

**PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG P (v_p)
TERHADAP PERUBAHAN SATURASI AIR PADA
BATUPASIR DENGAN MENGGUNAKAN METODE
BIOT-GASSMANN**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh
Alfin Nur Iman
11620028

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2019**



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor: B-353/Un.02/DST/PP.05.3/01/2019

Skrripsi/Tugas Akhir dengan judul : Pemodelan Kecepatan Gelombang P (v_p) terhadap Perubahan Saturasi Air pada Batupasir dengan Menggunakan Metode Biot-Gassmann

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Affin Nur Iman
NIM : 11620028
Telah dimunaqasyahkan pada : 21 Januari 2019
Nilai Munaqasyah : B+
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Thaibul Fikri Nivartama, S.S., M.Si.
NIP.19771025 200501 1 004

Penguji I

Dr. Nita Handayani, S.S., M.Si.
NIP.19820126 200801 2 008

Penguji II

Firda Agung Rahmadi, S.Si., M.Sc.
NIP. 19780510 200501 1 003

Yogyakarta, 21 Januari 2019
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Miftarib, M.Si.
NIP. 19831212 200003 1 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Alfin Nur Iman
NIM : 11620028
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan
Kalijaga Yogyakarta

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan skripsi saya ini adalah asli hasil karya/penelitian sendiri dan bukan plagiasi dari karya/penelitian orang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya agar dapat diketahui oleh anggota dewan penguji.

Yogyakarta, 18 Januari 2019

Yang menyatakan



Alfin Nur Iman
NIM. 11620028



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal :
Lamp : 3 bandel skripsi

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta.

Assalamu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfin Nur Iman
NIM : 11620028
Judul Skripsi : Pemodelan Kecepatan Gelombang P (v_p) terhadap Perubahan Saturasi Air pada Batupasir dengan Menggunakan Metode Biot-Gassmann

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh

Yogyakarta, 17 Januari 2019
Pembimbing

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si
NIP. 19771025 200501 1 004

MOTTO

“Bersabar bukan berarti hanya berdiam diri dan pasrah, melainkan tetap berusaha dengan keikhlasan hati demi mencapai setiap tujuan yang diharapkan”

“Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan yang didasarkan pada ilmu pengetahuan”

(Ali bin Abi Thalib)



PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah

Ku persembahkan karya ini kepada :

*Ayah dan ibuku tercinta, pahlawan dalam hidupku yang tak
kenal lelah untuk selalu mendoakanku kapanpun dan
dimanapun berada*

*Guru-guruku yang tak pernah berhenti mengajar demi
mencerdaskan anak-anak bangsa*

*Bidadari kecilku yang senantiasa menemani perjalanan
hidupku dalam suka dan duka, terik dan hujan,
serta tangis dan tawa*

*Almamater tercinta Prodi Fisika Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Sunan Kalijaga*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wa rakhmatullahi wa barakatuh.

Segala puji bagi Allah *subhanahu wa ta'ala*, yang telah menjaga semua makhluk seisi alam dengan Kuasa-Nya. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad *salallahu'alaihi wa sallam*, para sahabat, keluarga, dan orang-orang yang tetap istikhamah mengikuti sunah-sunahnya.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (skripsi) dengan judul “Pemodelan Kecepatan Gelombang P terhadap Perubahan Saturasi Air dengan Menggunakan Metode Biot-Gassmann” dengan baik. Penyusunan tugas akhir (skripsi) ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan yang datang dari berbagai pihak, untuk itu dengan segenap kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Drs. K.H. Yudian Wahyudi, M.A., Ph.D. Selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Dr. Murtono, M.Si. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., selaku ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Asih Melati, M.Sc., selaku dosen pendamping akademik Program Studi Fisika

5. Semua staf Tata Usaha dan karyawan di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi serta laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Orang Tua, saudara, dan calon pendamping yang selalu mendoakan demi terselesainya tulisan Tugas Akhir ini.
7. Sahabat seperjuangan Fisika 2011 Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta yang terus menyemangati dan memberikan warna dalam hidup ini.

Penulis hanya dapat berdoa semoga semua yang telah membantu mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah *subhanahu wa ta'ala*, dan semoga karya ini dapat bermanfaat sebagai rujukan untuk karya tulis selanjutnya.

Wassalamu 'alaikum wa rakhmatullahi wa barakatuh.

Yogyakarta, 21 Januari 2018

Alfin Nur Iman
NIM. 11620028

**PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG P TERHADAP
PERUBAHAN SATURASI AIR PADA BATUPASIR DENGAN
MENGUNAKAN METODE BIOT-GASSMANN**

**Alfin Nur Iman
11620028**

INTISARI

Telah dilakukan penelitian Pemodelan Kecepatan Gelombang P terhadap Perubahan Saturasi Air pada Batupasir dengan Menggunakan Metode Biot-Gassmann di Laboratorium Fisika UIN Sunan Kalijaga. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan hubungan kecepatan gelombang P berdasarkan perubahan parameter elastisitas dan saturasi air pada batupasir Ngrayong dan mineral kuarsa dan lempung, dan mengetahui hubungan variasi kecepatan gelombang P sebagai fungsi parameter fisis batuan. Parameter-parameter elastisitas batuan yang diinput untuk mencari kecepatan gelombang P berdasarkan variasi saturasi air adalah rasio poisson, modulus padatan, dan modulus geser mineral kuarsa dan lempung. Pengolahan data pada matlab menghasilkan data perekaman pada masing-masing *geophone* berupa *seismogram* yang digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang P. Data kecepatan gelombang P kemudian di plot ke dalam bentuk grafik. Hasil dari pengolahan data diperoleh 4 buah grafik, yaitu hubungan kecepatan gelombang P sebagai fungsi variasi parameter saturasi air, porositas, modulus padatan, dan rasio poisson untuk masing-masing batupasir Ngrayong dan mineral kuarsa dan lempung. Kecepatan gelombang P pada batupasir Ngrayong dan mineral kuarsa dan lempung menunjukkan grafik yang berbanding terbalik dengan saturasi air. Informasi yang dapat diidentifikasi dari hasil penelitian variasi saturasi air pada batupasir Ngrayong memiliki kecepatan yang lebih rendah dibanding pada mineral kuarsa dan lempung, sedangkan pada variasi parameter elastisitas memberikan informasi bahwa mineral kuarsa dan lempung merupakan jenis batuan berpori.

Kata Kunci : Kecepatan Gelombang P, Saturasi Air, *Sandstone*, Biot-Gassmann

MODELING OF P WAVE VELOCITY ON CHANGES IN WATER SATURATION IN SANDSTONE USING BIOT-GASSMANN METHOD

Alfin Nur Iman
11620028

ABSTRACT

Has conducted a research on Modeling P Wave Velocity on Changes in Water Saturated in Sandstones using the Biot-Gassmann Method at the Physics Laboratory of UIN Sunan Kalijaga. This study aims to model the relationship of wave velocity based on the parameters of elasticity and water saturation in Ngrayong sandstones and quartz and clay mineral, and study the relationship of variations in P wave velocity as a function of the physical parameters of the rock. The spin elasticity parameters inputted to find P wave velocities based on water saturation variations are Poisson ratio, modulus bulk, and shear modulus of quartz and clay mineral. Processing data in matlab produces recording data on each geophone consisting of seismograms used to determine the P wave velocity. P wave velocity data are then plotted into graphical form. The results of data processing obtained 4 graphs, namely the relationship of wave velocity as a variation of water saturation parameters, porosity, modulus bulk, and Poisson ratio for each sandstone of each Ngrayong and quartz and clay mineral. The wave velocity in Ngrayong sandstones and quartz and clay mineral show graph throwing is inversely proportional to water saturation. Information that can be identified from the results of research on water saturation in Ngrayong sandstones has a lower velocity than quartz and clay mineral, whereas variations in elasticity parameters provide information about quartz and clay mineral according to the type of porous rock.

Keyword : P Wave velocity, Water Saturation, Sandstone, Biot-Gassmann

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	1
PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
INTISARI	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Pustaka.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Landasan Teori.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Sifat Elastisitas Batuan.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Batuan Sedimen	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Poroelastisitas	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Porositas	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Saturasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.6 Estimasi Saturasi Air.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.7 Permeabilitas.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.8 Densitas Batuan.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.9 Batas Voigt dan Reuss	Error! Bookmark not defined.
2.2.10 Hubungan Kecepatan Biot-Gassmann	Error! Bookmark not defined.
2.2.11 Koefisien Biot	Error! Bookmark not defined.
2.2.12 Hubungan Gassmann pada Batuan Isotropik	Error! Bookmark not defined.
2.2.13 Model Fluida Efektif.....	Error! Bookmark not defined.

2.2.14	Bentuk kecepatan Gassmann	Error! Bookmark not defined.
2.2.15	Batupasir	Error! Bookmark not defined.
2.2.16	Wawasan Q.S. Al-Mu'minun: 18 tentang Air	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	Error! Bookmark not defined.
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3	Prosedur Kerja	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Persiapan Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Input Data	Error! Bookmark not defined.
3.3.3	Pengolahan Data	Error! Bookmark not defined.
3.3.4	Analisa Data	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1	Hasil Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2	Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Kesimpulan	64
5.2	Saran	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian-penelitian yang berkaitan	5
Tabel 2.2. Hubungan antara parameter elastisitas dalam material isotrop (Mavko dkk, 1998).....	9
Tabel 2.3. Klasifikasi nilai skala porositas menurut Kusumadinata (1980)	19
Tabel 2.4. Permeabilitas batuan sedimen taktermampatkan menurut Schon (1998)	24
Tabel 3.1. Parameter mineral kuarsa dan lempung sebagai data sekunder	43
Tabel 3.2. Program Komputasi	44
Tabel 3.3. Parameter Batupasir Ngrayong	45
Tabel 3.4. Parameter variasi inputan pada program komputasi	48
Tabel 3.5. Hubungan <i>firstbreak</i> berdasarkan variasi parameter elastisitas dan saturasi air	50
Tabel 3.6. Posisi <i>geophone</i> pada program komputasi.....	51
Tabel 3.7. Hubungan v_p berdasarkan variasi parameter elastisitas dan saturasi air	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hubungan fraksi volume dengan modulus geser pada batas Hashin-Shtrikman (Lakes, 1993)	26
Gambar 2.2. Model modulus rata-rata Voigt dan Reuss	27
Gambar 2.3. Batupasir Ngrayong dengan mineral kuarsa (a) dan lempung (b) Niyartama dkk (2017)	38
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	42
Gambar 3.2. Laptop sebagai perangkat keras pengolahan data	43
Gambar 3.3. Tampilan jendela windows untuk Matlab saat akan digunakan....	45
Gambar 3.4. Tampilan Matlab setelah dibuka	46
Gambar 3.5. Lokasi program komputasi	46
Gambar 3.6. Tampilan Matlab setelah program komputasi dipanggil	47
Gambar 3.7. Tampilan Matlab saat proses pengolahan data	48
Gambar 3.8. Variabel hasil pengolahan data pada Matlab	49
Gambar 3.9. Posisi sumber getaran 2 dimensi pada simulasi Matlab	52
Gambar 3.10. Hubungan v_p dengan saturasi air (Niyartama, 2017)	53
Gambar 3.11. Hubungan v_p dengan porositas, modulus padatan, dan rasio Poisson (Turgut dan Yamamoto, 1990)	53
Gambar 4.1. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi saturasi air	55
Gambar 4.2. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi porositas	56
Gambar 4.3. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi rasio Poisson	56
Gambar 4.4. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi Modulus padatan	56
Gambar 4.5. Hubungan grafik kecepatan gelombang P batupasir Ngrayong dominan kuarsa terhadap grafik Turgut dan Yamamoto (1990)...	57
Gambar 4.6. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi saturasi air	58
Gambar 4.7. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi porositas	58
Gambar 4.8. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi rasio Poisson	58
Gambar 4.9. Grafik perubahan kecepatan gelombang P terhadap variasi Modulus padatan	59
Gambar 4.10. Hubungan grafik kecepatan gelombang P pada batupasir Ngrayong dengan mineral kuarsa dan lempung terhadap grafik Turgut dan Yamamoto (1990)	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan merupakan komponen penyusun bumi yang terbentuk dari kumpulan mineral yang telah membeku. Menurut Hardiyatmo (1996) setiap batuan memiliki struktur yang bervariasi seperti batuan masif, padat, dan berpori (banyak mengandung pori). Gelombang seismik yang merambat pada batuan memiliki kecepatan gelombang P (v_p) dan kecepatan gelombang S (v_s) yang bergantung pada parameter fisis batuan. Gelombang S hanya mampu merambat pada medium padat, sedangkan gelombang P dapat merambat pada medium padat dan cair, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi reservoir hidrokarbon.

Perambatan gelombang seismik memiliki kecepatan yang berbeda-beda bergantung pada sifat fisis batuan seperti litologi, densitas, porositas, dan saturasi fluidanya. Salah satu contoh berdasarkan parameter fisis densitas, kecepatan gelombang akan berubah apabila mineral dan porositas batuan bervariasi. Secara umum nilai kecepatan gelombang seismik dari yang paling rendah ke yang paling tinggi berturut-turut dimiliki oleh batu kapur, batu pasir, batu gamping, dan batu metamorf (Mavko dkk, 2009).

Karakterisasi hidrokarbon dapat dilakukan antara lain dengan menggunakan metode substitusi Gassmann untuk mencari kecepatan gelombang seismik pada medium padat tersaturasi fluida. Gassmann berasumsi bahwa batuan bersifat isotropik, elastis, dan homogen. Semua pori dalam

batuan harus saling terhubung dan terisi oleh salah satu fluida baik itu gas atau air (Mavko dkk, 2009). Persamaan Gassmann hanya berlaku pada frekuensi rendah, sementara pada frekuensi tinggi berlaku persamaan Biot (Mavko dkk, 2009). Penggunaan persamaan Biot-Gassmann dapat digunakan untuk memprediksi parameter fisis batuan berdasarkan data kecepatan gelombang P yang dicari.

Saturasi fluida merupakan komponen penting dari batuan yang memiliki jenis dan nilai yang berbeda-beda bergantung pada tempat batuan tersebut berada. Batuan sedimen seperti batupasir, breksi, dan konglomerat merupakan batuan yang memiliki variasi kecepatan. Hal ini dikarenakan oleh perbedaan butiran-butiran penyusun dan saturasi fluidanya.

Eksperimen mengenai batuan telah banyak dilakukan oleh peneliti, khususnya batuan sedimen, seperti Turgut dan Yamamoto (1990). Mereka meneliti batuan sedimen *marine*, batuan yang terbentuk di lingkungan laut, dengan memvariasikan tiga parameter fisis, seperti porositas, rasio Poisson, dan modulus padatan yang kemudian dikelompokkan ke dalam empat jenis fisik batuan, seperti *silt*, *medium sand*, *coarse sand*, dan *porous rock*. Hasil penelitian tersebut dituangkan ke dalam bentuk grafik sebagai fungsi kecepatan gelombang P.

Salah satu batuan sedimen yang menarik untuk diteliti yaitu batupasir Ngrayong dengan mineral kuarsa dan lempung. Batupasir Ngrayong memiliki karakteristik bersih, butiran halus hingga sedang, tersusun baik, porositas dan

permeabilitas sangat baik (Nguyen dkk, 2012). Nilai porositas batupasir Ngrayong berada pada rentang 25,97 % s.d. 40,21 %, sedangkan nilai permeabilitasnya berada pada rentang 94,6 mD s.d. 3.385 mD (Khaing dkk, 2017).

Berdasarkan pada latar belakang diatas, penulis tertarik untuk memodelkan kecepatan gelombang P pada batupasir Ngrayong dengan mineral kuarsa dan lempung di dalamnya. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan beberapa parameter fisis batuanya, yaitu saturasi air, porositas, rasio Poisson, dan modulus padatan. Hasil tersebut kemudian diidentifikasi berdasarkan fisik batuanya mengacu pada penelitian Turgut dan Yamamoto (1990).

Pemodelan kecepatan gelombang P perlu dilakukan. Solusi yang diberikan dari pemodelan tersebut dapat menggambarkan sifat fisika bawah permukaan yang dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi atau struktur geologinya. Perannya begitu penting dalam eksplorasi sumber daya alam, seperti minyak, gas, panas bumi, mineral tambang dan air tanah.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hubungan kecepatan gelombang P berdasarkan perubahan saturasi air pada batuan Ngrayong dengan parameter mineral kuarsa dan lempung?
2. Bagaimana hubungan antara parameter elastisitas batuan dengan kecepatan gelombang P?

1.3 Tujuan Penelitian

Memodelkan kecepatan gelombang P terhadap perubahan saturasi air pada batupasir dengan menggunakan metode Biot-Gassmann.

1.4 Batasan Penelitian

1. Parameter fisis batuan yang digunakan adalah parameter batuan Ngrayong dengan mineral kuarsa dan lempung di dalamnya.
2. Parameter fisis batuan yang divariasikan yaitu porositas, rasio Poisson, modulus padatan, dan saturasi air.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan pemahaman tentang hubungan saturasi air dengan kecepatan gelombang P dan modulus elastisitas lainnya.
2. Besar nilai kecepatan gelombang P berdasarkan saturasi air akan memberikan info yang akurat mengenai keberadaan sumber minyak di dasar Bumi.
3. Sebagai wacana untuk kegiatan penelitian lebih lanjut yang bermanfaat di dalam bidang ilmu fisika khususnya Geofisika.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perubahan saturasi air pada batupasir Ngrayong dengan mineral kuarsa dan lempung di dalamnya, gelombang P memiliki kecepatan 1.303 m/s pada saat tersaturasi 0 s.d 0,4, kemudian menurun menjadi 1.285 m/s pada saat tersaturasi 0,5 s.d. 1, sehingga dapat disimpulkan kecepatan gelombang P akan menurun seiring bertambahnya saturasi air.
2. Berdasarkan model kecepatannya, batupasir Ngrayong apabila dikaitkan dengan fisik batuan seperti yang telah di kelompokkan oleh Turgut dan Yamamoto (1990), maka lebih mendekati pada fisik batuan *porous rock* atau batuan berpori.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, saran yang diberikan untuk peneliti selanjutnya untuk memodelkan kecepatan gelombang P adalah:

1. Perlu melakukan variasi parameter fisis batuan lainnya yang digunakan untuk memodelkan bentuk kecepatan gelombang P.
2. Perlu menggunakan metode yang berbeda dengan tidak mengubah nilai-nilai parameter fisis batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barriere, J., Clarisse B., Daniel B., Pascale S., dan Herve P. 2012. Laboratory monitoring of P waves in partially saturated sand. *Geophysical Journal International*, **Maret 2012**: 1-19.
- Berryman D., Bernard B., Daniel C., dan John H. 1988. Nonparametric Tests for Trend Detection in Water Quality Time Series. *Water Resources Bulletin American Water Resources Association*. **Vol.24, No.3 Juni 1988**: 545-556.
- Biot, M. A. 1941. General Theory of Three-Dimensional Consolidation. *Journal of Applied Physics*, **Vol.12 No.2 Februari 1941**: 155-164.
- Biot, M. A. 1956a. General solutions of the equations of elasticity and consolidation for a porous material. *Journal of Applied. Mechanics*, **Maret 1956**: 91-96.
- Biot, M. A. (1956b). The theory of propagation of elastic waves in fluid-saturated porous solids. *Journal of the Acousticals Society of America*, **Vol.28 No.2 Maret 1956**: 168-178.
- Biot, M. A. (1962a). Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media. *Journal of Applied Physics*, **Vol.33 April 1962**: 1482-1498.
- Biot, M. A. (1962b). Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media. *Journal of the Acousticals Society of America*, **Vol.34 No.5 September 1962**: 1254-1264.
- Chen, C.P dan Lakes, R.S. 1993. Analysis of high loss viscoelastic composites. *Journal Materials Science*, **Vol.28**: 4299-4304.
- Chen dkk. 1991. *Physical parameter estimation for sandstone reservoirs*. 291-305 <https://www.crewes.org/ForOurSponsors/ResearchReports/1991/1991-19.pdf>.
- de Buyl, M., Ullah, S., dan Guidish, T. 1987. Reservoir description from seismic lithologic modeling, part 2: Substantiation by reser reservoir simulation. *Geophysics*: 381-385.
- Dutta, N.C. dan H. Ode. 1983. Attenuation and dispersion of compressional waves in fluid filled porous rocks with partial gas saturation (White model) – Part II: Results. *Geophysics*, **Vol.44 No.11 November 1979**: 1789 – 1805.
- Frenkel, J. 1944. On the theory of seismic and seismoelectric phenomena in moist soil. *Journal of Physics*, **Vol.3 No.5**: 230-241.

- Gassmann, F. 1951. Über die Elastizität poroser Medien: *Veierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 96, 1–23.
- Hardiyatmo, H.C. 1996. *Teknik Fondasi 1*. Jakarta. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hassanzadeh, S. 1991. Acoustic modeling in fluid-saturated porous media. *Aldridge Laboratory of Applied Geophysics*, **Vol.56 No.4. April 1991**: 424-435.
- Kementerian Agama Republik Indonesia. 2014. *Alquran dan Terjemahannya*. Bandung.
- Khaing, S.Y., Sugeng, S.S., Jarot, S., dan Yuichi S. 2017. Facies and Reservoir Characteristics of the Ngrayong Sandstone in the Rembang Area, Northeast Java (Indonesia). *Open Journal of Geology*, **Vol.7 Mei 2017**: 608-620.
- Mavko, G., Tapan M., dan Jack D. 1998. *The Rock Physics Handbook, Tools for Seismic Analysis in Porous Media* (1st ed). New York. Cambridge University Press.
- Mavko, G., Tapan M., dan Jack D. 2009. *The Rock Physics Handbook, Tools for Seismic Analysis in Porous Media* (2nd ed). New York. Cambridge University Press.
- Mu'thi, A. dan M. Abdul Ghoffar E.M. 2003. *Tafsir Ibnu Katsir*. Jilid 5. Cetakan Pertama. Bogor. Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Niyartama, T.F., Umar F., dan Fatkhan. 2017. Influence of water saturation on ultrasonic P-wave velocity in weakly compacted sandstone. *Journal of Physics*, **2017**: 1-5.
- Nguyen, N. T. B., W. Bae., C. T. Q. Dang., dan T. Chung. 2012. *Sedimentological Process and Sequence Stratigraphy Analysis of Ngrayong Sandstone Formation, Northeast Java Basin*. Seoul. Department of Earth & Environmental Sciences.
- Plona, T.J. 1980. Observation of A Second Bulk Compressional Wave In A Porous Medium At Ultrasonic Frequencies. *Applied Physics Letter*, **Vol.36 No.4 Februari 1980**: 259-261.
- Schon, J.H. 1998. *Physical properties of rock, fundamental and principles of petrophysics. Handbook of geophysical exploration* (1st ed). Netherland. Pergamon.
- Shvetsov, M.S. 1962. Basic Principles of Sedimentary Rock Classification. *International Geology Review*, **Vol.4 No.9 1961**: 981-986.

- Stoll, R.D. 1980. *Theoretical aspects of sound transmission in sediments*. Columbia University. New York.
- Sismanto. 2013. *Pendekatan Estimasi Permeabilitas dan Saturasi Air Berbasis Data Seismik*. Yogyakarta. Graha Ilmu.
- Thadani, S. G., Alabert, F., and Journel, A. G., 1987. An integrated geostatistical / pattern recognition technique for characterization of reservoir spatial variability. *Geophysics*, **1987**: 372-375.
- Turgut, A dan Tokuo Y. 1990. Measurements of acoustic wave velocities and attenuation in marine sediments. *Journal Acoustical Society of America*, **Vol.87 No.6 Juni 1990**: 2376 – 2382.
- Wood, A.W., 1955. *A Textbook of Sound*, MacMillan, London.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., dan Gardner, L.W. 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics*, **Vol.11 No.1 21 Januari 1956**: 41-70.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R. and Gardner, G.H.F., 1958. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophysics*, **Vol.13 No.3 Juli 1958**: 459-493.