	3-100
Air Tanah	0.5-300

Sumber : Telford *et al.*, (1990).

2.7 Konduktivitas Termal Batuan

Konduktivitas termal merupakan karakteristik dari suatu material yang menentukan kemampuan suatu benda menghantarkan panas. Konsep dasar dari konduktivitas panas adalah kecepatan dari proses difusi energi kinetik molekuler pada suatu material yang menghantarkan panas. Untuk plat tunggal perumusan konduktivitas termalnya adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{W}{t} \frac{d}{A\Delta T} \quad (2.6)$$

Dengan Keterangan :

k = konduktivitas termal (watt/mK)

W = usaha (Nm)

t = waktu (s)

d = ketebalan (m)

A = luas penampang (m^2)

ΔT = perubahan suhu (K)

Konduktivitas termal bahan yang homogen biasanya sangat bergantung pada densitas, yaitu massa bahan dibagi dengan volume total. Konduktivitas bergantung juga pada suhu. Perpindahan energi panas pada konduktivitas termal dilakukan secara konduksi. Konduksi merupakan perpindahan energi panas yang disalurkan secara langsung antar molekul tanpa adanya perpindahan dari molekul yang bersangkutan. Proses konduksi terjadi pada benda padat, cair maupun gas jika terjadi kontak secara langsung dari ketiga macam benda tersebut. Jika zat mendapat energi panas maka energi panas tersebut digunakan untuk menggetarkan partikel-partikel zat tersebut (Dwiarto, 2014).

Tabel 2.3 Nilai Konduktivitas Termal Macam – Macam Batuan

Batuan	Konduktivitas Termal (watt/mK)
<i>Granit</i>	2 – 4,5
<i>Dicrite</i>	1,5 – 4
<i>Dunite</i>	3 – 5
<i>Basalt</i>	1 – 4,5
<i>Pixphyry</i>	0,5 – 4
<i>Gneiss</i>	1,5 – 5
<i>Quartzise</i>	3 – 6,5
<i>Maxble</i>	1,5 – 4
<i>Sandstone</i>	1,5 – 6
<i>Shale, Siltstone</i>	1,5 – 4
<i>Limestone</i>	1 – 4,5
<i>Dotornite</i>	1,5 – 5,5
<i>Anthydribe</i>	3,5 – 5,5
<i>Sand</i>	0,5 – 2,5
<i>Lempung</i>	0,5 – 2,5

Sumber: Sabriansyah (1984)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2015 – Maret 2016. Tempat pengambilan sampel batuan dilakukan di 2 tempat yaitu Situs Beteng yang berada di Dusun Sidomekar, Kecamatan Semboro, Jember dan Candi yang berada di Desa Tamansari Kecamatan Wuluhan, Jember.



Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel di Dusun Sidomekar, Kecamatan Semboro, Jember



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel di Desa Tamansari, Kecamatan Wuluhan, Jember

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. 1 buah neraca digital Oshika dengan kapasitas penimbangan 2-1.000 gram, digunakan untuk menimbang massa batuan yang akan diukur
2. 1 buah gelas beker berukuran 600 ml, digunakan sebagai tempat aquades dan tempat perendaman batuan yang akan diukur
3. *Timer*, digunakan untuk menghitung waktu
4. 1 set adaptor atau *power supply* dengan spesifikasi regulator arus DC 5A, digunakan sebagai sumber tegangan
5. 1 set rangkaian regulator arus, digunakan sebagai rangkaian pengukur resistivitas dan konduktivitas listrik
6. 2 plat tembaga, digunakan sebagai penghantar arus pada batuan
7. Kabel tembaga, digunakan sebagai media mengukur beda potensial
8. Multimeter UX-838TR dengan spesifikasi tegangan 600V dan arus 10A, digunakan untuk mengukur arus dan beda potensial yang dihasilkan
9. 1 buah kompor listrik Maspion S-301 dengan spesifikasi tegangan 220V-50Hz dan daya 600watt, digunakan untuk memanaskan batuan
10. 1 buah termometer laser ST 350 dengan spesifikasi pengukuran suhu 25-400°C , digunakan sebagai pengatur suhu batuan
11. 1 set gerinda, digunakan untuk memotong dan membentuk sampel batuan.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

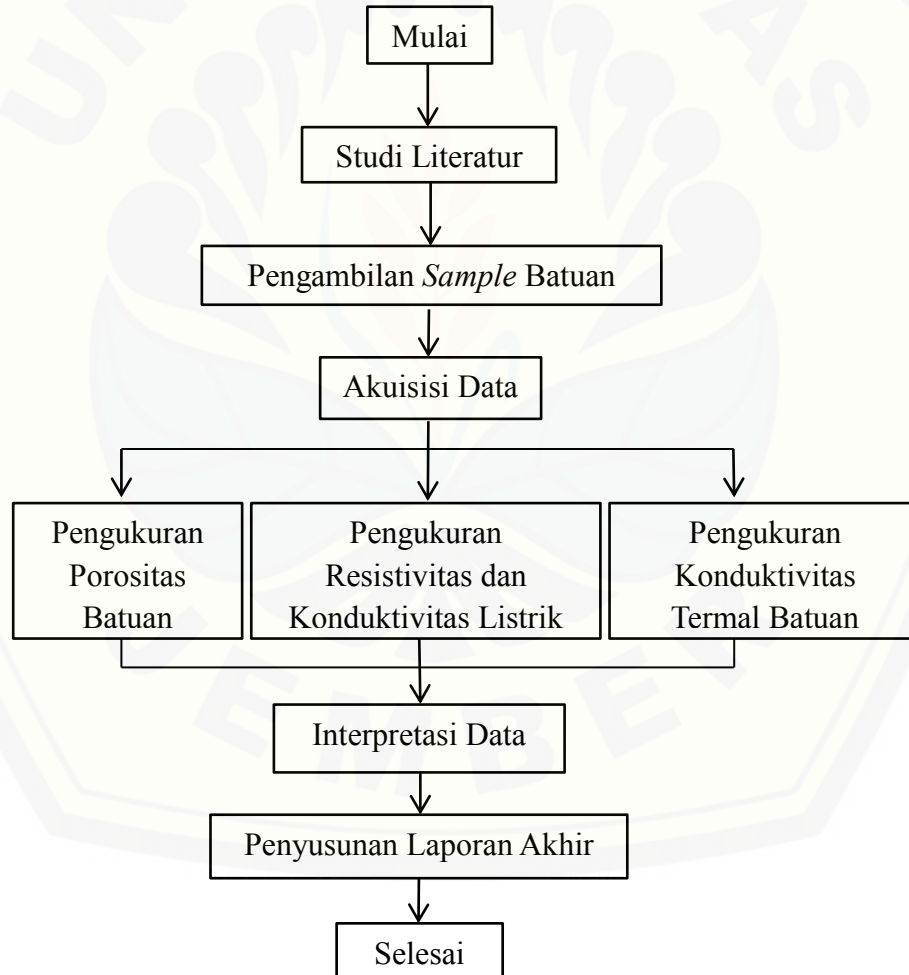
1. Sampel batu bata berukuran $3,5 \times 1,5 \times 5,5 \text{ cm}^3$, yang digunakan sebagai objek yang akan diukur. Sampel batu bata yang digunakan adalah batu bata dari 2 tempat yaitu Situs Beteng dan Candi Wuluhan, dan batu bata sekarang. Batu bata sekarang adalah batu bata yang sering digunakan oleh masyarakat sekarang

untuk konstruksi pembangunan. Batu bata sekarang digunakan sebagai pembanding dari batu bata masa kerajaan Majapahit.

2. Aquades, sebagai media untuk menjenuhkan batuan.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang dikemukakan dan tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian yang dilakukan, maka secara umum runtutan kegiatan penelitian dilakukan seperti ditunjukkan Gambar 3.3 dibawah ini.

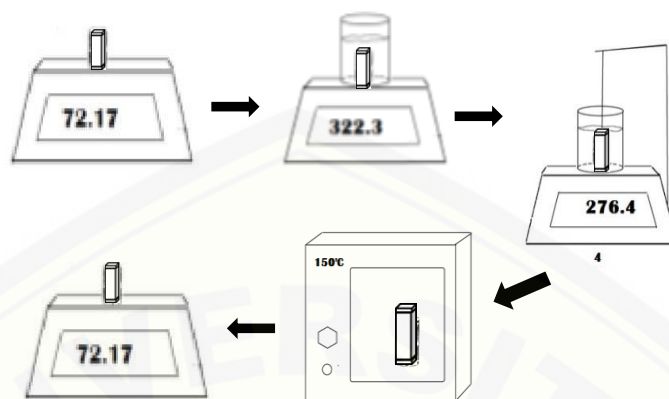


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

Pada diagram alir diatas dapat dijelaskan bahwa, pada pengambilan sampel batuan diambil di tempat seperti telah dijelaskan di sub bab 3.1 yaitu tempat dan waktu penelitian. Batuan dari masing – masing tempat diambil sebanyak 5 sampel yang kemudian akan diuji sifat batumannya. Sebelum diuji, batuan tersebut di potong dan di bentuk menggunakan gerinda agar mempermudah dalam pengambilan data pada saat pengujian.

3.3.1 Pengukuran Porositas Batuan

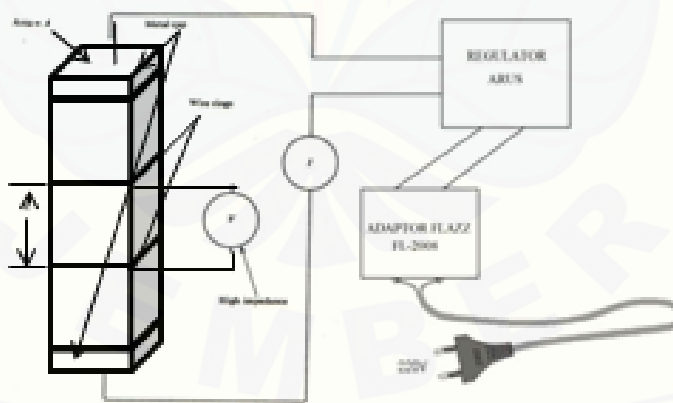
Untuk mengukur porositas batuan pada penelitian ini yaitu pertama dengan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan yaitu batuan yang akan diukur, neraca digital, statip, gelas beker, tali, penjepit, *timer* dan aquades. Kemudian batuan tersebut ditimbang massa naturalnya sebagai m_{awal} . Batuan yang sudah ditimbang massanya direndam dalam gelas beker hingga jenuh, kemudian ditimbang kembali sebagai nilai m_{jenuh} . Batuan ditimbang dengan gelas beker dan air untuk dua perlakuan, yaitu batuan ditenggelamkan dan digantung (melayang), sehingga mendapatkan nilai $m_{gelas\ beker+air+batu}$ dan $m_{gelas\ beker+air+batu\ (gantung)}$. Setelah itu, batuan dipanaskan sekitar 90 menit. Pemanasan selama 90 menit dengan setting maksimal dari kompor listrik diharapkan fluida yang ada di dalam batuan tersebut minimal. Batuan yang sudah dipanaskan ditimbang massanya sebagai nilai m_{kering} . Pengukuran diulangi sebanyak 5 kali percobaan. Percobaan diatas dilakukan kembali untuk 2 batuan dari tempat yang berbeda. Data yang telah diambil, diolah untuk mendapatkan nilai porositasnya.



Gambar 3.4 Pengujian Porositas Batuan

3.3.2 Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan

Untuk mengukur resistivitas dan konduktivitas listrik pertama yaitu menyiapkan alat dan bahan seperti batuan, adaptor/ *power supply*, rangkaian regulator arus, plat seng, Kabel tembaga, dan multimeter. Alat dirangkai seperti gambar dibawah.



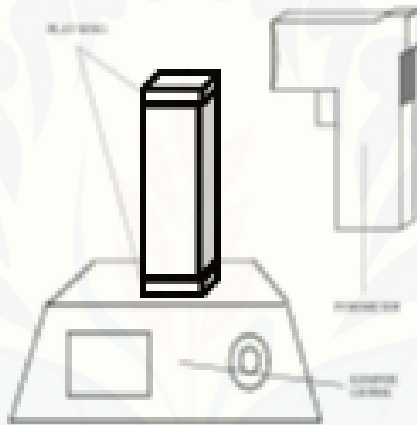
Gambar 3.5 Pengujian Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan

Arus keluaran diukur sampai mendekati konstan. Lalu kabel dililitkan dengan 2 kabel tembaga dan diatur jaraknya. Beda potensial pada kabel tembaga diukur

dengan voltmeter. Pengukuran diulangi sebanyak 5 kali percobaan. Percobaan diatas dilakukan kembali untuk 2 batuan dari tempat yang berbeda. Data yang diambil, diolah untuk mendapatkan nilai resistivitas dan konduktivitas listriknya.

3.3.3 Pengukuran Konduktivitas Termal Batuan

Untuk mengukur konduktivitas termal, alat dan bahan yang harus disiapkan yaitu batuan yang akan diukur, kompor listrik, dan *pyrometer*. Alat dirangkai sesuai skema gambar dibawah.



Gambar 3.6 Pengujian Konduktivitas Termal Batuan

Sebelum kompor listrik digunakan, dayanya dicatat terlebih dahulu. Lalu plat diletakkan dibagian bawah dan atas batu. Batu tersebut dipanaskan dengan kompor listrik selama 10 menit. Lalu batuan diukur dengan termometer laser untuk suhu atas dan bawah batu tersebut. Pengukuran diulangi sebanyak 5 kali percobaan. Percobaan diatas dilakukan kembali untuk 2 batuan dari tempat yang berbeda. Data yang telah diambil, diolah untuk mendapatkan nilai konduktivitas termalnya.

3.4 Metode Analisis

Analisis data yang dipakai pada penelitian ini yaitu:

3.4.1 Pengukuran Porositas Batuan

Pada metode yang akan dipakai pada penelitian ini, menghasilkan data berupa berat natural batuan, berat kering batuan, berat jenuh dalam air, dan berat jenuh melayang dalam air. Data yang sudah dihasilkan diolah dalam rumus berikut:

$$\Phi_{batu\ bata} = \frac{W_n - W_o}{W_w - W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana,

$$W = m \times g$$

Keterangan:

- Φ = porositas batuan (%)
- W_n = berat natural batuan (N)
- W_o = berat kering batuan (N)
- W_w = berat jenuh batuan (N)
- W_s = berat jenuh batuan dalam air (N)
- m_n = massa natural batuan (m)
- m_o = massa kering batuan (m)
- m_w = massa jenuh batuan (m)
- g = gravitasi (m/s^2)

W_n dan W_o digunakan untuk mendapatkan nilai volume pori – pori batuan, sedangkan W_w dan W_s digunakan untuk mendapatkan nilai volume keseluruhan batuan. Data yang akan diperoleh yaitu sebanyak 5 untuk setiap batuan dari masing – masing tempat. Dari 5 data tersebut diambil rata – rata untuk kemudian dihitung ralatnya menggunakan rumus ralat deviasi. Dari rumus di atas, dapat dihasilkan nilai porositas beserta ralatnya dari batu bata yang telah diukur (Schoen dalam Dwiharto, 2007).

3.4.2 Pengukuran Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Batuan

Pada pengukuran resistivitas dan konduktivitas listrik, data yang dihasilkan berupa nilai arus (I) dan tegangan (V). Dua data tersebut merupakan data tahanan listrik antara 2 titik yang dapat diketahui dengan menggunakan Hukum Ohm, yaitu :

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (3.3)$$

Konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas, sehingga untuk mendapatkan nilai konduktivitas yaitu :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- R = resistansi (Ω)
- V = beda potensial (V)
- I = arus (A)
- ρ = resistivitas listrik (Ωm)
- A = luas penampang (m^2)
- L = jarak antar elektroda (m)
- σ = konduktivitas listrik (Ωm)⁻¹

Data yang akan diperoleh yaitu sebanyak 5 untuk setiap batuan dari masing – masing tempat. Dari 5 data tersebut diambil rata – rata untuk kemudian dihitung ralatnya menggunakan rumus ralat deviasi. Dari rumus diatas, dapat dihasilkan nilai resistivitas dan konduktivitas listrik beserta ralatnya dari batu bata yang telah diukur (Suparwanto dalam Dwiharto, 2007).

3.4.3 Pengukuran Konduktivitas Termal Batuan

Pengukuran konduktivitas termal memperoleh data yaitu daya kompor listrik, suhu atas dan suhu bawah batuan, dan ketebalan batuan. Untuk plat tunggal seperti pengukuran yang akan dilakukan, data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan rumus berikut:

$$k = P \frac{d}{A\Delta T} \quad (3.5)$$

dimana,

$$P = \frac{W}{t} \quad (3.6)$$

Keterangan

k = konduktivitas termal (watt/mK)

P = daya (watt)

W = usaha (Nm)

t = waktu (s)

d = ketebalan (m)

A = luas penampang (m²)

ΔT = selisih suhu waktu sebelum dan sesudah dipanaskan (K)

Data yang akan diperoleh yaitu sebanyak 5 untuk setiap batuan dari masing – masing tempat. Dari 5 data tersebut diambil rata – rata untuk kemudian dihitung ralatnya menggunakan rumus ralat deviasi. Dari rumus diatas, dapat dihasilkan nilai konduktivitas termal beserta ralatnya dari batu bata yang telah diukur (Dwiharto, 2007).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu nilai porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, konduktivitas termal batu bata masa Majapahit memiliki selisih yang cukup jauh dengan batu bata sekarang. Batu bata masa Majapahit memiliki porositas sebesar 6,59-7,80%, resistivitas sebesar 15,73-17,5 Ω m, konduktivitas listrik sebesar 0,06(Ω m)⁻¹, dan konduktivitas termal sebesar 5,53-6,09watt/mK, sedangkan untuk batu bata sekarang memiliki nilai porositas sebesar 16,39%, resistivitas sebesar 22,56 Ω m, konduktivitas listrik sebesar 0,045(Ω m)⁻¹, dan konduktivitas termal sebesar 4,16watt/mK. Berdasarkan nilai diatas, dapat disimpulkan bahwa porositas, resistivitas, konduktivitas listrik, dan konduktivitas termal dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan peninggalan masa Majapahit.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Sampel yang digunakan untuk pengukuran lebih banyak.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan batuan dari zaman lainnya sehingga dapat dibandingkan antar zaman sejarah.
3. Parameter – parameter yang digunakan seharusnya lebih banyak, tidak hanya 4 parameter yang ada saja.

DAFTAR PUSTAKA**Buku**

- Hakim, N. Nyakpa, Y. Lubis A. Nugroho, S. Saul, R. Diha, A. Hong, G dan Bailey, H. 1986. *Dasar – Dasar Ilmu Tanah*. Lampung: Universitas Lampung.
- Hunt, Roy E. 1984. *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. Mc Graw Hill: New York.
- Loke, M. H. 1999. *Electrical Imaging Surveys For Enviromental And Engineering Studies. A Practical Guide to 2-D 3-D Survey*. Malaysia. Penang.
- Satyana, Awang Harun. 2007. *Bencana Geologi dalam “Sandhyâkâla” Jenggala dan Majapahit*. Bali: Annual Convention and Exhibition.
- Schoen, J.H.1998. *Physical Properties Of Rocks : Fundamental and Principles of Petrophysics*. Netherland: British Library catalogue.
- Waltham, Tony. 1995. *Foundations of Engineering Geology 2nd Edition*. London: Spon Press

Jurnal

- Anwar, Khoiril. 2009. *Potensi Wisata Budaya Situs Sejarah Peninggalan Kerajaan Majapahit Di Trowulan Mojokerto*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Arifa, A. Putri, D. Khendro. Risky dan Yoga. 2013. *Periodisasi Sejarah*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Arika, Fika. 2007. *Studi Eksplorasi Situs Purbakala Di candi Deres Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas 2D Di Dusun Deres Desa Deres Kecamatan Gumuk Mas Kabupaten Jember*. Jember: Universitas Jember.

- Dwiharto, Moch Fauzan. 2014. *Analisa Sifat Fisik Batuan Meliputi Porositas, Resistivitas, Konduktivitas Listrik Dan Konduktivitas Thermal*. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- Kamali, Laswi. 2014. *Pengaruh Penambahan Abu Sabut Kelapa Pada Pembuatan Batu Bata Tanpa Pembakaran Terhadap Kuat Tekan dan Porositas*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Maharani, Sharly. 2013. *Pendugaan Akuifer Bawah Permukaan Dengan Metode Geolistrik RES2DIV Konfigurasi Wenner-Schlumberger Di Lereng Gunung Lemongan Kecamatan Klakah Kabupaten Jember*. Jember: Universitas Jember.
- Nurwidyato, M. Irham. 2005. *Estimasi Hubungan Porositas Dan Permeabilitas Pada Batupasir (Study Kasus Formasi Kerek, Ledok, Selorejo)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Pradjoko, D. Kasijanto. Suharto. Tangkilisan, YB. Sudarini dan Manus. 2008. *Modul 1 Sejarah Indonesia*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Rochadi, Moch Tri dan Irianta F.X Gunarsa. 2007. *Kualitas Bata Merah Dari Pemanfaatan Tanah Bantaran Sungai Banjir Kanal Timur*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- Rusli. Sunaryo. Tanpa tahun. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Situs Arkeologi Candi Jabung Probolinggo Jawa Timur Berdasarkan Survei Magnetik*. Malang: Universitas Brawijaya.
- UKWS, Tanpa Tahun. *Kota Jember*. Jember: Cipta Karya.
- Wuryantoro, 2007. *Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Letak Dan Kedalaman Aquifer Air Tanah*. Semarang: Universitas Semarang.

Surat Kabar

- ABK. 2015. *Bangunan Hidrolik Kuno dari Masa Majapahit Ditemukan*. Madiun: Kompas.Com

- Anonim. 2013. *Napak Tilas Peninggalan Majapahit di Situs Benteng Jember*. Jakarta: Kompasiana.com.
- Ias. Tanpa Tahun. *Candi Deres Jember Saksi Kekuatan Ekonomi di Timur Jawa*. Jember: www.titik0km.com.
- Ishommudin. 2015. *Penggalian Air Kanal Majapahit Butuh Pembebasan Lahan*. Mojokerto: Tempo.Co
- Julan, Tritus. 2015. *Sisa Bangunan Majapahit Kembali Muncul*. Jakarta: Koran Sindo.
- Juliatmoko. 2008. *Situs Majapahit Ditemukan di Wuluhan*. Jember: Okezone

