

STUDI PENGARUH POROSITAS DAN SATURASI AIR TERHADAP PARAMETER MODULUS BULK BERDASARKAN DATA SEISMIK REFRAKSI DI DAERAH SOEKARNO HATTA PALEMBANG

YOSIEGUSPA*

*Dosen Tetap Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam OKI kayuagung

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh porositas dan saturasi air terhadap parameter Modulus Bulk berdasarkan data seismik. Penelitian ini berlokasi pada daerah perencanaan pembangunan kawasan industri dan perumahan di daerah Soekarno Hatta Palembang. Model penembakan dengan cara pemukulan coupling plate serta letak geophone dalam arah vertikal dan horizontal, dan untuk mengestimasi porositas dilakukan dengan cara mengukur sampel tanah dari tiap lokasi penelitian. Nilai rata-rata Modulus Bulk yang didapat dari lokasi lapisan pertama 86315,87 Pa dan kedua 257465 Pa sebanding dengan kecepatan rata-rata gelombang P lokasi lapisan pertama 363,65 m/s dan kedua 565,8 m/s, gelombang S pada lapisan pertama sebesar 231,35 m/s dan pada lapisan kedua sebesar 357,15 m/s, sedangkan porositas dengan nilai rata-rata pada lokasi 61,416 % sebanding dengan nilai saturasi air rata-rata pada lokasi 26,26%. Hal itu secara nyata dapat membedakan tingkat kekompakan maupun kandungan fluida pada batuan sedimen dangkal.

Kata kunci : porositas, saturasi air dan Modulus Bulk

PENDAHULUAN

Disamping digunakan untuk eksplorasi sumber daya alam dan menampilkan informasi tentang struktur serta distribusi tipe batuan. Akhir-akhir ini metode seismik telah berkembang untuk pengukuran parameter mekanik untuk blok massa batuan berdasarkan harga cepat rambat batuan secara *insitu*, termasuk didalamnya antara lain kekuatan batuan (*ripability*), derajat kehancuran batuan (*fractured*).

Studi bawah permukaan untuk karakteristik batuan dengan menggunakan sifat refleksi dan sifat refraksi gelombang P telah banyak dilakukan oleh para ahli. (Stepples, et al; 1997; Tychen, et al, 1990, Lankton, 1990). Studi gelombang S secara intensif dimulai sejak 1970-an seperti untuk tujuan eksplorasi (Garotta, 1982), studi gelombang P dan S dimaksudkan dalam identifikasi lithologi batuan dan estimasi sifat fisik batuan, khususnya dalam kaitannya dengan estimasi sifat fisik fluida dalam sedimen. Salah satu cara untuk menggambarkan sifat batuan adalah dengan menganalisis hubungan antara Modulus Bulk yang diperoleh dari nilai kecepatan gelombang P dan S dengan nilai porositas batuan dan saturasi air.

Dalam studi ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh porositas dan saturasi air terhadap parameter Modulus Bulk berdasarkan analisis data seismik refraksi dalam usaha pemecahan masalah geoteknik dan lingkungan. Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah menganalisis seberapa besar pengaruh porositas dan saturasi air terhadap parameter Modulus Bulk berdasarkan analisis data seismik refraksi pada daerah Soekarno Hatta Palembang. Dan dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh porositas dan saturasi air terhadap parameter Modulus Bulk berdasarkan analisis data seismik refraksi dalam usaha pemecahan masalah geoteknik dan lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

Berkas sinar seismik didalam medium mematuhi hukum fisika pada sinar optik contohnya hukum Snellius, hukum Huygens Azas Fermat, yang secara singkat dapat dinyatakan sebagai berikut : (Sumner, 1970)

a. Hukum Snellius, yaitu :

- ◆ Gelombang datang, gelombang pantul dan gelombang bias terletak pada satu bidang
- ◆ Sudut pantul sama dengan sudut datang
- ◆ Sinus sudut bias sama dengan sinus sudut datang kali perbandingan kecepatan medium pembias terhadap kecepatan medium yang dilalui gelombang datang
- ◆ Pada sudut kritis sinus sudut datang sama dengan perbandingan kecepatan medium yang dilalui gelombang datang terhadap kecepatan medium pembias.

b. Hukum Huygens menyatakan setiap titik pada muka gelombang akan menjadi sumber gelombang baru.

c. Azas Fermat menyatakan bahwa sinar gelombang selalu melintas pada lintasan optik yang terpendek (garis lurus).

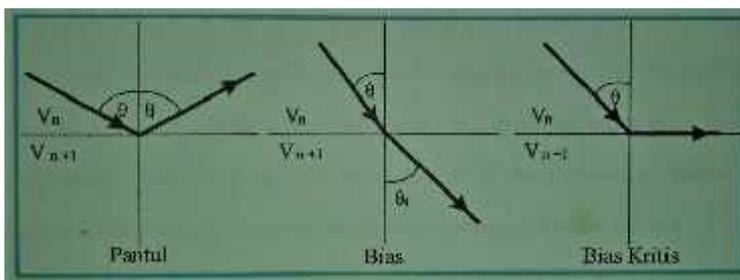
Hukum - hukum diatas mendasari penjabaran gerak perambatan gelombang seismik didalam medium, terutama yang ditinjau dari geometri perambatan gelombang.

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21} \dots \dots \dots (1)$$

θ_i = sudut sinar datang

θ_r = sudut sinar pantul

n_{21} = indeks bias dari media 2 terhadap media 1



Gambar 1 Prinsip hukum Snellius (Munadi, 2000)

Metode seismik didasarkan pada sifat penjalaran gelombang, dapat juga dikatakan bahwa penjalaran gelombang seismik terbiaskan oleh adanya gangguan media batuan dan perbedaan cepat rambat gelombang seismik (v) diantara medium batuan yang dilalui oleh gelombang (Shearer, 1999). Gangguan ini akan menjalar pada lapisan batuan bumi yang bersifat elastik dalam bentuk gelombang seismik. kemudian gaya yang bekerja pada suatu benda elastik akan mengalami tegangan dan regangan, tegangan dapat diartikan sebagai perbandingan antara gaya dengan luas penampang, secara matematis dapat dinyatakan :

$$S = \frac{dF}{dA} \dots\dots\dots(2)$$

Faktor - faktor yang berpengaruh terhadap penjalaran gelombang seismik, yaitu : (Suantika, 2007)

1. Sifat elastisitas dan densitas batuan
2. Porositas
3. Tekanan, baik akibat tekanan dari luar atau tekanan pori.
4. Temperatur, dimana sifat elastis berubah karena batuan mencair atau akibat pengaruh kedalaman.
5. Umur batuan, batuan yang berumur tua umumnya sangat kompak, porositasnya kecil densitas besar dan umumnya mempunyai

Macam - macam gelombang seismik berdasarkan medium penjarannya, gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) dan berdasarkan cara bergetarnya gelombang seismik dibedakan atas dua tipe yaitu gelombang P (*longitudinal*) dan S (*transversal*) (Elnashai dan Sarno, 2008).

Modulus Bulk didefinisikan sebagai rasio tekanan aksial dan perubahan volume yang dihasilkan. Melalui pendekatan perambatan gelombang Modulus Bulk dapat ditulis

$$K = \dots \left(v_p^2 - \frac{3}{4} v_s^2 \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : K = Modulus Bulk

$$\dots = a v_p^4 \quad (\text{densitas } \dots \text{ dalam gr/cm}^3,$$

$$a = 0,31 \quad (\text{Geldart, 1995})$$

Porositas batuan adalah perbandingan volume rongga pori terhadap total batuan dan dinyatakan dalam persen. Ada dua jenis porositas batuan yaitu porositas total (W_t) dan porositas efektif (W_e).

Saturasi air adalah rasio antara volume pori yang terisi air (V_w) dengan volume total pori - pori (V_p).

$$S = \frac{V_w}{V_p} \dots\dots\dots(4)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama kurang lebih 3 bulan, processing data dilakukan dilabolatorium Fisika dan Kimia FMIPA UNSRI, dan pengambilan data dilakukan didaerah Soekarno Hatta Palembang. Alat dan bahan dalam penelitian ini, yaitu :

- ✓ Mementukan kecepatan
- 1. 1 unit Seismograph Geometrics Smartseis™ S12
- 2. Geophone dan take out cable
- 3. Meteran 1 buah

4. Kabel konektor trigger
5. Keyboard
6. Hammer dan coupling rate
7. Computer PC 1 unit

Untuk pengambilan data gelombang P dengan cara memukulkan *hammer* secara vertikal pada *coupling plate* yang diletakkan di atas tanah secara horizontal, sedangkan posisi geophone ditempatkan secara vertikal.

Sedangkan alat dan bahan yang digunakan dalam penentuan saturasi air adalah :

- Hand bor
- Sampler
- Kantong plastik
- Spidol

Model Penelitian

Untuk pengambilan data penelitian, system penembakan yang digunakan adalah dengan cara *off-end (forward dan reverse)* dan *Symtrical Split-spread*. Tembakan yang akan dilakukan sebanyak 5 kali. *Geophone* yang dipakai sebanyak 12 buah dengan interval 2 m. *Near offset* berjarak 4 m dan 8 m dengan *Far offset* sejauh 26 m dan 30 m.

Prosedur Estimasi

✓ **Prosedur 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 kurva travel time antara jarak dengan waktu tempuh
- ☞ Hitung Slope kurva diatas untuk menentukan kecepatan baik gelombang P dari masing-masing lapisan

✓ **Estimasi Nilai Q untuk Gelombang P (Qp)**

Estimasi nilai Q dilakukan dengan bantuan 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 Qp dengan menggunakan metode *Spectral Ratio*
- ☞ Lakukan prosedur diatas untuk lokasi yang berbeda

✓ **Estimasi Nilai Saturasi Air**

Estimasi nilai Saturasi Air dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Timbang massa sampel asli
2. Siapkan oven, masukan sampel ke dalam oven dan panaskan dengan suhu 200 °C selama ± 4 jam
3. Timbang massa kering sampel
4. Sampel yang kering kemudian direndam dengan air hingga jenuh
5. Timbang massa basah sampel, dan diketahui $\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gr/ m}^3$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

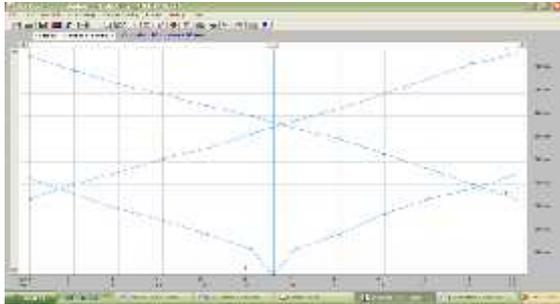
HASIL

➤ **Lokasi Soekarno-Hatta**

Pada lokasi ini pengambilan data seismik dilakukan pada dua *line* dengan 5 kali penembakan untuk gelombang P, yang terdiri dari 2 tembakan Off-end (forward dan reverse) untuk near offset 4 m dan 8 m, dan satu tembakan

Symmetrical Split Spread, dengan interval geophone 1 m, namun data yang ditampilkan pada *line* pertama hanya 3 penembakan, ini dikarenakan data pada 2 penembakan *Off-end* (*forward* dan *reverse*) untuk *near offset* 8 m tidak didapatkan.

Kurva waktu tempuh (*travel time*) pada *line* pertama untuk gelombang P dapat kita lihat pada gambar 1 berikut ini :



Gambar 2 Kurva waktu tempuh gelombang P pada *Line* pertama lokasi Soekarno Hatta

Pada gambar memperlihatkan estimasi harga kecepatan masing-masing tembakan untuk gelombang P. Dari tabel 1 terlihat pada lapisan pertama gelombang P memiliki kecepatan antara 301 m/s sampai dengan 328 m/s, sedangkan kecepatan lapisan kedua antara 342 m/s sampai 373 m/s.

Tabel I Harga Kecepatan Gelombang P pada *Line* Pertama Lokasi Soekarno Hatta

No	No Lintasan	Konfigurasi Tembakan	V _P Lapisan I (m/s)	V _P Lapisan II (m/s)
1	0001	Off-end Forward (No:4m)	328	355
2	0002	Symmetrical Split Spread	301	373
3	0003	Off-end Reverse (No:4m)	303	342
	Kecepatan Rata – rata		310,67	356,67

Harga faktor kualitas (Q) pada semua lokasi dan lintasan dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan analisis spektrum dengan metode *spektral rasio*.

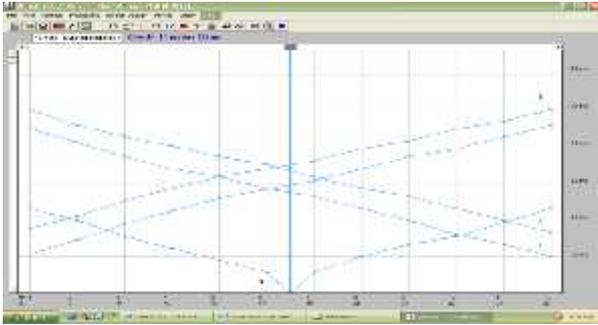
Harga faktor kualitas (Q) pada *line* pertama lokasi I ini dapat dilihat pada tabel. Dari tabel tersebut harga Q rata-rata pada lapisan pertama harganya lebih besar dari pada lapisan kedua.

Tabel 2 Harga Faktor Kualitas (Q) pada *Line* Pertama Lokasi I

Lapisan	Qp 0001	Qp 0002	Qp 0003
Lapisan I	36,01	35,52	31,79
	35,78	37,33	23,14
	39,78	30,94	34,03
	38,26	34,22	35,55

		36,65	33,32
Rata-rata	37,46	34,93	31,57

Kurva waktu tempuh (*travel time*) pada *line* kedua untuk gelombang P diperlihatkan pada gambar 2 berikut ini :



Gambar 3 Kurva waktu tempuh untuk gelombang P pada *Line* Kedua Lokasi Soekarno Hatta

Harga kecepatan dari masing-masing tembakan pada *line* ini dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3 Harga Kecepatan Gelombang P *Line* Kedua Lokasi Soekarno Hatta

No	No Lintasan	Konfigurasi Tembakan	V _P Lapisan I (m/s)	V _P Lapisan II (m/s)
1	0010	Off-end Forward (No:8m)	316	333
2	0011	Off-end Forward (No:4m)	304	312
3	0012	Symetrical Split Spread	282	314
4	0013	Off-end Reverse (No:4m)	271	336
5	0014	Off-end Reverse (No:8m)	293	363
	Kecepatan Rata-rata		293,20	331,60

Untuk harga faktor kualitas (Q) pada *line* kedua ini yang didapatkan berdasarkan metode spektral rasio dapat di lihat pada tabel 4, dimana harga Q_P rata-rata pada lapisan pertama lebih kecil jika di dibandingkan dengan lapisan kedua.

Tabel 4 Harga Faktor Kualitas (Q) *Line* Kedua Lokasi Soekarno Hatta

Lapisan	Q _p 0010	Q _p 0011	Q _p 0012	Q _p 0013	Q _p 0014
---------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

Lapisan I	20,22	41,93	34,85	36,28	20,13
	32,54	41,15	40,88	36,73	49,64
	31,33	37,67	36,74	34,56	54,25
	26,69	34,43	33,90	31,82	27,21
	30,43	30,70	34,60	37,67	30,27
Rata-rata	28,24	37,17	36,19	35,41	36,30
Lapisan II	62,04	81,92	105,60	93,17	97,73
	109,75	93,73	94,58	81,01	70,39
	90,36	93,05	99,54	89,04	71,63
	109,96	80,50	105,71	103,26	89,49
	80,91			99,51	97,56
Rata-rata	90,61	87,30	101,36	93,20	85,36

Saturasi Air

Pada tabel nilai saturasi air untuk lokasi Soekarno Hatta. Pada lokasi ini ada 33 sampel dari 11 titik, untuk setiap titik diambil 3 sampel. Dari sampel tersebut didapatkan nilai saturasi air rata-ratanya untuk setiap titik pada lokasi Soekarno Hatta. Nilai rata-rata keseluruhannya pada lokasi Soekarno Hatta sebesar **0,53**.

Tabel 5 Nilai Saturasi Air Pada Lokasi Soekarno-Hatta

No	Masa Asli (gr)	Massa setelah direndam (gr)	Masa di Oven (gr)	Volume Air (m³)	Volume pori/air (m³)	Saturasi air
1	15,55	17,47	13,25	2,29	4,21	0,54
2	14,87	18,92	12,28	2,59	6,63	0,39
3	5,015	6,88	3,22	1,79	3,66	0,48
4	26,68	30,69	23,14	3,54	7,55	0,47
5	16,78	19,68	14,47	2,31	5,20	0,44
6	17,84	20,73	15,06	2,77	5,66	0,49
7	17,10	18,65	14,22	2,87	4,42	0,65

8	13,3 1	15,06	10,9 6	2,35	4,10	0,57
9	11,2 7	15,81	4,09	7,17	11,72	0,61
1 0	9,19	10,13	7,16	2,02	2,96	0,68
1 1	9,52	10,77	7,91	1,61	2,86	0,56
Rata-rata						0,53

PEMBAHASAN

Lokasi Jl. Soekarno-Hatta

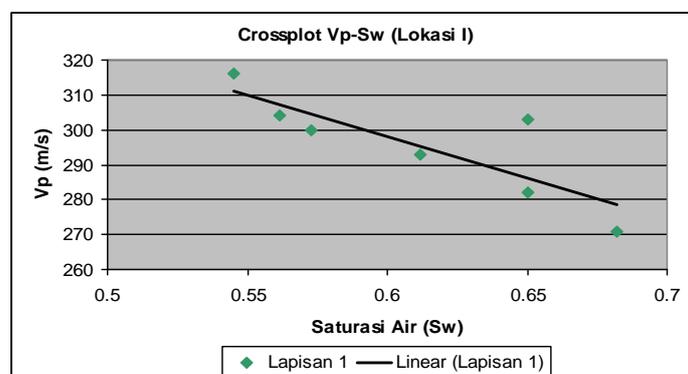
Dalam analisis sifat fisik batuan, kecepatan penjalaran gelombang seismik merupakan salah satu parameter penting dan besarnya kecepatan ditentukan oleh jenis gelombang, sifat elastis, dan rapat massa medium batuan tersebut. Disamping itu, faktor lain yang juga mempengaruhi dalam analisis lanjut yaitu faktor redaman atau atenuasi yang diimplementasikan dalam faktor kualitas (Q) batuan.

Faktor kualitas (Q) merupakan kemampuan batuan dalam merambatkan atau meloloskan energi yang dipancarkan dari sumber seismik, dan sifat fisik batuan yang dilaluinya di duga mempengaruhi besar kecilnya nilai Q faktor, seperti porositas, kerapatan, saturasi fluida, tekanan dan lain-lain.

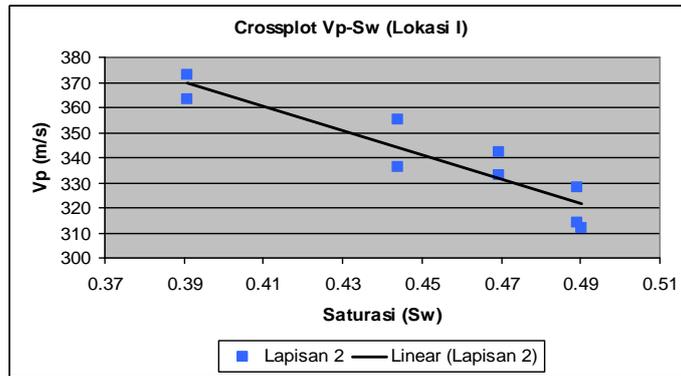
Dari data lapangan didapatkan harga-harga kecepatan untuk gelombang P.

Pada lokasi I *line* pertama (tabel 1), kecepatan rata-rata pada lapisan pertama nilainya lebih rendah dari pada lapisan kedua, yaitu sebesar 310,67 m/s dan untuk lapisan kedua sebesar 356,67 m/s. Begitu juga pada *line* kedua (tabel 3), dimana pada lapisan pertama kecepatan rata-ratanya sebesar 293,20 m/s, dan lapisan kedua sebesar 331,60 m/s. Hal ini merupakan indikator dimana batuan pada lapisan pertama tersaturasi air lebih tinggi jika dibandingkan lapisan kedua yang lebih kompak.

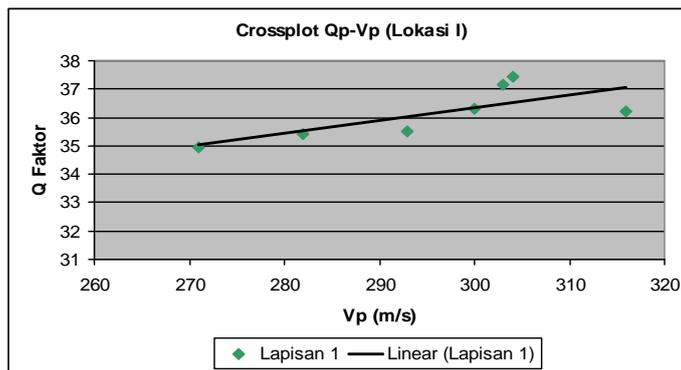
Pada gambar 5 merupakan *crossplot* hubungan antara kecepatan dengan tingkat saturasi air, dimana saat gelombang seismik melewati batuan yang tersaturasi air tinggi maka kecepatannya akan turun, sehingga dapat disimpulkan hubungan antara saturasi air dengan kecepatan berbanding terbalik.



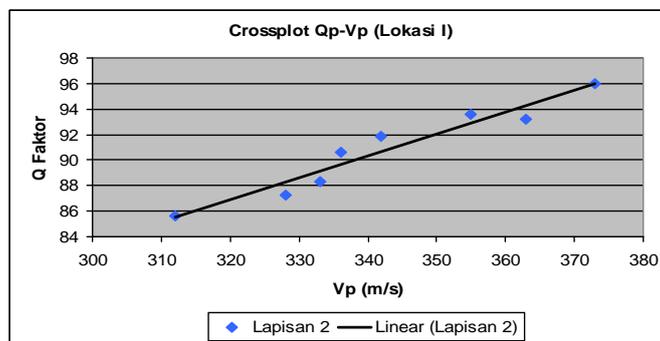
Gambar 5 Crossplot Sw dan Kecepatan (Vp) Lapisan pertama



Gambar 6 Crossplot Sw dan Kecepatan (Vp) Lapisan kedua



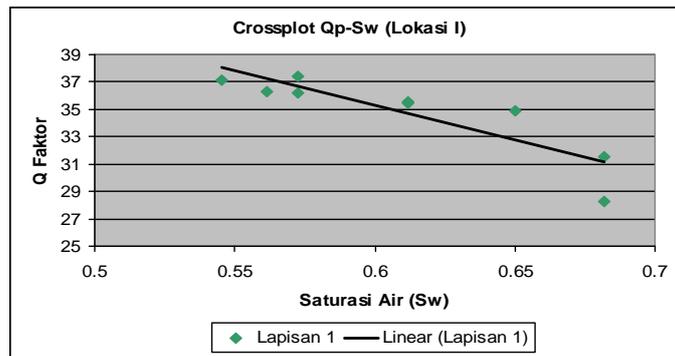
Gambar 7 Crossplot Q Faktor dan Kecepatan (Vp) Lapisan Pertama



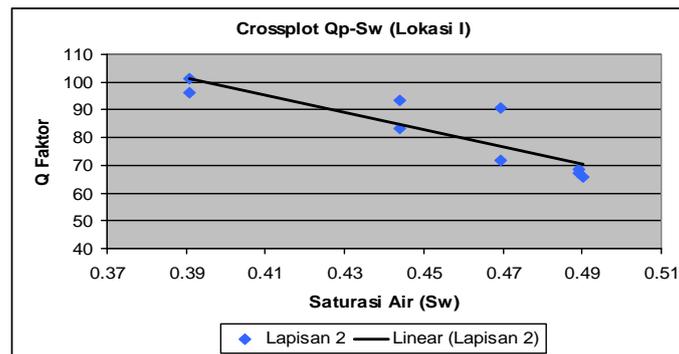
Gambar 8 Crossplot Q Faktor dan Kecepatan (Vp) Lapisan kedua

Crossplot untuk gambar 7 dan 8 diatas menunjukkan hubungan antara kecepatan gelombang seismik yang menjalar dengan harga faktor Q batuananya. Dari gambar diatas diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka akan semakin besar pula harga Q faktornya. Pada lapisan pertama harga nilai kecepatannya lebih rendah dibandingkan lapisan kedua, ini menunjukkan bahwa pada lapisan kedua sifat fisik batuananya jauh lebih kompak dibandingkan lapisan pertama.

Untuk nilai Q faktornya dapat kita lihat pada tabel 2 dan tabel 4 dimana harga Q rata-rata untuk lapisan pertama pada setiap tembakan bernilai lebih rendah dibandingkan dengan lapisan kedua.



Gambar 9 *Crossplot* Sw dan Q Faktor untuk Lapisan pertama



Gambar 10 *Crossplot* Sw dan Q Faktor untuk Lapisan kedua

Dari gambar 9 dan 10 dapat dilihat bahwa nilai Q faktor berbanding terbalik dengan nilai saturasi air. Ini menunjukkan bahwa energi gelombang seismik mengalami atenuasi (peredaman) oleh batuan yang tersaturasi air, akibatnya nilai kecepatan gelombang menjadi rendah. Sementara itu, Q faktor sendiri merupakan kemampuan batuan dalam merambatkan atau meloloskan energi gelombang seismik yang dipancarkan dan nilainya berbanding terbalik dengan atenuasi. Sehingga, saat tingkat saturasi air tinggi maka di dapatkan nilai Q faktornya rendah, dan sebaliknya, saat tingkat saturasi airnya rendah maka Q faktornya akan bernilai tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

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

1. Dari hasil *crossplot* antara kecepatan dan saturasi air menunjukkan pada lapisan pertama (310,67 m/s) harga kecepatan penjalaran gelombang seismik lebih besar dari pada lapisan kedua (356,67 m/s), sedangkan tingkat saturasi airnya pada lapisan pertama lebih rendah dari pada lapisan kedua. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya peredaman (atenuasi) gelombang seismik yang menjalar pada batuan lapisan pertama lebih rendah dari pada lapisan kedua yang tersaturasi air lebih besar.
2. Dari hasil *crossplot* antara kecepatan dan Q faktor menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan penjalaran gelombang seismik pada batuan maka akan semakin besar pula harga Q faktornya

3. Dari hasil *crossplot* antara saturasi air dan Q faktor pada lokasi terlihat bahwa pada lapisan yang tingkat saturasi airnya lebih tinggi maka harga Q faktor batumannya akan semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat saturasi air batuan mempengaruhi besar kecilnya harga Q faktor yang nilainya berbanding terbalik dengan atenuasi (redaman).

SARAN

1. Dalam pengambilan data untuk faktor kualitas, *coupling geophone* harus diusahakan tertancap dengan baik, hal ini bertujuan agar spektrum yang dihasilkan tidak terinterferensi yang dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan faktor kualitas.
2. Untuk crosscheck hasil interpretasi sebaiknya disertakan dengan data bor.

DAFTAR PUSTAKA

- H.R.Burger, 1992., Dalam : Sutopo., 2003., *Studi Konstanta Elastis dan Faktor Kualitas (Q-Faktor) berbagai Batuan Sedimen Dekat Permukaan Menggunakan Gelombang P dan SH*. Departemen Geofisika dan Meteorologi. ITB..
- Setiawan, dkk., (2003), *Pengukuran Faktor Kualitas Gelombang Elastik (Q_p , Q_{sh} , Q_{sv}) untuk Karakteristik Retakan Anistropi Batuan Karbonat : Studi Kasus Lapangan di Ceteurep*, Proceeding Joint Convention Jakarta 2003 (JCJ-2003), IAGI-HAGI.
- Sutopo & Awali P., 2004 *Studi Gelombang P dan SH dari Data Refraksi pada lapisan Jenuh Air*. Joint Convention 2003 (JCJ-2003). IAGI-HAGI.
- Walsh, J.B., (1996), *Seismic Wave Attenuation in Rock due to Friction*, Journ. Geoph. Res 71 2591-2599.
- Winkler Kenneth W. & A. Nur., (1981), *Seismic Attenuation : Effect of Pure Fluids and Frictional Sliding*. Geophysics. Vol 47.