

PENGARUH KONSENTRASI NaCl TERHADAP PARAMETER ELASTIK PASIR TERSATURASI

MUAMMAR QADAFI¹, USMAN MALIK²

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung
2. Jurusan Fisika, Universitas Riau, Pekanbaru
Email : qadafim.mq@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh konsentrasi larutan natrium klorida (NaCl) yang disaturasikan pada sampel (core) pasir terhadap parameter elastik. Core dibuat dengan diameter 7,5 cm dan panjang 10 cm. Core dicetak dengan tekanan sebesar $5,8 \times 10^4$ N/m². Core yang telah dicetak disaturasi dengan larutan NaCl yang divariasikan konsentrasinya dari 0 ppm hingga 360000 ppm (titik jenuh NaCl) selanjutnya dirambatkan gelombang seismik/elastik menggunakan Sonic Wave Analyzer (SOWAN), dari pengukuran ini akan diperoleh waktu tempuh gelombang (delay) pada sampel. Berdasarkan waktu tempuh, kecepatan gelombang primer dan sekunder pada Core diketahui. Hasil yang diperoleh berupa parameter elastisik dari Core seperti modulus Young, Modulus Bulk, Modulus Geser dan Konstanta Lamé. Modulus Young Core berkisar antara $7,8 \times 10^7$ Pa- $1,8 \times 10^8$ Pa, modulus Bulk sebesar $1,8 \times 10^7$ Pa- $8,9 \times 10^8$ Pa, modulus geser antara $5,1 \times 10^7$ Pa- $7,6 \times 10^8$ Pa dan Konstanta Lamé berkisar antara $1,8 \times 10^8$ Pa- $3,4 \times 10^9$ Pa.

Kata kunci: Core Pasir Tersaturasi, Konsentrasi NaCl, Parameter Elastik.

ABSTRACT

Research has been carried out on the effect of saturated sodium chloride (NaCl) solution concentration in sand samples (cores) on elastic parameters. This research was conducted to determine the differences in the elastic core parameters according to the concentration of NaCl that saturates them. The cores are made with a diameter of 7.5 cm and a length of 10 cm. The cores are molded at a pressure of $5,8 \times 10^4$ N/m². The cores that have been printed are saturated with NaCl solution with varying concentrations from 0 ppm to 360000 ppm (saturation point of NaCl) then propagated seismic/elastic waves using a Sonic Wave Analyzer (SOWAN), from this measurement the wave travel time (delay) will be obtained in the sample. Based on the travel time, the primary and secondary wave velocities at the Core are known. The core elastic parameters was obtained such as Young's modulus, Bulk modulus, Shear modulus and Lamé's constant. Young Core modulus ranges from $7,8 \times 10^7$ Pa- $1,8 \times 10^8$ Pa, Bulk modulus of $1,8 \times 10^7$ Pa- $8,9 \times 10^8$ Pa, shear modulus between $5,1 \times 10^7$ Pa- $7,6 \times 10^8$ Pa and Lamé Constant ranges between $1,8 \times 10^8$ Pa- $3,4 \times 10^9$ Pa.

Keywords: Saturated Sand Cores, NaCl Concentration, Elastic Parameters.

1. PENDAHULUAN

NaCl merupakan komponen utama dari salinitas air laut. Salinitas air mempengaruhi elastisitas suatu material yang disaturasi (Xu et al., 2016), semakin besar densitas fluida yang menyaturasi suatu material maka kerapatan material semakin besar, sedangkan semakin kecil saturasi fluida maka kepadatan partikel material tersebut akan semakin kecil pula dan sifat ini bergantung pada jenis fluida yang menyaturasinya (Li et al., 2016). Jika tingkat kepadatan material semakin besar, maka semakin baik material tersebut merambatkan gelombang elastik. Medium yang memiliki susunan partikel yang lebih rapat merambatkan gelombang lebih baik.

Gelombang elastik telah digunakan dalam ilmu batuan sebagai media menentukan kekuatan batuan (Kang & Lee, 2015). Parameter elastisitas batuan seperti modulus Young (E), modulus Bulk (K), modulus geser/shear (μ) dan konstanta Lamé (λ) digunakan untuk menentukan kekuatan batuan terhadap tekanan (Ahied, 2010). Jika dilewatkan gelombang elastik pada batuan, maka diketahui kecepatan gelombang pada medium tersaturasi tersebut sehingga parameter elastik batuan dapat ditentukan (Ahied, 2010). Apabila diketahui cepat rambat gelombang pada suatu material berpori (core) yang disaturasi dengan nilai tertentu oleh air atau larutan (misalnya larutan NaCl), maka dapat diketahui karakteristik material tersaturasi tersebut seperti elastisitas dan kekuatannya.

Kadar NaCl menentukan besarnya salinitas air laut disuatu perairan. Jika diketahui kadar NaCl yang menyaturasi pasir yang ada di pantai ataupun dasar laut, maka dapat diketahui parameter elastisitas pasir tersebut. Salinitas air juga berpengaruh pada resistivitas batuan yang dapat digunakan sebagai parameter menentukan karakteristik air yang terdapat pada lapisan akuifer (Qadafi et al., 2015). Mengetahui parameter elastisitas pasir yang tersaturasi air yang memiliki salinitas tinggi merupakan langkah awal untuk memulai pembangunan sarana di pantai tersebut seperti pembangunan jembatan, turap ataupun pelabuhan (Sudjipto, 2003).

Penggunaan metode perambatan gelombang elastik dalam menentukan parameter elastik batuan berpori seperti pasir merupakan metode lebih akurat dibandingkan metode destruktif (Kang & Lee, 2015). Metode ini selain tidak merusak sampel juga dapat dilakukan untuk sampel batuan yang memiliki elastisitas yang kecil karena jika digunakan metode destruktif, nilai parameter elastiknya akan sulit untuk ditentukan karena keadaan pasir yang mudah hancur (Biot, 1998). Tegangan yang dihasilkan dari perambatan gelombang elastik dapat menghasilkan regangan sesaat sebelum partikel batuan kembali ke kondisi semula. Kemampuan partikel untuk kembali ke titik semula ini lah yang disebut dengan sifat elastik (Davis & Selvadurai, 1996). Dengan mengetahui karakteristik gelombang elastik yang merambat pada media tersebut, maka sifat elastiknya akan dapat diketahui.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh saturasi NaCl terhadap parameter elastik pasir seperti modulus Young, modulus Bulk, konstanta Lamé dan modulus geser sebagai upaya mitigasi longsor dan kebutuhan pembangunan bangunan tepi pantai ditinjau dari salinitas air.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berikut fungsinya adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Peralatan

No	Nama Alat	Fungsi
1	timbangan/neraca ohaus	untuk mengukur massa NaCl dan sampel
2	gelas kimia	untuk mengukur volume larutan dan menentukan konsentrasinya
3	pipa paralon 2,5 inch	sebagai cetakan sampel
4	compression machine	untuk menentukan tekanan sampel pada saat pencetakan
5	penjepit sampel	untuk menjepit sampel pada saat pengukuran
6	Sonic Wave Analyzer (SOWAN)	berfungsi sebagai generator pembangkit gelombang seismik
7	piezo transmitter	sebagai pemancar gelombang seismik
8	piezo receiver	sebagai penerima gelombang seismik
9	komputer laptop	sebagai pengganti osiloskop dan sebagai monitor untuk menentukan waktu tempuh gelombang
10	kabel interface	penghubung antara SOWAN dan laptop

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pasir (sebagai media/sampel)
- NaCl (sebagai senyawa yang digunakan untuk menyaturasi sampel)
- Air (untuk membuat larutan senyawa diatas)
- Grease (untuk menyamakan impedansi transduser dan sampel)

2.2 Pembuatan larutan NaCl

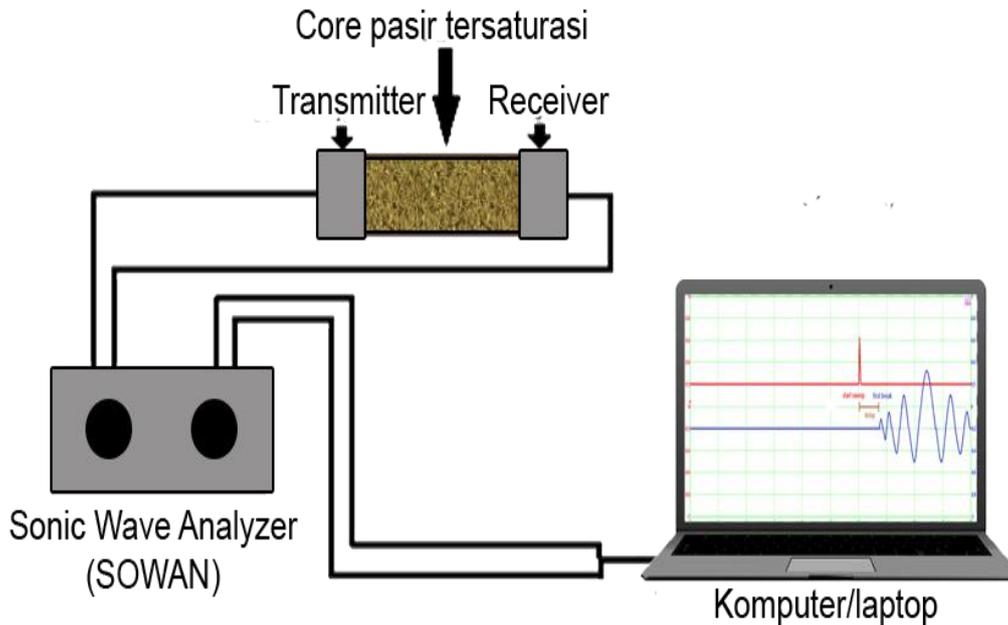
Larutan NaCl dibuat dengan konsentrasi 0 ppm-360000 ppm (1ppm= 1mg zat/1 liter air). 360000 ppm (6,15 M) merupakan titik jenuh larutan NaCl pada suhu kamar (27°C). Volume air masing-masing 500 ml, massa NaCl divariasikan dari 0-180 gram. Massa NaCl ditimbang menggunakan neraca ohaus, sedangkan volume air diukur menggunakan gelas kimia.

2.3 Pembuatan dan Analisis Core

Core dibuat menggunakan cetakan berupa pipa paralon berdiameter 7,4 cm. Saat pencetakan, core diberi tekanan menggunakan *compression machine* dengan tekanan sebesar $5,8 \times 10^4$ N/m² yang memberikan porositas sebesar 10,4%. Tekanan yang digunakan tidak terlalu besar karena Core dianggap pasir permukaan. Parameter core seperti massa, massa jenis, volume ditentukan dengan pengukuran langsung. Perhitungan porositas dilakukan dengan merendam Core dengan air. Core yang telah dicetak direndam dengan konsentrasi NaCl yang telah dipersiapkan sebelumnya selama lebih kurang 3 jam (pada jangka waktu ini larutan telah menyaturasi/mengisi seluruh pori-pori sampel). Core yang telah dipersiapkan dirambatkan gelombang elastik (seismik) dan waktu tempuh gelombang pada core diukur. Rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1.

2.4 Pengukuran *Waktu Rambat Gelombang*

Core yang telah dipersiapkan dirambatkan gelombang elastik (seismik) dan waktu tempuh gelombang pada *core* diukur. Rangkaian eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengukuran Waktu Tempuh Gelombang Elastik

Menggunakan prosedur susunan peralatan Gambar 1 didapatkan *time delay* (waktu perambatan gelombang) pada sampel. Pengukuran *time delay* dilakukan dalam dua tahap yaitu:

- Pengukuran *Core* Kering

Pengukuran dilakukan untuk menentukan parameter *core* yang belum disaturasi seperti modulus bulk, modulus young, modulus geser, dan poison rasio sampel asli (belum tersaturasi oleh fluida).

- Pengukuran *Core* Tersaturasi

Core yang telah tersaturasi diuji dengan merambatkan gelombang elastik, dan mengukur waktu rambat (*time delay*) gelombang primer dan sekunder pada *core* yang telah tersaturasi oleh larutan NaCl dengan konsentrasi yang di variasikan.

Time delay yang telah didapat dari pengujian perambatan gelombang elastik pada masing-masing *core* diatas digunakan untuk menentukan kecepatan perambatan gelombang elastik, baik kecepatan gelombang primer (V_p) dan kecepatan gelombang sekunder (V_s), sehingga parameter-parameter elastisitas dari *core* dapat ditentukan.

2.5 Penentuan Parameter Elastik

Parameter elastik ditentukan dengan mengetahui kecepatan perambatan gelombang elastik, gelombang primer (V_p) dan gelombang sekunder (V_s), serta parameter core yang akan diukur. Parameter elastik core dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

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

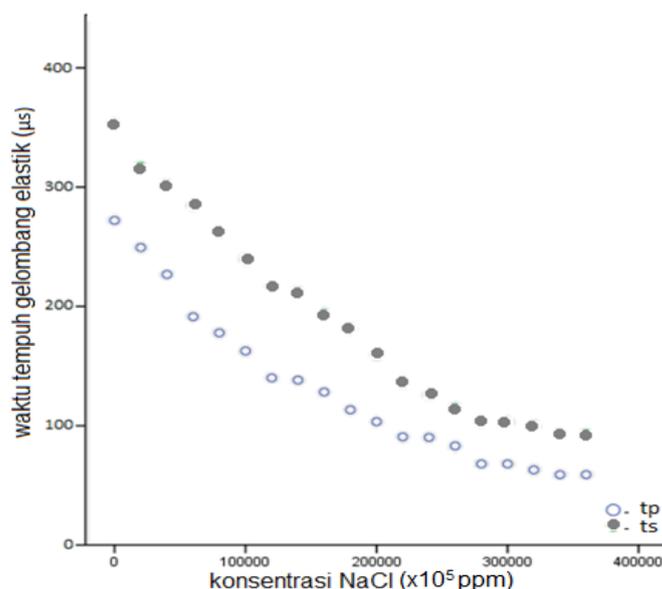
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

$$E = 2 \left(1 + \frac{1 - 2(v_s/v_p)^2}{2 - 2(v_s/v_p)^2} \right) \mu \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan antara Konsentrasi NaCl dan Waktu Tempuh Gelombang Elastik

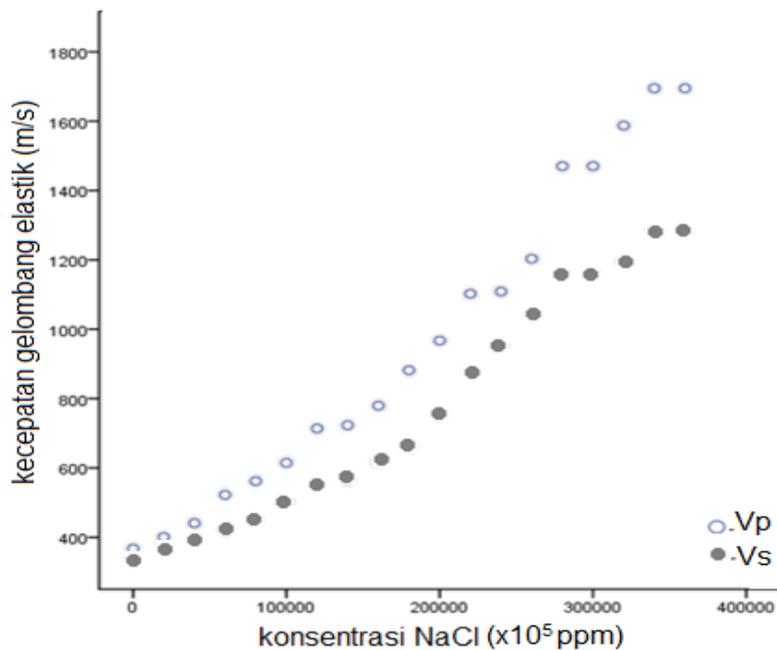
Hubungan antara konsentrasi NaCl dan waktu tempuh (*time delay*) gelombang elastik primer dan sekunder pada core dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat jelas bahwa waktu tempuh berbanding terbalik dengan konsentrasi NaCl. Hal ini karena semakin padat medium, maka waktu tempuhnya akan semakin kecil, kerapatan partikel mempermudah penjalaran vibrasi gelombang. Semakin kecil waktu tempuh berarti semakin baik sifat mekanik dari *core*, dan elastisitanya juga semakin besar.



Gambar 2. Perubahan waktu tempuh terhadap perubahan konsentrasi NaCl

3.2 Hubungan antara Konsentrasi NaCl dan Kecepatan Gelombang Elastik

Hubungan antara Konsentrasi NaCl dan kecepatan gelombang elastik primer dan sekunder pada core dapat dilihat pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa kecepatan gelombang primer lebih besar dari kecepatan gelombang sekunder. Perubahan kecepatan gelombang primer dan sekunder berbanding lurus dengan perubahan konsentrasi NaCl yang disaturasikan pada core. Kecepatan gelombang primer pada sample core tersaturasi telah mendekati referensi kecepatan gelombang primer pada pasir tersaturasi air garam (air laut), yaitu sebesar 1,6-1,8 Km/s (Richardson, 1993). Hal ini dikarenakan semakin besarnya kerapatan partikel larutan yang mempermudah penghantaran vibrasi gelombang.



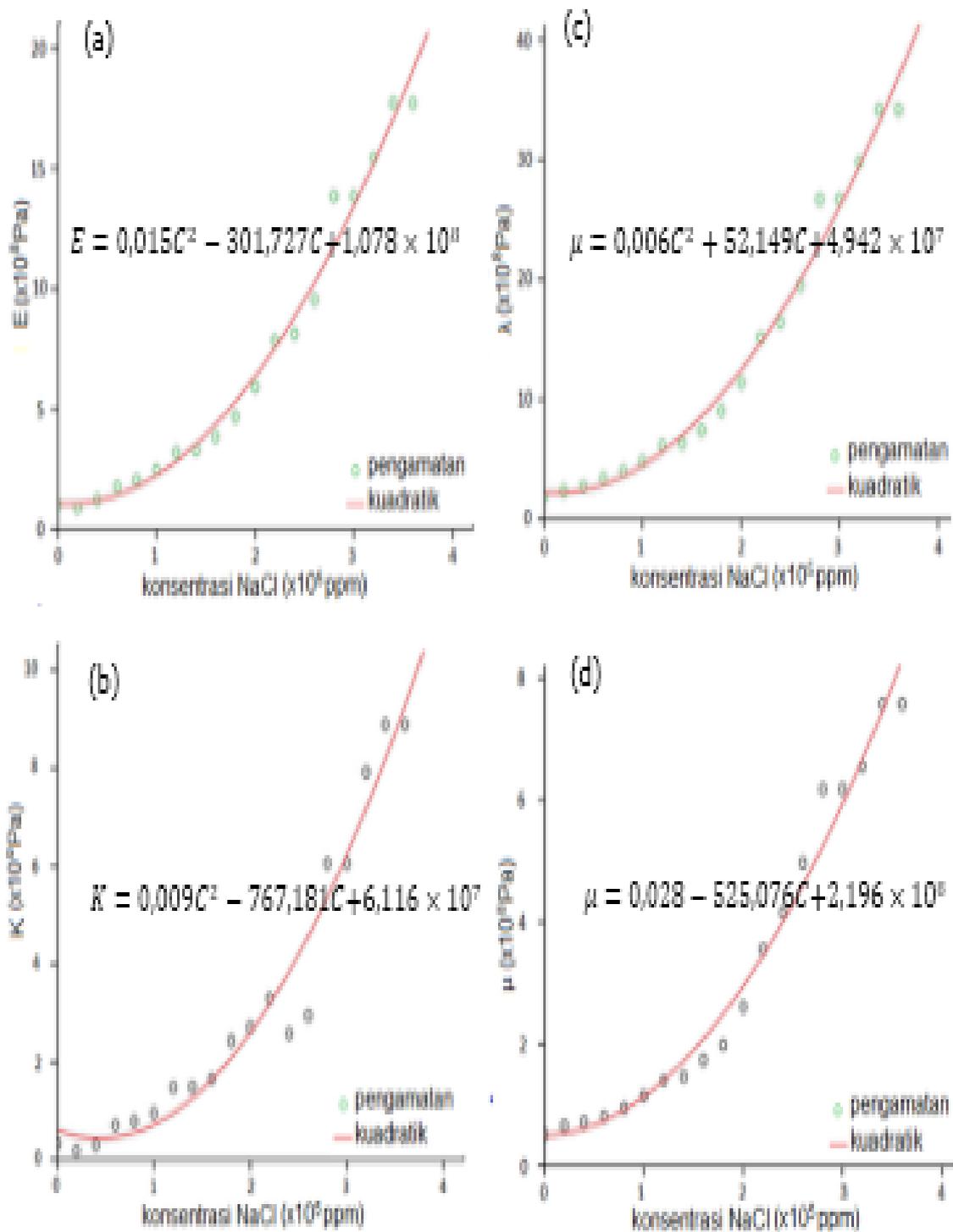
Gambar 3. Hubungan kecepatan gelombang primer dan sekunder terhadap perubahan konsentrasi NaCl

3.3 Hubungan antara Konsentrasi NaCl dan Parameter Elastik

Hubungan antara konsentrasi NaCl terhadap modulus Young dari core dapat dilihat pada Gambar 4. Semakin besar konsentrasi NaCl, maka modulus elastisitas core semakin besar. Hal ini dikarenakan kerapatan partikel yang semakin besar akibat semakin besarnya konsentrasi NaCl, sehingga nilai tekanan yang diperlukan untuk menimbulkan perubahan panjang core semakin besar. Berarti kemampuan core menahan gaya yang diberikan semakin besar (Zemansky, 1994).

Hubungan antara modulus Bulk core terhadap konsentrasi NaCl tidak jauh berbeda dengan modulus young (Gambar 4b). Kedua parameter elastisitas ini merupakan ukuran kemampuan core menahan perubahan tekanan dan mempertahankan keadaan dari core tersebut. Semakin besarnya konsentrasi NaCl menyebabkan semakin besarnya gaya tarik-menarik antar partikel yang menyebabkan kemampuan core untuk mempertahankan volumenya saat menerima tekanan semakin besar. Hal ini disebabkan karena larutan NaCl merupakan larutan elektrolit yang dapat memperkuat gaya tarik menarik tersebut (Sudjiyanto, 2003). Terlihat bahwa hubungan antara modulus Bulk dan konsentrasi NaCl pada titik-titik pengamatan

mendekati bentuk kurva persamaan kuadrat. Hal ini dikarenakan hubungan antara kecepatan gelombang elastik dan modulus Bulk merupakan hubungan kuadrat.



Gambar 4. Hubungan antara perubahan parameter elastisitas terhadap perubahan konsentrasi NaCl: (a) modulus Young, (b) modulus Bulk, (c) modulus Shear, dan (d) konstanta Lamé.

Perubahan modulus geser terhadap perubahan konsentrasi NaCl juga tidak jauh berbeda dengan kedua parameter elastisitas sebelumnya (Gambar 4c). Modulus geser merupakan kemampuan suatu material untuk menahan perubahan bentuk saat menerima gaya geser. Semakin kuatnya gaya kohesi antara partikel sejenis yang ditimbulkan karena semakin besarnya konsentrasi NaCl yang menyaturasi *core* menyebabkan kemampuan *core* untuk mempertahankan keadaan saat menerima gaya geser semakin besar, dengan kata lain perbandingan antara tegangan geser dan regangan geser *core* semakin besar. Oleh sebab itu semakin besar konsentrasi, modulus Geser *core* akan semakin besar pula (Wang 1998; Sun et al., 2015).

Hubungan antara konsentrasi NaCl terhadap Konstanta Lamé dari sampel *core* dapat dilihat pada Gambar 4d. Nilai Konstanta Lamé juga sebanding dengan konsentrasi NaCl. Semakin besar konsentrasi NaCl maka konstanta Lamé juga akan semakin besar. Konstanta Lamé memiliki kesamaan dengan modulus Bulk. Konstanta Lamé juga merupakan kemampuan suatu material untuk mempertahankan keadaan saat material tersebut menerima tekanan dari luar (Sun et al., 2015).

Semua pembahasan diatas, maka jelas terlihat semua parameter elastisitas yang di dapatkan berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi NaCl. Semakin besar konsentrasi larutan yang menyaturasi sampel maka elastisitas sampel akan semakin besar (al Hagre & Müller, 2000). Parameter elastisitas *core* kering lebih besar dari pada *core* tersaturasi, hal ini dikarenakan adanya gaya tarik menarik antara pasir ketika *core* diberi tekanan. Kecepatan gelombang yang diukur mendekati referensi kecepatan gelombang primer pada pasir tersaturasi air garam (air laut), yaitu sebesar 1,6-1,8 Km/s (Richardson, 1993), dimana kadar NaCl pada air laut berkisar sekitar 3% (300000 ppm). Sedangkan pada hasil pengukuran kecepatan gelombang pada *core* tersaturasi NaCl dengan konsentrasi 300000 ppm adalah sebesar 1764,706 m/s. Dari perbandingan diatas didapatkan persen kesalahan 9,29%. Perbedaan dikarenakan pada airlaut tidak hanya terdapat NaCl, tetapi juga terdapat unsur-unsur lain. Banyaknya unsur lain ini mengakibatkan banyaknya perbedaan densitas pada *core* yang mampu mempengaruhi perambatan gelombang elastik.

Selain itu kecepatan gelombang elastik juga ditentukan oleh densitas dan tekanan. Konsentrasi senyawa lain menyebabkan perbedaan densitas pasir tersaturasi air laut dan pasir tersaturasi larutan NaCl. Perbedaan tekanan juga mempengaruhi kecepatan gelombang elastik, jika semakin besar tekanan maka kerapatan partikel dan porositas pasir juga akan semakin besar (Gal, 1998; al Hagre & Müller, 2000). Sedangkan untuk parameter elastisitas nilainya berbanding lurus dengan kecepatan gelombang elastik. Ruang lingkup yang lebih luas aplikasinya dapat dilihat pada besarnya nilai salinitas air laut dan pengaruhnya terhadap elastisitas pasir yang ada dipantai. Sebagian besar dari garam yang terdapat dilaut di dominasi oleh NaCl, maka semakin besar salinitas berarti konsentrasi NaCl juga semakin besar dan elastisitas pasir dipantai yang menyerap air laut tersebut juga semakin besar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis *core* pasir yang disaturasi larutan NaCl dengan konsentrasi yang divariasikan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

1. Waktu tempuh gelombang seismik pada *core* berbanding terbalik dengan konsentrasi NaCl yang disaturasikan, sedangkan kecepatannya berbanding lurus. Semakin besar konsentrasi NaCl, maka waktu tempuh gelombang semakin kecil dan kecepatan gelombang seismik akan semakin besar.

2. Nilai parameter elastis *core* berbanding lurus dengan konsentrasi NaCl yang disaturasikan. Semakin besar konsentrasi NaCl semakin elastis *core*.
3. Hubungan antara parameter elastisitas dan konsentrasi NaCl membentuk hubungan kuadrat sesuai dengan hubungan antara kecepatan gelombang elastik dan parameter elastik *core*.
4. Parameter elastisitas *core* kering lebih besar daripada *core* tersaturasi, hal ini disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara pasir lebih besar ketika *core* tidak disaturasi oleh larutan.
5. Perbedaan kecepatan gelombang elastik pada pasir tersaturasi larutan NaCl dan air laut disebabkan karena pada air laut terdapat beberapa senyawa lain selain NaCl dimana banyaknya jenis senyawa ini menyebabkan perbedaan densitas yang dapat mempengaruhi perambatan gelombang elastik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas fasilitas yang diberikan Kelompok Fisika Bumi, urusan Fisika Universitas Riau atas fasilitas laboratorium yang diberikan. Paper ini juga didedikasikan kepada Alm Dr. Muhammad Edisir, MT selaku pembimbing selama penelitian berlangsung.

DAFTAR RUJUKAN

- Ahied, M. (2010). Konversi Konstanta Elastik Dinamik ke Statik pada Porositas Hidrokarbon Berpasir (*Sandstone*), *Rekayasa*, 3(2), 137-141.
- al Hagre, S. A., & Müller, C. (2000). GPR study of pore water content and salinity in sand, *Geophysical Prospecting*, 48, 63–85.
- Biot, M. (1998). Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid Saturated Porous Solid. I Low Frequency. *Geophysics Reprint Series*, 10, 393-397.
- Davis, R., Selvadurai, A. (1996). *Elasticity and Geomechanics*. Cambridge University Press: Newyork.
- Kang, M., & Lee, J. S. (2015). Evaluation of the freezing – thawing effect in sand – silt mixtures using elastic waves and electrical resistivity. *Cold Regions Science and Technology*, 113, 1–11.
- Li, M., Chai, S., Du, H., & Wang, C. (2016). Effect of chlorine salt on the physical and mechanical properties of inshore saline soil treated with lime. *Soils and Foundations*, 56(3), 327–335.
- Qadafi, M., Amin, B., Edisar, M. (2015). Analisis kelayakgunaan air tanah dalam ditinjau dari aspek kualitas dan geologi lingkungan di Kota Tembilahan, Indragiri Hilir. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2), 131-142.
- Richardson, M., Brigs, K. (1993). Empirical Predictions of Seafloor Properties Based on Remotely Measured Sediment Impedance. Marine Geosciences Division, Naval Research Laboratory, Stennis Space Center MS 39529-5004.
- Sudjiyanto, A. (2003). "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Garam Dapur (NaCl)". Jurusan Teknik Sipil Universitas Widyagama: Malang.
- Sun, Q., Li, D., & Wang, S. (2015). Test on triaxial shear of artificial frozen saline sand. *Coal Technol*, 34(4), 105–107.
- Wang, Z., Nur, A. (1998). Elastic Wave Velocities in Poursous Media. *Geophysic Reprint Series*, 10, 233-239.
- Xu, X., Wang, Y., Bai, R., Zhang, H., & Hu, K. (2016). Effects of sodium sulfate content on mechanical behavior of frozen silty sand considering concentration of saline solution. *Results in Physics*, 6, 1000–1007.

Muammar Qadafi, Usman Malik

Zemansky. S. (1994). Fisika untuk Universitas 1. Binacipta: Jakarta.