

## **IDENTIFIKASI JENIS BATUAN CANDI DUKUH, CANDI NGEMPON DAN CANDI GEDONG SONGO MENGGUNAKAN SONIC VIEWER-SX 5251**

**Pertiwi dan Tony Yulianto**

*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

*Email: tiwi\_cennil@yahoo.com*

### **ABSTRACT**

*Rock identification with rock mechanics properties of rock samples to determine the type of Dukuh temple , Ngempon temple and Gedong songo temple, with the ultrasonic wave method using Sonic Viewer SX - 5251. Travel time of ultrasonic waves on the sample is used to obtain S and P wave velocity.*

*Data has processing using Excel software. Value of the S and P wave velocity, shear modulus , rock elasticity , and Poisson 's Ratio will be correlated with rock density tables, P and S wave velocity tables and rock mechanics properties table it can be seen kind of rock from each of the rock physics properties.*

*The research result shows that rock composite Ngempon temple, Dukuh temple , and Gedong Songo are Andesite. In addition to the density values which obtained, the level of rocks weathering can be defermind as well. Dukuh B rock sample with a density of  $2.66 \text{ gm/cm}^3$  can be classified in level I, it show that those rocks are strong and good. On the other samples of the Ngempon temple, gedong Songo or from another Dukuh the density values which obtained are from 2.33 to 2.49 can be classified at level II or it can be said to be strong enough .*

**Key Word :** *Ultrasonic Wave, Sonic Viewer, Ngempon Temple, Dukuh Temple, Gedong Songo Temple, Weathering, and Andesite Rocks.*

### **ABSTRAK**

*Identifikasi batuan dengan sifat mekanika batuan untuk mengetahui jenis sampel batuan candi Dukuh, candi Ngempon dan candi Gedong songo, dengan gelombang ultrasonik menggunakan Sonic Viewer- SX 5251. Waktu penjaralan gelombang ultrasonik pada sampel digunakan untuk memperoleh kecepatan gelombang S dan P.*

*Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software excel. Nilai kecepatan gelombang S dan P, modulus geser, elastisitas batuan, dan Poisson's Ratio dikorelasi terhadap tabel densitas batuan, tabel kecepatan gelombang P dan S, dan tabel sifat mekanika batuan maka dapat diketahui jenis batuan dari masing-masing sifat fisika batuan tersebut.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa batuan penyusun candi Ngempon, candi Dukuh, dan Gedong Songo merupakan batuan Andesit. Selain itu dengan nilai densitas yang diperoleh maka dapat diketahui tingkat pelapukan batuan. Sampel batuan Dukuh B dengan densitas  $2,66 \text{ gr/cm}^3$  dapat digolongkan dalam tingkat I yang berarti batuan ini kuat dan pada sampel yang lain baik dari candi Ngempon, Gedong Songo maupun dari dukuh yang lain di dapat nilai densitas 2,33-2,49 dapat digolongkan pada tingkat II atau dapat dikatakan sampel tersebut cukup kuat.*

**Kata Kunci :** *Gelombang Ultrasonik, Sonic Viewer, Candi Ngempon, Candi Dukuh, Candi Gedong Songo, Pelapukan, dan Batuan Andesit.*

### **PENDAHULUAN**

Candi merupakan salah satu warisan budaya Indonesia yang memiliki nilai seni yang tinggi. Dengan bertambahnya usia,

peninggalan sejarah ini mengalami pelapukan pada batumannya.

Pelapukan pada batuan mengubah komposisi kimia, mineralogi, dan sifat fisiknya. Pelapukan fisik melibatkan pecahan fisik-mekanika pada partikel-partikel batuan. Sedangkan pelapukan kimia melibatkan proses penguraian batuan membentuk mineral-mineral sekunder. Salah satu faktor terpenting pelapukan adalah iklim. Iklim dipengaruhi oleh dua faktor yaitu suhu dan kelembaban. Kelembaban dan suhu yang tinggi menyebabkan pelapukan yang melibatkan reaksi kimia dimana reaksi kimia ini terjadi pada cuaca panas dan lembab.

Jenis-Jenis batuan dapat diidentifikasi dengan metode-metode geofisika salah satunya adalah menentukan parameter geoteknik menggunakan alat *sonic viewer*. *Sonic viewer* merupakan sebuah alat untuk mengukur perambatan waktu tunda dari gelombang ultrasonik yang dilewatkan pada sampel batuan, mengukur kecepatan gelombang P dan S untuk menghitung nilai *poisson's ratio* dan koefisien elastik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis batuan. Batasan masalah pada penelitian ini terletak pada parameter batuan seperti densitas, kecepatan gelombang P dan S, *poisson's ratio*, modulus geser dan elastisitas batuan. Dengan sampel yang diambil pada candi Ngempon, Gedong Songo dan Dukuh. Dan pada penentuan tingkat pelapukan dibatasi dengan densitas batuan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Sonic Viewer* model 5251, OYO Corporation, Japan. *Sonic Viewer* dapat dipakai untuk mengukur kecepatan gelombang P dan S dari sampel batuan yang ada.

## DASAR TEORI

### Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultasonik merupakan gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi di atas 20 KHz. Ultrasonik mempunyai kemampuan mendeteksi objek lebih jauh terutama untuk benda-benda yang

keras. Pada benda-benda yang mempunyai permukaan keras gelombang ini akan dipantulkan lebih kuat dari pada benda-benda yang mempunyai permukaan lunak. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas, hal ini disebabkan karena gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik sehingga merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya [1].

### Karakteristik Gelombang Ultrasonik

Perambatan gelombang ultrasonik yang melalui medium mengakibatkan getaran partikel dengan medium amplitudo sejajar dengan arah rambat secara longitudinal sehingga menyebabkan partikel medium membentuk rapatan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Proses kontinu yang menyebabkan terjadinya rapatan dan regangan di dalam medium oleh getaran partikel secara periodic selama gelombang ultrasonik melaluinya [2].

### Metode Getaran Ultrasonik

Dalam metode getaran, impulse mekanik diteruskan pada benda uji dan waktu yang dibutuhkan getaran melewati panjang benda uji digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang. Dapat dilihat pada persamaan (1) dengan  $v$  adalah kecepatan (m/s),  $L$  merupakan jarak lintasan gelombang (m) dan  $t$  merupakan waktu tempuh (s) [2].

$$v = \frac{L}{t} \quad (1)$$

### Kecepatan Perambatan Gelombang

Gelombang P dan gelombang S merupakan jenis gelombang menurut arah bergetarnya partikel medium. Perambatan gelombang P dan gelombang S mempunyai kecepatan berbeda yang besarnya berhubungan dengan elastisitas batuan. Kecepatan gelombang seismik

mengikutsertakan deformasi batuan sebagai fungsi waktu [3].

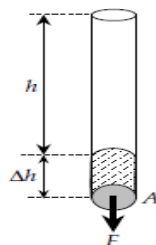
Besarnya kecepatan gelombang P ( $v_p$ ) dan kecepatan gelombang S ( $v_s$ ) dapat dilihat pada persamaan (2) dan (3). Dengan  $v_s$  adalah kecepatan perambatan gelombang sekunder (m/s),  $v_p$  adalah kecepatan perambatan gelombang primer (m/s),  $\mu$  merupakan rigiditas medium ( $N/m^2$ ).

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3)$$

### Teori Elastisitas

Ukuran dan bentuk dari benda yang padat dapat berubah apabila dikenai gaya pada luar permukaan benda tersebut. Gaya eksternal ini di tahan oleh gaya internal yang menolak perubahan ukuran dan bentuk. Hasilnya, benda akan cenderung kembali ke keadaan semula ketika gaya eksternal dihilangkan. Hal ini sama pada fluida yang menolak perubahan ukuran (volume) tetapi tidak berubah dalam bentuk. Sesuatu yang menolak perubahan ukuran dan bentuk dan kembali ke keadaan semula ketika gaya luar dihilangkan disebut elastisitas.



Gambar 1. Deformasi pada benda jika dikenai suatu gaya [5].

Teori elastisitas berhubungan dengan gaya yang digunakan untuk menghasilkan perubahan pada ukuran dan bentuk. Hubungan antara gaya yang bekerja dan deformasi dijelaskan dalam konsep tegangan dan regangan [4]. Bentuk suatu benda yang

terdeformasi karena dikenai suatu gaya dapat dilihat pada gambar (1).

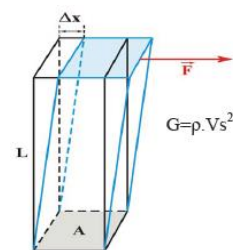
### Denstitas ( $\rho$ )

Densitas ( $\rho$ ) secara sederhana didefinisikan sebagai massa (kg) dibagi volume ( $m^3$ ), densitas merupakan salah satu parameter fisis yang berubah secara signifikan terhadap perubahan tipe batuan akibat mineral dan porositas yang dimilikinya [6].

### Rigiditas

Rigiditas didefinisikan sebagai tahanan dari *strain* yang mengakibatkan perubahan bentuk tanpa merubah volume total. *Shear modulus* diilustrasikan pada Gambar (2). *Shear modulus* atau *elastic modulus* yang digunakan untuk deformasi yang terjadi ketika gaya diterapkan paralel terhadap satu bidang objek, ketika bidang yang lainnya ditahan oleh gaya yang sama. Modulus geser sangat bermanfaat untuk membedakan kualitas batupasir karena modulus geser tidak dipengaruhi oleh fluida. Dapat dilihat pada persamaan (4) Dengan  $\mu = G$  menyatakan modulus geser ( $N/m^2$ ), dan  $v_s$  merupakan kecepatan gelombang S (m/s).

$$\mu = \rho \cdot v_s^2 \quad (4)$$



Gambar 2. Ilustrasi dari Shear Modulus [7].

### Rasio Poisson ( $\nu$ )

Rasio Poisson atau *poisson's ratio* adalah ukuran besarnya regangan pada suatu benda berupa kontraksi dalam arah transversal dan peregangan dalam arah longitudinal akibat terkena tekanan, persamaan rasio poisson dapat dilihat pada persamaan (5).

$$\sigma = \frac{1 \left( \frac{v_p}{v_s} \right)^2 - 2}{2 \left( \frac{v_p}{v_s} \right)^2 - 1} \quad (5)$$

dengan  $\sigma$  adalah *Poisson's ratio*,  $v_p$  merupakan kecepatan gelombang P (m/s) dan  $v_s$  adalah kecepatan gelombang S (m/s) [8].

**Hubungan Kecepatan Gelombang P dan S dengan Konstanta Elastisitas Batuan**

Pada dasarnya konstanta elastisitas batuan diukur berdasarkan hasil perbandingan *stress* dan *strain*. Tipe atau jenis konstanta elastisitas batuan didefinisikan berdasarkan gaya atau *stress* seperti *tension*, *kompresi*, *pressure*, *shear*. Untuk media homogen isotropis, terdapat hubungan tertentu antara berbagai konstanta elastisitas, khususnya modulus geser karena tergantung pada kesamaan sifat dasar materinya [8].

Dari hubungan *Poisson's ratio* dan persamaan kecepatan gelombang didapatkan modulus elastisitas E (modulus young) yang dapat dilihat pada persamaan (10). Dengan E adalah elastisitas (N/m<sup>2</sup>),  $\rho$  merupakan densitas batuan (kg/m<sup>3</sup>),  $v_p$  kecepatan gelombang P (m/s) dan  $v_s$  kecepatan gelombang S (m/s) [8].

$$E = \rho v_s^2 \left( \frac{3 \left( \frac{v_p}{v_s} \right)^2 - 4}{\left( \frac{v_p}{v_s} \right) - 1} \right) \quad (6)$$

**Pelapukan**

Pelapukan atau *weathering (weather)* merupakan perusakan batuan pada kulit bumi karena pengaruh cuaca (suhu, curah hujan, kelembaban, atau angin). Karena itu pelapukan adalah penghancuran batuan dari bentuk gumpalan menjadi butiran yang lebih kecil bahkan menjadi hancur atau larut dalam air Pelapukan dibagi dalam tiga macam, yaitu pelapukan mekanis, pelapukan kimiawi, dan pelapukan biologis [9].

**Uji Sifat Indeks Batuan**

Pengujian sifat indeks batuan dilakukan terhadap lima sampel dari tiap tingkat pelapukan dengan tujuan untuk mengetahui kontinuitas perubahan sifat fisik andesit akibat proses pelapukan. Rangkuman hasil pengujian sifat fisika batuan di berikan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Rangkuman sifat indeks andesit mberdasarkan Tingkat pelapukan Batuan Andesit [10].

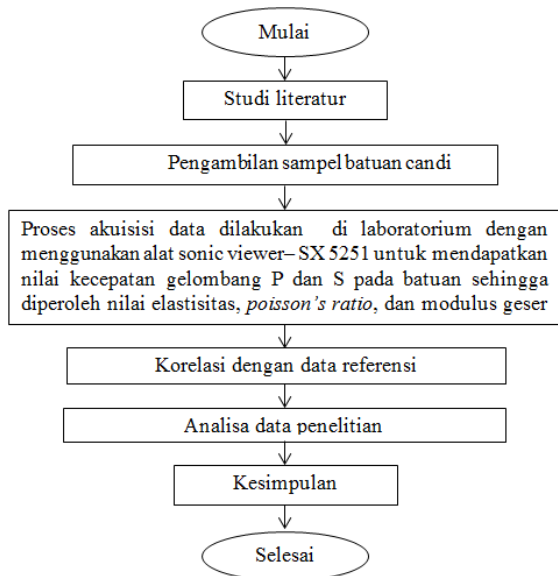
Tingkat pelapukan	Densitas (gr/cm3)	Klasifikasi kekuatan batuan
V	1,60	Lemah
IV	1,76	Cukup lemah
III	2,12	Cukup kuat
II	2,44	Cukup kuat
I	2,52	Kuat

**Batu Andesit**

Batu alam Andesit adalah suatu jenis batuan beku vulkanik dengan komposisi dan tekstur spesifik yang umumnya ditemukan pada lingkungan subduksi tektonik di wilayah perbatasan lautan seperti di pantai barat Amerika Selatan juga daerah - daerah di Indonesia dengan aktivitas vulkanik yang tinggi seperti di Majalengka, Cirebon, Tulung Agung. Batu andesit terbentuk dari pembekuan lava yang keluar ke permukaan bumi saat letusan gunung berapi [11].

**METODE PENELITIAN**

Daerah penelitian termasuk wilayah Semarang. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Diponegoro. Penelitian ini menggunakan sampel batuan yang diambil dari batuan candi Nempon, candi Dukuh, dan candi Gedung songo dimana lokasi daerah Candi. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 14-28 September 2013.



Gambar 3.2 Diagram Alir

## HASIL DAN PEMBAHASAN

elastisitas batuan, *Poisson's Ratio*, dan modulus geser.

Analisa sifat fisik batuan dilakukan dari masing-masing parameter batuan densitas, *poisson's ratio*, elastisitas dan kecepatan gelombang P dan S yaitu:

### Densitas

Dari nilai densitas yang di dapat pada sampel percobaan yaitu berkisar 2,33-2,66  $\text{g}/\text{cm}^3$ , di duga bahwa sampel batuan ini merupakan batuan beku. Menurut tabel 3 [4], dengan nilai densitas batuan yang diperoleh pada penelitian dapat diduga bahwa jenis batuan pada sampel adalah Riolit, Andesit, dan Granit. Sampel Dukuh A, Dukuh C, Gedong songo A, Gedong songo B, Ngempon A, Ngempon B, Ngempon C, Ngempon D, dan Ngempon E dan diduga merupakan jenis batuan Riolit

Tabel 4.1 Hasil Pengambilan Data

No	Lokasi	densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$v_p$ ( $\text{cm}/\text{s}$ )	$v_s$ ( $\text{cm}/\text{s}$ )	<i>Poisson's</i> <i>Ratio</i>	Shear Moduls ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )	Koofisien Elastisitas ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )
1	Dukuh A	2,49	609100	335000	0,28	2,79E+11	7,17E+11
2	Dukuh B	2,66	515400	335000	0,13	2,99E+11	6,77E+11
3	Dukuh C	2,46	615400	333300	0,29	2,47E+11	7,08E+11
4	Gedung Songo A	2,33	507700	330000	0,13	2,25E+11	5,75E+11
5	Gedung Songo B	2,46	554200	303200	0,24	1,89E+11	4,69E+11
6	Ngempon A	2,46	562500	321400	0,26	2,54E+11	6,39E+11
7	Ngempon B	2,48	511500	289100	0,26	2,08E+11	5,25E+11
8	Ngempon C	2,35	513600	313900	0,20	2,31E+11	5,56E+11
9	Ngempon D	2,45	500000	309500	0,19	2,35E+11	5,59E+11
10	Ngempon E	2,44	409100	250000	0,20	1,53E+11	3,67E+11

Hasil pengukuran kecepatan gelombang p ( $v_p$ ) dan kecepatan gelombang S ( $v_s$ ) dengan sampel yang diambil dari batuan candi Ngempon, candi dukuh dan candi Gedong songo ditampilkan pada tabel (4.1). Data-data yang di peroleh merupakan parameter-parameter sifat batuan seperti nilai kecepatan gelombang P dan S, densitas batuan,

dan Andesit, sedangkan Dukuh B dapat diduga merupakan jenis batuan Riolit, Andesit dan Granit.

### Kecepatan Gelombang P dan S

Menurut tabel 4 [12], dengan nilai kecepatan gelombang P dan S dapat di duga bahwa sampel batuan tersebut merupakan batuan

Granit, Diorit, Andesit, dan Basal. Berdasarkan hasil kecepatan gelombang P dan S sampel Dukuh A, Dukuh B Gedong Songo A, Gedong Songo B, Ngempon A di duga merupakan jenis batuan Andesit, Basal, dan Diorit. Sampel Dukuh A diduga merupakan jenis batuan Andesit dan Basal, Sampel Ngempon B diduga merupakan jenis batuan Andesit, Granit dan Basal, Sampel Ngempon C dan Ngempon D diduga merupakan jenis batuan Andesit, Granit, Diorit dan Basal, dan Sampel Nempon E merupakan jenis batuan Andesit.

#### **Poisson's Ratio**

Menurut tabel sifat mekanika material batuan [13]. Berdasarkan Tabel 5, sampel batuan ini di duga jenis batuan Gabbro, Rhyobite, Andesit, Basal dan Dolerit. Berdasarkan nilai hasil *poisson's ratio* setiap sampel maka dapat di duga bahwa sampel Dukuh A, Dukuh C, Gedong Songo B, Ngempon A, Ngempon B diduga merupakan jenis batuan Gabbro dan Riolit, sampel Dukuh B dan Gedong songo A diduga merupakan jenis batuan Dolerit dan Basal, sedangkan sampel batuan Ngempon A, Ngempon D dan Ngempon E di duga merupakan jenis batuan Andesit.

#### **Modulus Elastisitas**

Menurut tabel 5 [13] sampel batuan pada penelitian ini di duga jenis batuan Granite, Dolerite, Gabbro, Andesit, Basal, dan Riolit. Dari hasil elastisitas yang diperoleh maka dapat diketahui bahwa sampel Dukuh B, Dukuh C, Gedong Songo A, Ngempon A, Ngempon B, Ngempon C, Ngempon D dan Ngempon E dapat diduga merupakan jenis batuan Granit, Dolerit, Gabbro, Andesit, dan Basal. Sampel Dukuh A dapat diduga merupakan jenis batuan Dolerit, Gabbro, Andesit, dan Basal, Sampel Gedong songo B dapat diduga merupakan batuan Granit, Dolerit, Riolit, Gabbro, Andesit, dan Basal dan sampel batuan Ngempon E di duga

merupakan jenis batuan Granit, Dolerit, Riolit, Andesit.

Dari semua nilai parameter yang diperoleh sampel batuan tersebut memiliki nilai parameter yang dimiliki oleh sifat batuan andesit sehingga dapat di simpulkan bahwa sampel batuan Candi Ngempon, candi Dukuh, dan Candi Gedong Songo merupakan jenis batuan andesit. Meskipun jenis batuanya sama namun masing- masing sampel memiliki tingkat pelapukan batuan yang berbeda. Hal ini disebabkan sampel batuan diambil dari 3 candi yang memiliki keadaan lingkungan yang berbeda baik topografi, suhu dan kelembapan udara yang berbeda. Dimana daerah yang memiliki suhu, kelembapan udara dan topografi yang tinggi menyebabkan tingkat pelapukan semakin tinggi. Pada nilai densitas yang diperoleh maka masing-masing sampel batuan dapat diketahui tingkat pelapukannya dengan tabel 1 menurut [10] dimana nilai densitas batuan antara 2,33-2,49 grm/cm<sup>3</sup> digolongkan dalam tingkat pelapukan II atau dapat dikatakan batuan candi tersebut masih cukup kuat. Ada satu sampel batuan yaitu batuan Dukuh B memiliki nilai densitas sebesar 2,66 (gr/cm<sup>3</sup>), sehingga sampel batuan ini dapat digolongkan dalam tingkat pelapukan I yang berarti batuan candi ini kuat.

Pada sampel batuan Dukuh B memiliki Nilai paling tinggi dan merupakan batuan paling keras jika dibandingkan dengan sampel yang lain, ini dapat disebabkan karena candi Dukuh berada pada ketinggian yang tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah jika dibandingkan dengan letak candi Ngempon dan candi Gedong Songo, selain itu daerah candi dukuh memiliki suhu yang tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin. Pada sampel batuan Gedong Songo A memiliki nilai densitas paling rendah hal ini disebabkan candi

Gedong Songo terletak pada topografi yang tinggi sehingga suhu pada daerah tersebut sangat dingin, kelembapan udara cukup tinggi dan daerah Gedong Songo bersifat asam karena terdapat belerang. Pada sampel batuan Ngempon C juga memiliki nilai densitas yang cukup rendah hampir sama dengan sampel batuan Gedong Songo A ini dapat disebabkan karena candi Ngempon terletak di daerah yang cukup rendah dan memiliki suhu yang cukup tinggi selain itu candi Ngempon juga merupakan candi tertua jika dibandingkan dengan candi Gedong Songo maupun candi Dukuh.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Parameter batuan yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa batuan penyusun candi Ngempon, candi Dukuh, dan candi Gedong Songo merupakan Jenis Batuan Andesit.
2. Nilai densitas rata-rata pada sampel batuan berkisar 2,35-2,49 ( $\text{gr/cm}^3$ ) menunjukkan bahwa batuan candi Ngempon, candi Gedong songo, dan candi Dukuh A merupakan batuan yang memiliki tingkat kelapukan II atau dapat dikatakan bahwa batuan candi tersebut cukup kuat. Ada satu sampel batuan yaitu batuan Dukuh B memiliki nilai densitas sebesar 2,66 ( $\text{gr/cm}^3$ ), sehingga sampel batuan ini dapat digolongkan dalam tingkat pelapukan I yang berarti batuan candi ini kuat.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Delpin, P., Armynah, B., Nurdin, B.W., 2014, *Rancang Bangun Alat Elektronik Pengusir Hama Tikus pada Rumah Tangga*, Jurnal, Jakarta:Universitas Indonesia.
- [2]. Sudjanarko, S, dan Yudhi, L., 2012, *Studi Parameter Fisik Tanah dengan Gelombang Ultrasonik*. Jurnal ISSN 2301-6752, Surabaya : Istitut Teknologi Sepuluh November.
- [3]. Goodway, B., Chen, T. and Downton, J., 1997, *Improved AVO Fluid Detection and Lithology Discrimination Using Lamé Petrophysical Parameter, " $\lambda\rho$ ", " $\mu\rho$ ", " $\lambda/\mu$ " Fluid Stack, from P and S Inversion*; CSEG Recorder.
- [4]. Telford, W.M., Sheriff, R.E., Geldart, L.P.1990. *Applied Geophysics*. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Cambridge University Press.
- [5]. William L., 2007, *Fundamental of Geophysics 2nd Edition*, New York : Cambridge University Press.
- [6]. Santosa, J.B., dan Harvityan, A.M., 2013, *Analisa Anomali Avo pada Data Sesimik 2D dan 3D Lapangan Einstein Cekungan Jawa Barat Utara*, Jurnal, Surabaya: Istitut Teknologi Sepuluh November.
- [7]. Alamsyah, A., 2012, *Analisis Seismic Rock Properties dari Reservoir Jurasik Tengah pada Lapangan Patuku, Cekungan Bintuni, Papua Barat*, Skripsi, Makasar : Universitas Hasanudin.
- [8]. Sutopo, Ibrahim, I., Kurniawati, N., dan Lasmana, F., 2009, *Studi Modulus Elastis Modulus Young) untuk Karakterisasi Berbagai Jenis Batubara Berdasarkan Analisis Kecepatan Gelombang*, Jurnal Penelitian Sains 1223, Sumatra Selatan : Universitas Sriwijaya.
- [9]. Bland, W. and D. Rolls. 1998. *Weathering: An Introduction to Scientific Principles*. Hodder Arnold, London.

- [10]. Yudistira, M.B., 2007, *Karakterisasi Derajat Pelapukan Andesit dan Implikasinya Terhadap Kekuatan Batuan Berdasarkan Pengujian Schmidt Hammer di daerah Soreang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat*, Skripsi, Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [11]. Rachman, R., 2012, *Peningkatan Produksi Pabrik Peremuk Batu Andesit PT. Perwita Karya di Desa Beber Kecamatan Sumber Cirebon Jawa Barat*, Skripsi, Yogyakarta : Universitas Pembangunan Nasional "VETERAN".
- [12]. Schon, J. H., 1996, *Physical Properties of Rocks, Fundamentals and Principles of Petrophysics, Handbook of Geophysical Exploration, Section 1, Seismic Exploration*, Netherland : Pergamon.
- [13]. Jager, J.C., and Cook, N.W, 1979, *Fundamental of Rock Mechanic. 3 Edition*, Londen: Chapman and Hall.



LAMPIRAN

Tabel 3. Densitas Batuan [4]

Rock type	Range ( $g/cm^3$ )	Avarage ( $g/cm^3$ )	Mineral	Range ( $g/cm^3$ )	Avarage ( $g/cm^3$ )
Sediments (wet) (sedimen (basah) Overburden		1,92	Metallic mineral Oxides, carbonates (oksaisda, karbonat)		
Soil (tanah)	1,2-2,4	1,92	Bauxite (bauksit)	2,3-2,55	2,45
Clay (tanah liat)	1,63-2,6	2,21	Limonite (limonit)	3,5-4,0	3,78
Gravel (krikil)	1,7-2,4	2,0	Siderite (siderite)	3,7-3,9	3,83
Sand (pasir)	1,7-2,3	2,0	Rutile (rutil)	4,18-4,3	4,25
Sandstone (batu pasir)	1,61-2,76	2,35	Manganite (maganite)	4,2-4,4	4,32
Shale (serpih)	1,77-3,2	2,40	Chromite (kromit)	4,3-4,6	4,36
Limestone (batu kapur)	1,93-2,90	2,55	Ilmenite (ilmenit)	4,3-5,0	4,67
Dolomite (dolomit)	2,28-2,90	2,70	Pyrolusite (pyrolusite)	4,7-5,0	4,82
Sedimentary rock (batuan sedimen)		2,50	Magnetite (magnetit)	4,9-5,2	5,12
Igneous rock (batu beku)			Franklinite (franklinet)	5,0-5,22	5,12
Rhyolite (riolit)	2,35-2,72	2,52	Hemalte (hemalte)	4,9-5,3	5,18
Andasite (andesit)	2,4-2,8	2,61	Cuprite (cuprit)	5,7-6,15	5,92
Granite (granit)	2,50-2,81	2,64	Cassiterite	6,8-7,1	6,92
Granodiorite (grano diorite)	2,67-2,79	2,73	wolframite	7,1-7,5	7,32
Porphyry (Porfir)	2,60-2,89	2,74	Sulfida, arsenides		
Quartz diorite (Diorit kursa)	2,60-2,96	2,79	Sphalerite (sfalerit)	3,5-4,0	3,75
Diorite (diorite)	2,72-2,99	2,85	Malachite (malahit)	3,9-4,03	4,0
Lavas (lava)	2,80-3,00	2,90	Chalccopyrite	4,1-4,3	4,2
Diabase (diabas)	2,50-3,20	2,91	stannite	4,3-4,52	4,4
Basalt (basal)	2,70-3,30	2,99	stibnite	4,5-4,6	4,6
Gabbro (gabbro)	2,70-3,50	3,03	Pyrrhotite (pirhotit)	4,5-4,8	4,65
Peridotite (peridotit)	2,78-3,37	3,15	Molybdenite (molibdenit)	4,4-4,8	4,7
Acid igneous (Beku asam)	2,30-3,11	2,61	Marcasite	4,7-4,9	4,85
Basic igneous (dasar beku)	2,09-3,17	2,79	Pyrite (pirit)	4,9-5,2	5,0
Metamorphic Rocks (batuan metamorf)			Bornite (bornit)	4,9-5,4	5,1
Quartzite (kuarsit)	2,5-2,70	2,60	Chalcocite (kalkosit)	5,5-5,8	5,65
Schists (sekis)	2,39-2,9	2,64	Cobaltite	5,8-6,3	6,1
Graywacke (greywacke)	2,6-2,7	2,65	Arsenopyrite	5,9-6,2	6,1

Marble (marmer)	2,6-2,9	2,75	Bismuththinite	6,5-6,7	6,57
Serpentine	2,4-3,10	2,78	Galena	7,4-7,6	7,5
Slate	2,7-2,9	2,79	Cinnabar	8,0-8,2	8,1
Gneiss (geniss)	2,59-3,0	2,80	Non-metallic (mineral non logam) minerals		
Amphibolite (amfibolit)	2,90-3,04	2,96	Petroleum (minyak tanah)	0,6-0,9	-
Eclogite (eklogit)	3,2-3,54	3,37	Ice (es)	0,88-0,92	-
Metamorphic (metamorf)	2,4-3,1	2,74	Sea water (air laut)	1,01-1,05	-
			Lignite (batu bara muda)	1,01-1,05	1,19
			Soft coal (batu bara lunak)	1,2-1,5	1,32
			Anthracite (antrasit)	1,34-1,8	1,50
			Chalk (kapur)	1,53-2,6	2,01
			Graphite(grafit)	1,9-2,3	2,15
			Rock salt (batu garam)	2,1-2,6	2,22
			Gypsum (gips)	2,2-2,6	2,35
			Kaolinite	2,2-2,63	2,53
			Orthoclase	2,5-2,6	-
			Quartz (kuarsa)	2,5-2,7	2,65
			Calcite (kalsit)	2,6-2,7	-
			Anhydrite (anhidrit)	2,29-3,0	2,93
			Biotite (biotit)	2,7-3,2	2,92
			Magnesite (magnesit)	2,9-3,12	3,03
			Fluorrite (fluorite)	3,01-3,25	3,14
			Barite	4,3-4,7	4,47

Tabel 5. Sifat Mekanika Material Batuan [13]

Rock Type	n	$v_p$ in $km/s$		$v_s$ in $km/s$		Ref
		Range	mean	Range	mean	
Granite (granit)	31	4,18...5,85 3,70...6,00	5,01 5,20	2,61...3,30 2,70...2,85	2,98 2,75	G D
Synite -nepeline - amphibole - Pyroxene (piroksen)		5,80...6,45	6,15 5,60 5,90	2,60...3,45	3,22	D K K
Diorite (diorite)	6	4,83...6,37 5,60...6,10	5,60	2,96...3,35	3,22	G D
Gabbre	75	5,97...6,87	6,42 6,30			G K
Gabbre,Nurite	10	5,99...6,93 6,10...7,40	6,46 6,75	3,31...3,69 2,70...3,65	3,50 3,35	G D
Pyroxeruite	15	6,23...7,79	7,01	3,35...4,30	3,80	G
Peridotite (peridotit)	16	6,58...8,37	7,48			G
Andesite, Trachite (andesit, trakhit)	15	3,97...6,13	5,05	2,44...3,69	3,50	G
Basalt (basal)	29	4,67...6,15	5,41	2,61...3,51	3,06	G
-dry,low (kering, rendah)	25	4,56...5,77	5,17	2,37...3,07		G

-alcalic -Oceanic	189	4,86...6,09	5,48			G
Diabase (diabas)	65			2,83...3,37	3,10	G
	17	5,24...6,81	6,30			G
	6			3,38...3,72	3,55	G
Geneiss (geneiss)		5,10...5,50				K
		5,00...6,35		2,55...3,55		D
-paralel	62	3,13...4,90	4,02	2,01...2,91	2,46	G
-perpendicular (tegak lurus)	56	1,84...3,66	2,75	1,58...2,52	2,05	G
Schist- paralel (sekis-paralel)	62	4,12...6,32	5,22	2,68...3,74	2,71	G
-perpend	56	2,76...5,44	4,08	1,95...3,47	2,71	G
Quartzite (kuarsit)	10	2,46...5,56	4,01	1,79...3,33	2,56	G
Serpentirute	23	4,25...6,23	5,24	2,07...3,49	2,78	G
Granulite	11	5,36...6,50	5,93	3,10...3,57	3,34	G
		5,30...6,10	5,75	2,68...3,10	2,75	D
Eclogite (eklogit)	20	6,53...8,01	7,27	3,56...4,56	4,06	G

Tabel 4. Kecepatan gelombang P dan S pada batuan Beku [12]

Rock	UC Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Strain at Failure (%)	Point Load Index $I_{p(50)}$ (MPa)	Fracture Mode I Toughness
<i>Igneous</i>							
Granite	100 – 300	7 – 25	30 – 70	0.17	0.25	5 – 15	0.11 – 0.41
Dolerite	100 – 350	7 – 30	30 – 100	0.10 – 0.20	0.30		>0.41
Gabbro	150 – 250	7 – 30	40 – 100	0.20 – 0.35	0.30	6 – 15	>0.41
Rhyolite	80 – 160	5 – 10	10 – 50	0.2 – 0.4			
Andesite	100 – 300	5 – 15	10 – 70	0.2		10 – 15	
Basalt	100 – 350	10 – 30	40 – 80	0.1 – 0.2	0.35	9 – 15	>0.41
<i>Sedimentary</i>							
Conglomerate	30 – 230	3 – 10	10 – 90	0.10 – 0.15	0.16		
Sandstone	20 – 170	4 – 25	15 – 50	0.14	0.20	1 – 8	0.027 – 0.041
Shale	5 – 100	2 – 10	5 – 30	0.10			0.027 – 0.041
Mudstone	10 – 100	5 – 30	5 – 70	0.15	0.15	0.1 – 6	
Dolomite	20 – 120	6 – 15	30 – 70	0.15	0.17		
Limestone	30 – 250	6 – 25	20 – 70	0.30		3 – 7	0.027 – 0.041
<i>Metamorphic</i>							
Gneiss	100 – 250	7 – 20	30 – 80	0.24	0.12	5 – 15	0.11 – 0.41
Schist	70 – 150	4 – 10	5 – 60	0.15 – 0.25		5 – 10	0.005 – 0.027
Phyllite	5 – 150	6 – 20	10 – 85	0.26			
Slate	50 – 180	7 – 20	20 – 90	0.20 – 0.30	0.35	1 – 9	0.027 – 0.041
Marble	50 – 200	7 – 20	30 – 70	0.15 – 0.30	0.40	4 – 12	0.11 – 0.41
Quartzite	150 – 300	5 – 20	50 – 90	0.17	0.20	5 – 15	>0.41