

STUDI FAKTOR KUALITAS (Q-FACTOR) GELOMBANG KOMPRESI (P-Wave) PADA BATUAN SEDIMEN DANGKAL

SUTOPO

Abstrak : Atenuasi gelombang seismik adalah proses pengurangan energi gelombang seismik yang diakibatkan oleh penyebaran dan penyerapan. Besarnya atenuasi perambatan gelombang seismik dapat ditentukan berdasarkan harga faktor Q. Besar kecilnya faktor Q merupakan kemampuan batuan untuk meloloskan energi gelombang seismik yang merambat padanya. Semakin besar harga faktor Q maka semakin besar pula kemampuan batuan untuk meloloskan energi gelombang seismik. Penelitian ini, dimaksudkan untuk mengkaji perilaku gelombang P dalam usaha untuk mengestimasi sifat fisik berdasarkan harga Q masing-masing batuan menggunakan gelombang seismik bias yang direkam dipermukaan. Penelitian dilakukan pada tiga lokasi yang berbeda. Lokasi pertama di kampus Universitas Sriwijaya, sedangkan lokasi kedua merupakan lokasi batuan tidak kompak dalam hal ini adalah tanah urugan, dan lokasi ketiga adalah batuan kompak. Metode yang dipakai untuk penentuan faktor Q dalam penelitian ini adalah metode spektral ratio, sehingga sebelum data dianalisa, dilakukan terlebih dahulu transformasi dari domain waktu ke domain frekuensi dengan metode FFT. Dari hasil perhitungan dan analisis data, secara nyata dapat membedakan tingkat kekompakan maupun kandungan fluida batuan sedimen dekat permukaan. Pada lokasi kampus Universitas Sriwijaya nilai faktor kualitas (Q) antara 41.85-45.27. Sedangkan untuk batuan tidak kompak antara 24.0-27.0, dan untuk batuan kompak harga Q faktor adalah antara 88.2-90.59.

Kata kunci : Gelombang P, Atenuasi, Faktor Kualitas, Metoda Spektral Ratio

Abstract : Attenuation is process of reducing the energy of seismic waves caused by spreading and absorption. The attenuation depends on Q factor value. The value of Q factor is the capability of rocks to blow off the seismic waves which come over it. If Q factor is big so the capability of rocks to escape the energy is big too. The objective of the research is to learn behavior of P waves for estimates physical properties, based on Q factor value, by using refraction seismic wave recorded on the surface. The research has been carried out at three locations having different lithologies. The first location is an campus of Sriwijaya University, the second is unconsolidated rocks, the third is consolidated rocks. The research use the ratio spectral method. In this method before doing data analysed, it do the transformation process from time domain to frequency domain using FFT. The result of calculation and analysis data, show that the differences are significant in terms of both this level of compactness and fluid content of those near sedimentary rocks. At the location campus of Sriwijaya University the value Q factor is between 41.85-45.27, whereas for the unconsolidated rocks between 24.0-27.0 and for consolidated rocks the value Q factor is between 88.2-90.59

Key Word : P-Wave, Atenuation, Quality Factor (Q-factor). Ratio Spectral Method,

1. PENDAHULUAN

Metode seismik merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam bidang Geofisika Eksplorasi. Disamping dipakai untuk melokalisir keberadaan sumber daya alam, metode seismik

khususnya metode seismik refraksi juga dapat diaplikasikan dalam bidang geoteknik (rekayasa) dan lingkungan.

Studi bawah permukaan dengan menggunakan parameter kecepatan rambat gelombang seismik sudah banyak dilakukan (Tycheu, 1990 ; Lankston, 1990, Sutopo., 2003), pada kenyataannya beberapa batuan mempunyai kecepatan yang sama tetapi lithologi dan jenis yang berbeda, sehingga efek *ambiguitas* akan terjadi ketika akan diinterpretasikan struktur batuan bawah permukaan tersebut.

Teknik menggunakan parameter lain untuk studi bawah permukaan masih terus dikembangkan sampai sekarang, seperti studi mengenai perbandingan gelombang P dan gelombang S untuk keperluan eksplorasi (Garrota., 1982). Disamping hal tersebut diatas, parameter yang dapat digunakan dan masih dikembangkan untuk analisis data seismik lanjut adalah parameter *atenuasi*, dimana parameter ini akan lebih sensitif dibandingkan dengan kecepatan pada kasus-kasus bawah permukaan tertentu, terutama pada kasus batuan yang tersaturasi air (*water saturated rocks*) (Dvorkin,J., G. Mavko, and A. Nur., 1979,

Parra Jorge O., 2000, Sutopo dan Awali, 2003).

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari perilaku gelombang P (*P-wave*), khususnya aspek kecepatan dan redamannya (*atenuasi*) yang dikaitkan dengan estimasi sifat fisik batuan bawah permukaan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

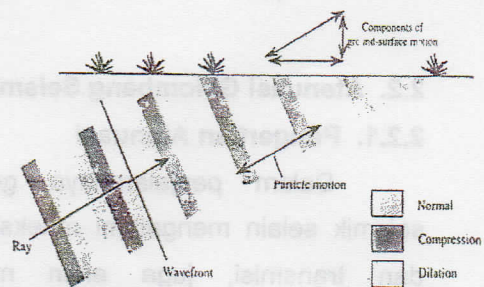
2.1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik disebut juga *gelombang elastik* karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara gaya gangguan (*gradien stress*) melawan gaya elastik.

Berdasarkan cara bergetarnya gelombang seismik dibedakan atas dua tipe, yaitu *Gelombang longitudinal* atau gelombang P (*pressure*) dan *gelombang transversal* yang disebut juga gelombang S (*shear*).

2.1.1. Gelombang P

Gelombang ini menginduksi gerakan partikel medium dalam arah paralel dengan arah propagasi gelombang (gambar 1.).



Gambar. 1. Bentuk pergerakan partikel-partikel pada gelombang P (H. R. Burger, 1992)

Kecepatan gelombang P dapat dituliskan sebagai berikut :

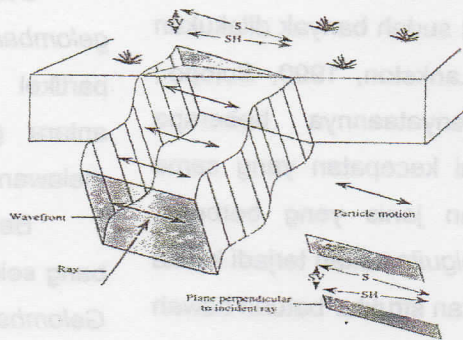
$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (1)$$

dimana λ adalah konstanta lame (Pa) , μ : rigiditas (Pa) dan ρ : rapat massa (kg/m^3)

2.1.2. Gelombang S (shear)

Gelombang ini arah getar partikel-partikel medium tegak lurus terhadap arah

penjalarannya. Berdasarkan bidang penjalarannya, gelombang S dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu : apabila arah getar terpolarisir pada bidang vertikal saja maka gelombang tipe ini disebut **gelombang S_V** (*Shear Vertical*), sedangkan apabila arah getarnya terpolarisir pada bidang horisontal maka gelombang tipe ini dinamakan **gelombang S_H** (gambar 2).



Gambar.2. Bentuk pergerakan partikel-partikel pada gelombang S (H. R. Burger, 1992)

Secara umum kecepatan gelombang S dapat dituliskan sebagai berikut :

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

2.2. Atenuasi Gelombang Seismik

2.2.1. Pengertian Atenuasi

Dalam penjalarannya gelombang seismik selain mengalami refleksi, refraksi dan transmisi, juga akan mengalami atenuasi atau peredaman oleh medium batuan bawah permukaan (*subsurface*), hal ini disebabkan karena adanya disipasi

energi gelombang seismik oleh medium batuan yang dilalui oleh gelombang seismik.

Atenuasi gelombang seismik adalah proses pengurangan energi gelombang akibat penyerapan dan penyebaran. Pengaruh atenuasi terhadap sinyal seismik terlihat pada menurunnya amplitudo dan melebarnya sinyal, karena medium yang dilewati gelombang seismik berbeda-beda maka penyerapan frekuensi oleh medium tersebut tidak sama rata.

2.2.2. Faktor Kualitas Seismik (Q)

Dalam banyak kasus, pengukuran atenuasi batuan dapat dinyatakan dengan faktor kualitas (Q) dan invers Q^{-1} (*dissipation factor*).

Disipasi energi didefinisikan sebagai penurunan energi perpanjang gelombang. Faktor disipasi energi (Q^{-1}) mencerminkan kecepatan konversi energi mekanik didalam gelombang yang diubah menjadi panas.

Panas yang hilang per periode dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{2\pi}{Q} \tag{3}$$

Ukuran disipasi energi gelombang seismik dinyatakan oleh hubungan, sebagai berikut:

$$Q^{-1} = \frac{\Delta E}{2 \pi E} \tag{4}$$

dimana :

- Q : Faktor kualitas seismik (*seismic quality factor*)
- E : Nilai maksimum dari energi elastis persatuan panjang gelombang (joule/meter)
- ΔE : Energi hilang (terdisipasi) persiklus panjang gelombang (joule/meter)

Johnston dan Toksoz, 1981, mendefinisikan faktor kualitas (Q) yang dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{\alpha V}{\pi f} \tag{5}$$

Dengan δ adalah penyusutan logaritmik yang besarnya dapat dihitung melalui persamaan rasio amplitudo dari beda posisi sejauh satu panjang gelombang λ ,

$$\delta = \ln \left[\frac{A(x)}{A(x+\lambda)} \right] = \alpha \lambda = \alpha \left(\frac{V}{f} \right) \tag{6}$$

Dalam hal ini V adalah kecepatan penalaran gelombang dalam medium dan f adalah frekuensi gelombang, dengan mensubstitusi persamaan (5) ke persamaan (6) yang dituliskan sebagai berikut :

$$Q = \frac{\pi f}{\alpha V} \tag{7}$$

Rumus diatas merupakan penyederhaan dari perumusan yang lebih umum yang berlaku untuk $Q < 100$. (O'Connel and Budiansky, 1978; Hamilton, 1972):

$$Q^{-1} = \frac{\alpha V}{\left(\pi f - \frac{\alpha^2 V^2}{4\pi\pi} \right)} \tag{8}$$

Dengan : Q adalah Faktor kualitas seismik, α koefisien Atenuasi, f frekuensi gelombang dan v Kecepatan penalaran gelombang dalam medium

2.2.3. Metoda Perhitungan Faktor Kualitas

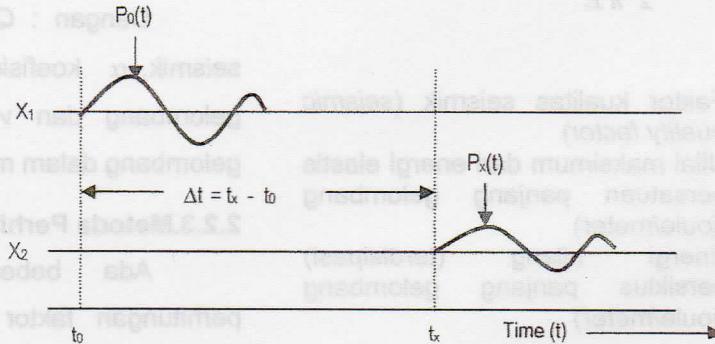
Ada beberapa metoda dalam perhitungan faktor kualitas , antara lain didasarkan atas perubahan amplitudo terhadap frekuensi pada pulsa seismik. Komponen frekuensi tinggi akan berkurang secara cepat dengan pertambahan waktu penalaran. Metoda ini telah digunakan Mc Donald *et al* (1958) dan Badri and Mooney (1987), Metoda ini sering disebut sebagai metoda perbandingan spektral (*spectral ratio*). Pendekatan kedua didasarkan peluruhan amplitudo terhadap jarak, dengan

terlebih dahulu dikoreksi dengan geometrical spreading, metoda ini digunakan oleh De Braemaeker., et al (1966) dan Badri & Mooney (1987) metoda ini disebut sebagai metoda amplitude decay. Pendekatan lain dalam perhitungan atenuasi adalah dengan mengukur perubahan lebar pulsa terhadap jarak atau waktu tempuh penjalaran gelombang seismik, metoda ini telah digunakan oleh Hatherly (1986) metoda ini disebut metoda rise-time. Priyono, et al (1991) telah menguji metoda-metoda yang disebutkan diatas dengan data sintetik. Hasil menunjukkan bahwa metoda spektral ratio memberikan ketelitian yang baik, tetapi metoda ini sangat sensitip terhadap pemotongan signal, bandwidth yang dipakai

dalam perhitungan atenuasi dan pengaruh bising. Amplitude decay kurang memberikan ketelitian yang baik. Sedangkan metoda rise-time sebenarnya memiliki kelebihan bahwa metoda ini dapat menghindari faktor interferensi, tetapi sangat bergantung pada konstanta empiris yang digunakan.

Metode spektral ratio pada hakekatnya adalah membandingkan spektrum disuatu tempat $A_1(\omega)$ terhadap amplitudo di satu referensi $A_2(\omega)$, gambar 3.

$$B(\omega) = \frac{A_1(\omega)}{A_2(\omega)} \tag{9}$$



Gambar. 3. Menunjukkan dua pulsa seismik dengan beda jarak $x_1 - x_2$ dalam domain waktu (Hauge, Paul S., 1981)

Sementara secara umum

$$A(\omega) = G(x)A_0(\omega)e^{-\alpha(\omega)x} \tag{10}$$

dengan catatan $G(x)=1/x$ adalah faktor geometri maka :

$$A_1(\omega) = G(x_1)A_0(\omega)e^{-\alpha(\omega)x_1} \tag{11}$$

$$A_2(\omega) = G(x_2)A_0(\omega)e^{-\alpha(\omega)x_2} \tag{12}$$

yang dapat dituliskan menjadi :

$$\ln [B(\omega)] = \ln [B_0(\omega)] - \frac{\pi f t}{2Q} \tag{13}$$

Dengan demikian faktor kualitas dapat dihitung dari :

$$Q = \frac{\pi t}{\beta} \quad (14)$$

dimana :

- Q : Faktor kualitas seismik (*seismic quality factor*)
- t : Waktu penjalaran dari x_1 ke x_2
- β : kemiringan

3. METODOLOGI PENELITIAN

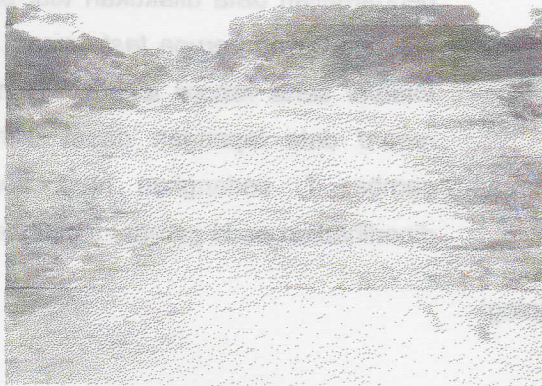
3.1. Peralatan Survai Lapangan

Peralatan utama survai yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1 Unit seismograph Geometrics SmartSeis™ S12
- Geophone 12 buah
- Hammer, Coupling Plate, Take out cable

3.2. Lokasi Penelitian

1. Kampus UNSRI Inderalaya OI (Gambar. 4).
2. Lokasi batuan tidak kompak (*tanah urugan*) (Gambar 5).
3. Batuan Kompak (gambar 6)



Gambar.4.Lokasi penelitian di Kampus UNSRI Indralaya Sum-Sel



Gambar.5. Lokasi Batuan Tidak Kompak (Tanah Urugan)



Gambar.6. Lokasi Batuan kompak

3.3. Prosedur Pengolahan Data

3.3.1. Estimasi Kecepatan Gelombang P

Estimasi kecepatan dilakukan dengan bantuan Program Winsism 7 buatan W-

Geosoft Geological & Geophysical Software dengan langkah sebagai berikut :

- Konversikan format SEG-2 ke SU
- Picking First break masing-masing trace

- Baca kedatangan gelombang pertama (*First arrival*)
- Buat kurva travel time antara Jarak dengan waktu tempuh
- Hitung slope kurva diatas untuk menentukan kecepatan gelombang P.
- Lakukan prosedur diatas untuk litologi yang berbeda

3.3.2. Estimasi Harga Faktor Kualitas Gelombang P (Q_P)

Estimasi Nilai Q_P dilakukan dengan berbantuan Program MATLAB. 6.1, langkah-langkahnya sebagai berikut :

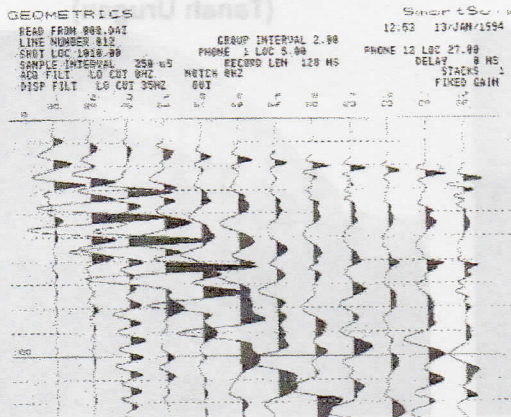
- Konversikan dari format SU ke Ascii
- Lakukan FFT untuk mengubah dari domain waktu ke domain frekuensi
- Hitung nilai Q_P dengan menggunakan metoda *spectral ratio*.
- Lakukan prosedur diatas untuk litologi yang berbeda

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

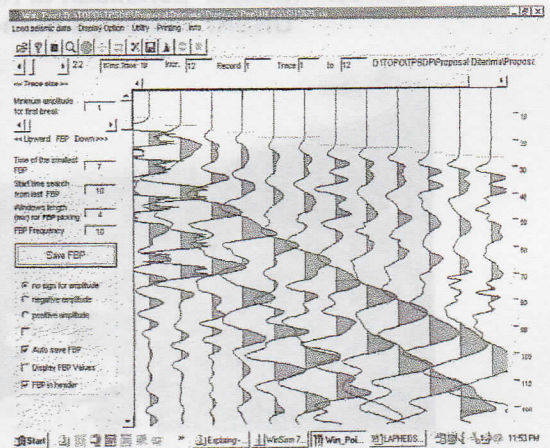
4.1. HASIL

4.1.1. Lokasi Kampus UNSRI Indralaya

Pada lintasan seismik ini (gambar.4.), lokasi penelitian berada di areal kampus UNSRI Indralaya OI. Pengambilan data dilakukan dengan 5 kali penembakan, yang terdiri dari 2 tembakan maju (*off-end forward*) dan 2 tembakan mundur (*off-end reverse*), dan 1 tembakan tengah (*symitrical split spread*) dengan *near offset* 8 dan 4 m serta interval geopon 2 m. Sebelum pengambilan data dilakukan test parameter lapangan yang berupa *test noise*, *sampling interval* serta *record length*. Contoh *shot record* data lapangan dapat dilihat pada gambar 7, sedangkan hasil *pempick-an* diperlihatkan pada gambar 8 dibawah ini



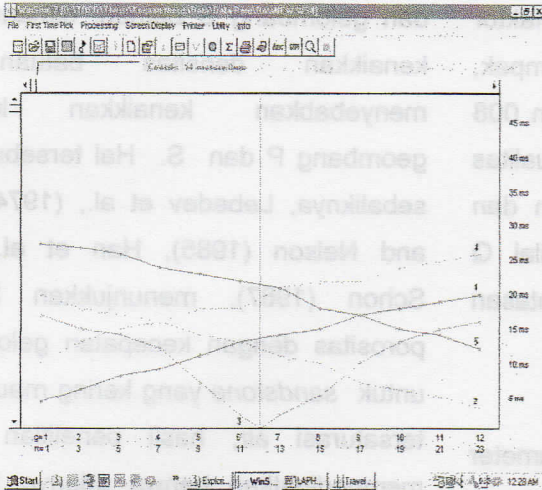
Gambar.7. Shot record data lapangan



Gambar.8. Hasil Pempick-an data lapangan

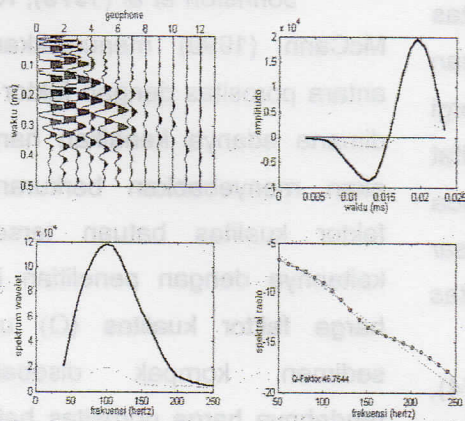
Dari analisa kurva waktu tempuh (gambar 9) didapat pada lokasi ini terdapat dua lapisan, masing-masing untuk kece-

patan gelombang pada lapisan pertama antara 689-713 m/det, dan lapisan kedua antara 975-1200 m/det .



Gambar 9. Kurva waktu tempuh untuk lokasi di areal kampus UNSRI Indralaya

Harga faktor kualitas gelombang P (Q_p) pada lokasi penelitian ini ditentukan berdasarkan analisis spektrum dengan metode spektral ratio, contoh hasil hasil perhitungan dapat diperlihatkan pada gambar 10, hasil perhitungan tersebut didapatkan harga Q_p rata-rata pada lapisan pertama untuk lintasan 008 adalah 41,85 dan lintasan 011 adalah 45,27. Untuk lapisan kedua harga Q_p adalah 85,63 untuk lintasan 008 dan 89,71 untuk lintasan 011.



Gambar. 10. Contoh Hasil perhitungan Q dengan metode spektral ratio

4.1.2. Batuan Tidak Kompak (*Tanah Urugan*)

Pada lintasan seismik ini (gambar 8.), lokasi penelitian berupa tanah urugan untuk pembuatan kompleks perumahan Jakabaring Kodya Palembang Sumatera Selatan. Pengambilan data dilakukan dengan 4 kali tembakan , yang terdiri dari 2 tembakan maju dan 2 tembakan mundur, dengan *near offset* 4 dan 8 m serta interval geopon 1 m. Pada lokasi ini terdapat dua lapisan, harga kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama antara 182-235 m/det, dan lapisan kedua antara 292-324 m/det. Harga faktor kualitas gelombang P (Q_p) untuk batuan sedimen tidak kompak harga Q_p rata-rata pada lapisan pertama untuk lintasan 001 adalah 27,0 dan lintasan 003 adalah 24,0,. Pada lapisan kedua harga Q_p adalah 48,0 untuk lintasan 001 dan 51,0 untuk lintasan 003.

4.1.3. Batuan Sedimen Kompak

Pada lintasan seismik ini (Gambar 9), pengambilan data dilakukan dengan 7 kali tembakan yang terdiri dari 3 tembakan maju (*off-end foward*), 1 tembakan tengah (*split spread*) dan 3 tembakan mundur (*off-end reverse*) dengan *near offset* 4 m, 8 m, dan 12 m, sedangkan interval geopon adalah 2 m.

Dari analisis kurva waktu tempuh didapat estimasi harga kecepatan masing-masing lapisan, kecepatan pada lapisan pertama bervariasi antara 701 m/det – 859 m/det, sedangkan lapisan kedua rata-rata 1157 m/detik.

Untuk penentuan harga faktor kualitas pada batuan sedimen kompak, lintasan yang diambil adalah lintasan 008 dan 012, Penentuan nilai faktor kualitas gelombang P (Q_p), hasil perhitungan dan analisis didapat bahwa rata-rata nilai Q pada lintasan 008 adalah 88,2 dan lintasan 012 adalah 90,59.

4.2. PEMBAHASAN

Kecepatan salah satu parameter yang sangat penting dalam penjalaran gelombang seismik, besarnya kecepatan ditentukan oleh jenis gelombang dan sifat fisik medium. Kemampuan batuan untuk merambatkan gelombang seismik sangat tergantung dari sifat elastis, rapat massa serta derajat isotropik medium batuan tersebut, sifat-sifat itu sendiri sangat tergantung dari geologi dimana batuan itu berada.

Disamping parameter kecepatan faktor lain yang juga sangat membantu dalam analisis lanjut sifat fisik batuan yaitu faktor redaman (*atenuasi*) yang diimplementasikan dalam faktor kualitas batuan. Besar kecilnya harga Q merupakan sifat fisik batuan dalam meloloskan energi yang dipancarkan dari sumber seismik, sifat ini diduga disebabkan faktor-faktor yang ada dalam batuan seperti *porositas, besar butiran, kerapatan, saturasi fluida, viskositas fluida, tekanan* dan lain-lain.

Hasil penelitian Gardner *et al* (1974), Dortman (1976), Gebrande (1982), menunjukkan adanya hubungan antara densitas dengan kecepatan gelombang P

dan gelombang S batuan, dimana adanya kenaikan densitas batuan akan menyebabkan kenaikan kecepatan gelombang P dan S. Hal tersebut berlaku sebaliknya, Lebedev *et al.*, (1974), Hearst and Nelson (1985), Han *et al.*, (1986), Schon (1987), menunjukkan hubungan porositas dengan kecepatan gelombang P untuk *sandstone* yang kering maupun yang tersaturasi air, hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa adanya kenaikan harga porositas batuan akan menyebabkan penurunan kecepatan gelombang P.

Dalam hubungannya dengan penelitian ini kecepatan gelombang P untuk batuan sedimen kompak lebih tinggi dibandingkan dengan batuan sedimen tidak kompak (*tanah urugan*) hal tersebut disebabkan batuan sedimen kompak mempunyai harga porositas yang rendah dan harga densitas yang tinggi, sebaliknya untuk batuan sedimen tidak kompak mempunyai porositas yang tinggi dan densitas yang rendah.

Johnston *et al* (1979), Klimentos and McCann (1990) menunjukkan hubungan antara porositas dengan faktor kualitas (Q), dimana adanya kenaikan harga porositas akan menyebabkan berkurangnya harga faktor kualitas batuan tersebut. Dalam kaitannya dengan penelitian ini, tingginya harga faktor kualitas (Q) untuk batuan sedimen kompak disebabkan oleh rendahnya harga porositas batuan tersebut dibandingkan dengan batuan sedimen tidak kompak.

Sementara untuk lokasi batuan kompak dan lokasi kampus UNSRI Indralaya, apabila dilihat dari kecepatan maka dapat dilihat bahwa harga kecepatan pada dua lokasi ini *relative* sama, tetapi apabila dilihat dari harga faktor kualitas, lokasi batuan kompak mempunyai nilai faktor kualitas yang lebih besar dibandingkan dengan lokasi kampus UNSRI, adanya derajat saturasi air pada lokasi kampus UNSRI ditunjukkan dengan hasil perhitungan faktor kualitas (Q) pada lapisan tersebut, dimana harga Q rendah yang berarti gelombang akan teredam (teratenuasi) sangat kuat, hal tersebut dikarenakan dalam batuan jenuh (tersaturasi) gelombang akan teredam lebih besar daripada dalam batuan kering, tingkat pelemahan yang terjadi juga dipengaruhi oleh derajat kejenuhan dan tipe fluida saturan (Winkler and Nur 1982), jadi dapat dikatakan bahwa perbedaan harga faktor kualitas dari kedua lokasi penelitian ini disebabkan oleh adanya saturasi air didalam batuan penyusun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil eksperimental dilapangan dengan menggunakan metode refraksi gelombang P dapat dihasilkan dengan baik, hal tersebut ditunjukkan dengan respon yang terekam dari gelombang P .
2. Dari hasil eksperimental seismik dilapangan menunjukkan bahwa kecepatan dan faktor kualitas (Q) gelombang P secara nyata dapat membedakan tingkat kekompakan maupun kandungan fluida batuan.

5.2. Saran

1. Pengambilan data *coupling* geophone harus diusahakan tertancap dengan baik hal tersebut agar spektrum yang dihasilkan tidak terinterferensi yang dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan harga faktor kualitas.
2. Untuk *crosscheck* hasil interpretasi sebaiknya disertakan data Bor.

DAFTAR PUSTAKA

- Dobrin, M. B., (1976) *Introduction to Geophysical Prospecting*, McGraw-Hill.
- Garrota R., 1982, *Comparison Between P, SH, SV and Converted Waves, Compacnie Generale de Geophysique*, Technical Series No. 521. 82.08
- Geertsma J. and D.C. Smit., (1961), *Some Aspects of Elastic Wave Propagation in Fluid-Saturated Porous Solids*, Geophysics, Vol XXVI. P 169-181.
- Khairy H & Bagus E N., 2003, *Relating Bulk Modulus and P-Wave Attenuation to Permeability in Reservoir Sand*. Joint Convention Jakarta 2003 (JCJ-2003)
- Mavko, G., and A. Nur.,(1979), *Wave Atenuation in Partially Saturated Rocks*, Geophysics, Vol 44 P. 161-178
- O'Connel, R.J. and Budiansky, B., (1977). *Viscoelastic Properties of Fluid-Saturated Cracked Solids*, J.Geophys.Res. 82. 5719-5735.

Sutopo., 2003. *Studi Konstanta Elastis dan Faktor Kualitas (Q-faktor) Berbagai Batuan Sedimen Dekat Permukaan Menggunakan Gelombang P dan SH.* (thesis) Departemen Geofisika dan Meteorologi ITB.

Sutopo & Awali P., 2003. *Studi Gelombang P dan SH dari Data Refraksi pada Lapisan Jenuh Air.* Joint Convention Jakarta 2003 (JCJ-2003). IAGI-HAGI, Jakarta.

Tychen, R. W., 1990. *High Resolution Refraction Seismic and Acquisition and Interpretation, Geotechnical and Enviromental Geophysics,* Society of Exploration Geophysicist, No. 5.

Priyono . A. dan W. Triyoso., (1991) *Estimasi Parameter Redaman Gelombang Seismik Dalam eksplorasi Geofisika,* Lembaga Penelitian_ITB.

DAFTAR PUSTAKA

Dobson, M. B. (1978) Introduction to Geophysical Prospecting, McGraw-Hill.
Gardner, F. (1952) Comparison Between P, SV, SH, and Converted Waves, Geophysical Technical Series No. 52, 1-52.
Geddes, J. and D.C. Smit., (1981) Some Aspects of Elastic Wave Propagation in Fluid-Saturated Porous Solids, Geophysics, Vol. XXVI, P. 169-181.
Khalil, H. & Ragus, E. N., 2003, Relation Bulk Modulus and P-Wave Attenuation to Permeability in Reservoir Sand. Joint Convention Jakarta 2003 (JCJ-2003)
Mavko, G., and A. Nur. (1977). Wave Attenuation in Partially Saturated Rocks, Geophysics, Vol. 44, P. 164-178
O'Connell, R.J. and Budiansky, B., (1977). Viscous Flow Properties of Fluid Saturated Cracked Solids, J. Geophys. Res. 82, 5719-5735.

2. KESIMPULAN DAN SARAN

2.1. Kesimpulan
Dari analisis dan pemrosesan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:
1. Hasil eksperimental didapatkan dengan menggunakan metode refleksi gelombang P dapat dihasilkan dengan baik hasil tersebut ditunjukkan dengan respon yang terlokasi dan gelombang P.