

# ANALISA HUBUNGAN SATURASI AIR TERHADAP FUNGSI SIGMA (F) UNTUK MENKARAKTERISASI BATUAN SEDIMEN DANGKAL DI KAWASAN MUSI II DAN LINGKAR BARAT PALEMBANG

Siti Sailah <sup>1)</sup> Sutopo <sup>2)</sup>.

**Abstrak:** Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan dan menganalisa hubungan antara kecepatan gelombang sismik, porositas air dan kejenuhan dan juga fungsi sigma untuk mengkarakterisasikan batuan sedimen dangkal. Metoda penelitian digunakan untuk membelokan gelombang yang dicatat di permukaan bergantung pada porositi dan kejenuhan air yang dilakukan dengan mengambil contoh batuan di setiap tempat dan kemudian proses analisa dilakukan di laboratorium. Prosesing data menghasilkan bahwa pada sungai Musi II kecepatan gelombang rata-rata P adalah 332 m/det. dan kecepatan gelombang rata-rata S adalah 332 m/det. Mempunyai nilai fungsi sigma rata-rata (F) adalah 11,5 untuk lapis pertama sementara nilai fungsi sigma rata-rata (F) lapis kedua adalah 635 m/det. dan kecepatan rata-rata gelombang S adalah 145 m/det mempunyai nilai fungsi sigma rata-rata (F) adalah 11,5 dan kejenuhan air 23 % untuk lapisan pertama dan 37 % untuk lapisan kedua. Pada lokasi Lingkar Barat kecepatan gelombang rata-rata P adalah 1016 m/det. dan kecepatan gelombang rata-rata S adalah 339 m/det. Mempunyai nilai fungsi sigma rata-rata (F) adalah 11,19 untuk lapis pertama sementara kecepatan gelombang rata-rata P adalah 1502 m/det dan kecepatan gelombang rata-rata S adalah 444 m/det. nilai fungsi sigma rata-rata (F) lapis kedua adalah 16,19 m/det. 5 dan kejenuhan air 23 % untuk lapisan pertama dan 37 % untuk lapisan kedua. Hasil crossplot menunjukkan hubungan antara kejenuhan air, Kecepatan rata-rata P dan S, dan fungsi sigma. Hal ini ditunjukkan dengan fungsi sigma (F) yang berpengaruh banyak terhadap kejenuhan air.

**Kata Kunci :** Gelombang P, Gelombang S, Fungsi Sigma, Kejenuhan air.

**Abstract :** The purpose of this research is to get and analyse the relationship between seismic wave velocity, water porosity and saturation and also sigma function (F) in order to characterizing shallow sediment rocks. The research method use refracted wave recorded in surface while estimating porosity and water saturation is done by taking the rock sample in every location and than analizing process is done in laboratory. Data processing results that on Musi II mean P wave velocity is 332 m/det and mean S wave velocity is 332 m/det having mean sigma function value (F) is 11.5 for first layer while for the second layer mean P wave velocity is 635 m/det and mean S wave velocity is 145 m/det having mean sigma function value (F) is 11.5. and water saturation is 23 % for first layer and and is 37 % for second layer. On location of Lingkar Barat mean P wave velocity is 1016 m/det and mean S wave velocity is 339 m/det having mean sigma function value (F) is 11.19 for first layer while for the second layer mean P wave velocity is 1502 m/det and mean S wave velocity is 444 m/det having mean sigma function value (F) is. 16.19 and water saturation is 23 % for first layer and and is 37 % for second layer. Crossplot result shows that there is the relationship between water saturation, P and S wave velocity, and sigma function. It shows that sigma function (F) is influenced by water saturation very much.

**Key Word :** P wave, S wave, sigma function, water saturation,

## PENDAHULUAN

Dalam karakterisasi batuan para *geoscientist* mengembangkan pengukuran fisik baik secara *insitu* maupun laboratorium. Pengukuran *insitu* digunakan untuk mendapatkan parameter-parameter fisik sesuai dengan kondisi lapangan, sementara pengukuran di laboratorium digunakan untuk mendapatkan harga yang lebih teliti. Hasil pengukuran kedua metode tersebut kemudian dibandingkan untuk mendapatkan analisa yang lebih baik. Beberapa parameter fisik yang dapat diukur antara lain, porositas, densitas dan derajat saturasi air (*water saturation*) serta kecepatan rambat gelombang ketika melewati batuan. Dari beberapa parameter diatas, kecepatan adalah parameter yang sering diukur secara *insitu* melalui metode seismik. Jadi jika perubahan kondisi Fisik batuan dapat ditandai dari perubahan kecepatan gelombang seismik yang merambat, maka patut diduga semua parameter turunan dari kecepatan dapat digunakan juga untuk mengkarakterisasi perubahan tersebut (Khairy H dan Bagus E.B.N., 2003, Sutopo dan Awali 2003).

Fungsi sigma merupakan konsep yang dikembangkan oleh Alhilali dan Shanmugam (1990). Fungsi sigma pada intinya merupakan pendekatan empiris melalui bilangan non-dimensi dari variabel akustik. Fungsi sigma pada saat ini banyak digunakan untuk karakterisasi reservoir dengan menggunakan data log geofisika sumuran (*geophysical well logging*) (Agus Laesanpura, dkk., 2004. Benyamin, dkk., 2004), hasil yang

didapatkan menunjukkan fungsi sigma ini lebih menggambarkan properti fisik yang dimiliki batuan, misalnya kandungan fluida, densitas butir dan kandungan *shale* suatu batuan sedimen serta sifat fisik lainnya.

Sementara tingkat kejenuhan fluida merupakan banyaknya fluida yang mengisi ruang kosong tersebut, fluida dalam hal ini dapat berupa air, minyak, gas dan lainnya. Seperti halnya porositas, derajat saturasi merupakan parameter yang sangat penting untuk studi Eksplorasi, geoteknik dan lingkungan.

Dalam penelitian ini akan ditentukan dan dianalisa besarnya harga fungsi sigma serta hubungannya dengan harga porositas dan derajat saturasi fluida dalam usaha mengestimasi litologi dan sifat fisik serta kandungan fluida. berdasarkan pengukuran dilapangan menggunakan metode *seismik refraksi* dan *pengukuran dilaboratorium*.

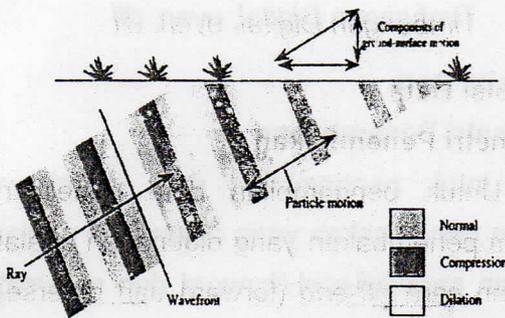
## TINJAUAN PUSTAKA

### Tipe-tipe Gelombang Seismik

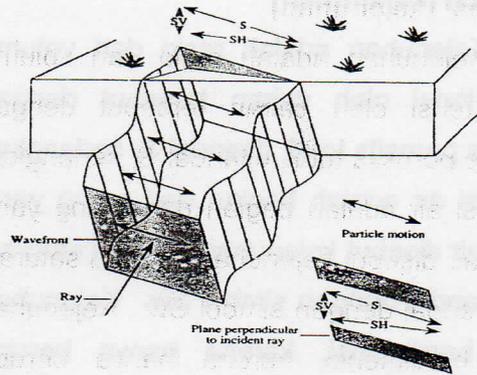
Berdasarkan cara bergetarnya gelombang seismik dibedakan atas dua tipe, yaitu *Gelombang longitudinal* atau gelombang P (*pressure*) dan *gelombang transversal* yang disebut juga gelombang S (*shear*).

### 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)



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

Kecepatan gelombang P dapat dituliskan sebagai berikut :

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

dimana  $\lambda$  adalah konstanta lame,  $\mu$  : rigiditas dan  $\rho$  : rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ )

### Gelombang S

Gelombang ini arah getar partikel-partikel medium tegak lurus terhadap arah penjarannya. Berdasarkan bidang penjarannya, gelombang S dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu : apabila arah getar gelombang S terpolarisir pada bidang vertikal saja maka gelombang tipe ini disebut **gelombang SV** (*Shear Vertical*), sedangkan apabila arah getarnya terpolarisir pada bidang horisontal maka tipe ini dinamakan **gelombang SH** (*Shear Horizontal*) (gambar 2).

Secara umum kecepatan gelombang S dapat dituliskan sebagai berikut :

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

Dimana  $\mu$  : rigiditas dan  $\rho$  : rapat massa ( $\text{kg/m}^3$ ).

### Fungsi Sigma

Gelombang elastik dapat didekati dengan variabel mekanis seperti rigiditas dan variabel intrinsik, densitas. Beberapa literatur secara eksplisit menghubungkan antara kecepatan gelombang elastik,  $V_p$  dan  $V_s$  (Agus Laesanpura, dkk., 2004) dengan modulus ( $k, \mu$ ).

Dari dua jenis kecepatan gelombang tadi, variabel modulus yang berperan adalah,  $k$  dan  $\mu$ , keduanya sensitif, terutama pada material yang mengandung fluida. Kita dapat mendefinisikan fungsi sigma (Alhilali., 1990) melalui dua variabel modulus tadi dengan :

$$\frac{k}{\mu} = \frac{2}{3} \left( \frac{1+\nu}{1-2\nu} \right) = \frac{2}{3} F \quad (3)$$

dimana  $\nu$  merupakan bilangan *Poisson*. Bilangan ini memiliki kesebandingan dengan kecepatan gelombang P, yaitu  $V_p$  dan kecepatan gelombang S, yaitu  $V_s$ , melalui hubungan berikut :

$$\mu \propto r \propto F(V_p, V_s) \quad (4)$$

### Saturasi (kejenuhan)

Kejenuhan adalah rasio dari volume yang terisi oleh cairan tersebut dengan volume porositas total, ditandai  $S$ , sedangkan saturasi air adalah bagian dari ruang yang berisi air disebut kejenuhan air atau saturasi air, ditandai dengan simbol  $S_w$ . Kejenuhan tidak berdimensi, karena hanya berupa rasio, akan tetapi sering dikalikan 100 untuk dinyatakan dalam persen

- Sampel Batuan
- Timbangan Digital, oven, dll

### Akuisisi Data

#### Geometri Penembakan

Untuk pengambilan data penelitian, sistem penembakan yang digunakan adalah dengan cara *off-end* (forward dan reverse), *symtrical split-spread* dan *Asymtrical split-spread* dengan *near off-set*.

#### Data Porositas dan Saturasi Air

Pengambilan data untuk analisa dan penentuan harga porositas dan saturasi air dilakukan dengan cara pengambilan sampel batuan pada lokasi I dan II, sampel batuan diambil di beberapa titik, tiap – tiap lokasi diambil 10-14 sampel batuan.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, pengambilan data lapangan di desa Karya Jaya kawasan Musi II (gambar 3) dan daerah Lingkar Barat Kodya Palembang (gambar 4). Pemrosesan data seismik dilakukan di laboratorium Geofisika jurusan Fisika FMIPA UNSRI, Sementara untuk penentuan porositas dan saturasi air dilakukan di laboratorium Kimia Analis.

### Alat dan Bahan

#### Peralatan Survey Seismik

Pengambilan data di lapangan dipergunakan peralatan survey seismik sebagai berikut :

- 1 Unit Seismograph Geometrics SmartSeis™ S12
- Geophone 12 buah dan *take out cable*
- Hammer dan *Coupling Plate*
- Meteran, dll

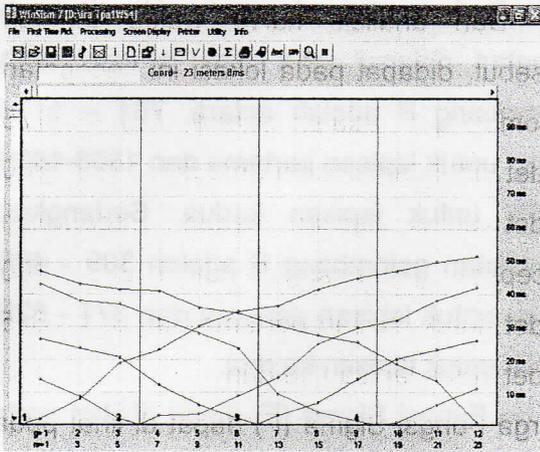
#### Peralatan dan bahan untuk uji sampel

Paralatan dan bahan untuk penentuan porositas dan derajat saturasi air, sebagai berikut :

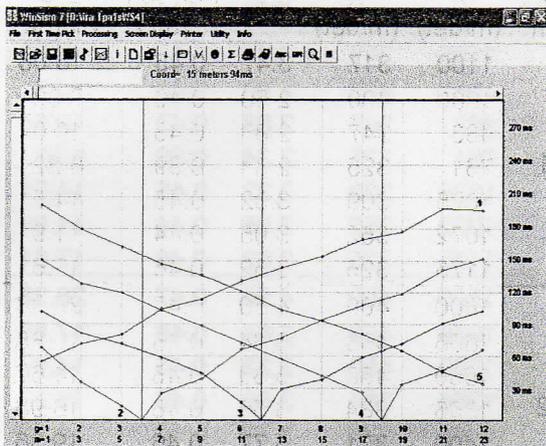
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kecepatan Gelombang P dan S Terhadap Fungsi Sigma

Pada lintasan seismik lokasi Musi II, pengambilan data dilakukan dengan 5 kali tembakan untuk gelombang P dan S. Sedangkan pada lokasi Lingkar Barat pengambilan data dilakukan dengan 7 kali tembakan untuk gelombang P dan kali tembakan untuk gelombang S, yang terdiri dari 2 tembakan maju *forward* (*off-end spread*), 3 tembakan tengah (*symmetrical* dan *asymmetrical split spread*), dan 2 tembakan mundur *reverse* (*off-end spread*). Kurva waktu tempuh (*travel time curve*) untuk gelombang P dan untuk gelombang S lokasi Musi II diperlihatkan pada gambar 7 dan 8 berikut :



Gambar 3. Kurva waktu tempuh gelombang P di Musi II



Gambar 4. Kurva waktu tempuh gelombang S di Musi II

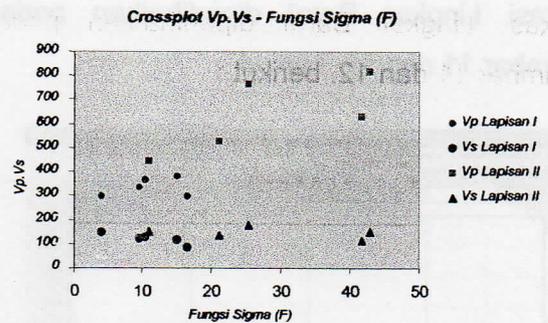
Dari analisis kurva waktu tempuh tersebut, didapat pada lokasi ini kecepatan gelombang P adalah antara, 294 – 378 m/det untuk lapisan pertama dan 444-816 m/det untuk lapisan kedua. Sedangkan kecepatan gelombang S adalah 84 - 146 m/det untuk lapisan pertama dan 133 – 179 m/det untuk lapisan ke dua.

Harga Fungsi Sigma (F) pada lokasi penelitian ditentukan dari data kecepatan gelombang P dan gelombang S, Hasil perhitungan dapat di lihat pada tabel 1. berikut :

Lapisan	$v_p$ (m/det)	$v_s$ (m/det)	$v_p/v_s$	Poisson's ratio	Fungsi Sigma
1	294	146	2.01	0.34	4.08
	296	84	3.50	0.46	16.41
	378	112	3.38	0.45	15.09
	333	120	2.78	0.43	9.59
	363	126	2.88	0.43	10.45
2	632	117	5.40	0.48	41.76
	764	179	4.27	0.47	25.33
	444	151	2.94	0.43	10.97
	816	149	5.48	0.48	42.99
	523	133	3.94	0.47	21.24

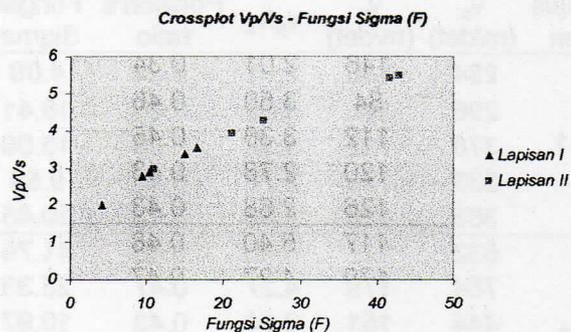
Tabel 1. Harga Fungsi Sigma (F) Lokasi Musi II

Selanjutnya dari tabel 1 diatas, dilakukan crossplot, dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 5. Crossplot  $V_p$ - $V_s$  terhadap fungsi sigma (F) di Musi II

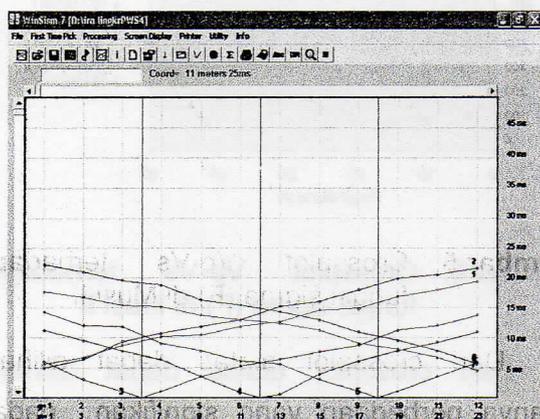
Dari crossplot diatas dapat dilihat adanya perbedaan yang signifikan pada lapisan 1 maupun lapisan 2 baik gelombang P maupun S masing-masing lapisan. Hal tersebut dapat juga dilihat pada gambar 10 dibawah ini, yang merupakan crossplot antara  $V_p/V_s$  dengan fungsi sigma (F) dimana lapisan I lebih kecil dibandingkan lapisan II.



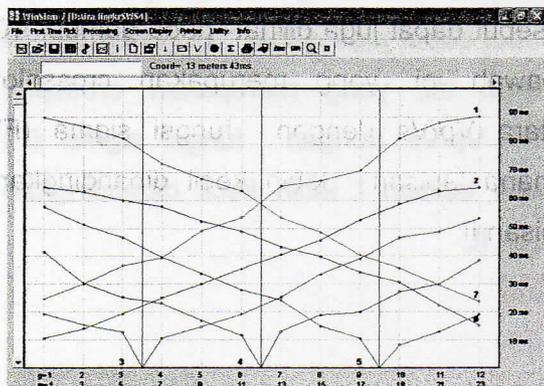
**Gambar 6.** Crossplot  $V_p/V_s$  terhadap fungsi sigma (F) di Musi II

Perbedaan tersebut menunjukkan adanya perbedaan lithologi yang jelas antara lapisan I dan lapisan II.

Kurva waktu tempuh (*travel time curve*) untuk gelombang P dan untuk S lokasi Lingkar Barat diperlihatkan pada gambar 11 dan 12. berikut :



**Gambar 7.** Kurva waktu tempuh gelombang P di Lingkar Barat



**Gambar 8.** Kurva waktu tempuh gelombang S di Lingkar Barat

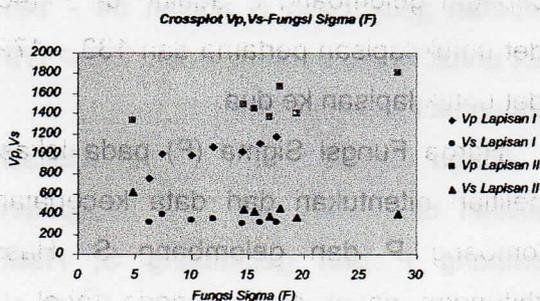
Dari analisis kurva waktu tempuh tersebut, didapat pada lokasi ini kecepatan gelombang P adalah antara, 761 – 1175 m/det untuk lapisan pertama dan 1366-1800 m/det untuk lapisan kedua. Sedangkan kecepatan gelombang S adalah 309 - 400 m/det untuk lapisan pertama dan 371 - 625 m/det untuk lapisan ke dua.

Harga Fungsi Sigma (F) dapat di lihat pada tabel 2. berikut:

Lapisan	$v_p$ (m/det)	$v_s$ (m/det)	$v_p/v_s$	Poisson's ratio	Fungsi Sigma
1	1100	317	3.47	0.45	16.06
	1000	400	2.50	0.40	7.38
	983	347	2.83	0.43	10.04
	761	325	2.34	0.39	6.22
	1025	309	3.32	0.45	14.51
	1072	352	3.05	0.44	11.91
2	1175	325	3.62	0.46	17.61
	1800	400	4.50	0.47	28.38
	1666	458	3.64	0.46	17.85
	1500	450	3.33	0.45	14.67
	1366	384	3.56	0.46	16.98
	1400	371	3.77	0.46	19.36
	1333	625	2.13	0.36	4.82
	1450	423	3.43	0.45	15.63

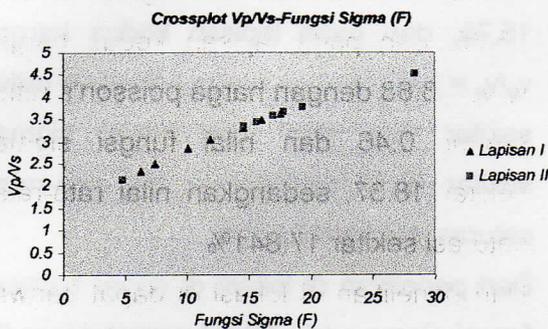
**Tabel 2.** Harga Fungsi Sigma (F) Lokasi Lingkar Barat

Selanjutnya dari tabel 2 diatas, dilakukan crossplot, dengan hasil sebagai berikut :



**Gambar 9.** Crossplot  $V_p/V_s$  terhadap fungsi sigma (F) di Lingkar Barat

Dari crossplot diatas dapat dilihat adanya perbedaan yang signifikan pada lapisan 1 maupun lapisan 2 baik gelombang P maupun S masing-masing lapisan. Hal tersebut dapat juga dilihat pada gambar 9 dibawah ini, yang merupakan crossplot antara Vp/Vs dengan fungsi sigma (F) dimana lapisan I lebih kecil dibandingkan lapisan II.



**Gambar 10.** Crossplot Vp/Vs terhadap fungsi sigma (F) di Lingkar Barat

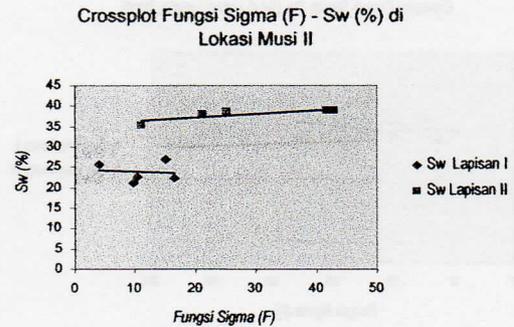
**Hubungan Saturasi terhadap Fungsi Sigma**

Harga saturasi air (Sw) pada lokasi Musi II yang didapat dari analisis sampel sebanyak 10 buah, dapat dilihat pada tabel 3. dibawah ini.

Lapisan	No Sampel	Sw (%)	Fungsi Sigma (F)
Lapisan I	1	25.8	4.08
	2	22.2	16.41
	3	26.9	15.09
	4	21.2	9.59
	5	22.8	10.45
Lapisan II	6	38.8	41.76
	7	38.7	25.33
	8	35.3	10.97
	9	39.0	42.99
	10	38.1	21.24

**Tabel 3.** Harga Saturasi Air pada lokasi Musi II

Kemudian dilakukan crossplot, dengan hasil sebagai berikut :



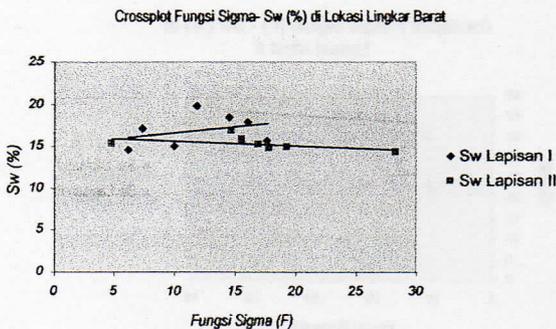
**Gambar 11.** Crossplot Sw terhadap fungsi sigma (F) di Musi II

Dari crossplot diatas dapat dilihat bahwa pada lokasi Musi II, adanya perbedaan yang jelas antara fungsi sigma dan saturasi air (Sw) pada lapisan I dan II, Hal tersebut menunjukkan perbedaan fungsi sigma pada lapisan I dan II disebabkan oleh saturasi air yang mengisi pori batuan tersebut. Sementara untuk lokasi Lingkar Barat, dapat dilihat pada tabel 4, dibawah ini :

Lapisan	No Sampel	Sw (%)	Fungsi Sigma (F)
Lapisan I	1	17.8	16.06
	2	17.1	7.38
	3	15.1	10.04
	4	14.6	6.22
	5	18.5	14.51
	6	19.8	11.91
	7	15.6	17.61
Lapisan II	8	14.3	28.38
	9	14.8	17.85
	10	16.8	14.67
	11	15.2	16.98
	12	14.9	19.36
	13	15.3	4.82
	14	15.7	15.63

**Tabel 4.** Harga Porositas dan Saturasi Air pada lokasi Lingkar Barat

Kemudian dilakukan crossplot, dengan hasil sebagai berikut :



**Gambar 12.** Crossplot Sw terhadap fungsi sigma (F) di Lingkar Barat

Dari gambar 12 diatas menunjukkan pada lokasi Lingkar Barat crossplot antara porositas dan saturasi air (Sw) dengan fungsi sigma terlihat bahwa pada lapisan II mempunyai fungsi sigma yang lebih besar dibandingkan dengan lapisan I walaupun tidak jauh berbeda, Sedangkan untuk harga saturasi air pada lapisan I dan II juga tidak terlalu jauh berbeda. Hal tersebut berbeda dengan lokasi Musi II yang mempunyai harga saturasi air yang besar.

**KESIMPULAN**

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

1. Hasil penelitian dilapangan dengan menggunakan metode refraksi gelombang P dan S dapat dihasilkan dengan baik, hal tersebut ditunjukkan dengan respon yang terekam baik pada seismograph.
2. Dari hasil penelitian seismik di lokasi I pada lapisan pertama diperoleh harga  $v_p/v_s = 2.82$  dengan harga poisson's

ratio sekitar 0.42 dan fungsi sigma sekitar 9,99, dan pada lapisan kedua harga  $v_p/v_s = 4.35$  dengan harga poisson's ratio sekitar 0.47 dan nilai fungsi sigma sekitar 26.51. sedangkan nilai rata-rata saturasi sekitar 27.171%.

3. Sedangkan di lokasi Lingkar Barat pada lapisan pertama diperoleh harga  $v_p/v_s = 3.44$  dengan harga poisson's ratio sekitar 0.45 dan fungsi sigma sekitar 15.75, dan pada lapisan kedua harga  $v_p/v_s = 3.68$  dengan harga poisson's ratio sekitar 0.46 dan nilai fungsi sigma sekitar 18.37, sedangkan nilai rata-rata saturasi sekitar 17.841%
4. Dari penelitian di lokasi di dapat bahwa fungsi sigma pada TPA II pada lapisan 2 lebih besar daripada lapisan 1 sehingga dapat dikatakan lapisan 2 merupakan lapisan tersaturasi air, sedangkan lapisan 1 merupakan lapisan batuan kering. Harga fungsi sigma di lingkar barat juga lebih kecil daripada harga fungsi sigma pada lapisan 2 lokasi TPA II sehingga dapat dikatakan bahwa lokasi lingkar barat merupakan batuan kering.
5. Tingkat saturasi air dalam batuan sangat mempengaruhi nilai fungsi sigma.

**SARAN**

1. Pengambilan data untuk penentuan kecepatan gelombang, coupling geophone harus diusahakan tertancap dengan baik hal tersebut agar spektrum yang di hasilkan tidak terinterferensi

yang dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan harga kecepatan.

2. Untuk crosscheck hasil interpretasi sebaiknya di sertakan data bor.

*Dangkal di Kawasan Musi II dan Lingkar Barat Palembang, Laporan Penelitian Dosen Muda, DIKTI*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alhilali, K.A., and Shanmugam. 1990, *Utility of Mechanical Facies for Rock Classification. Characterization, and Correlation*. SEG Annual Meeting.
- Benyamin., dkk, 2004., *Aplikasi Fungsi Sigma (F) Untuk Karakterisasi Batuan Vulkanik*. Prosiding PIT Himpunan Ahli Geofisika Indonesia ke 29.
- Bulgrer, H. Robert.,(1992), *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Ney Jersey 07632.
- Dobrin, M. B., (1976) *Introduction to Geophysical Prospecting*, McGraw-Hill.
- Khairy H & Bagus E N., 2003, *Relating Bulk Modulus and P-Wave Attenuation to Permeability in Reservoir Sand*. Joint Convention Jakarta 2003.
- Laesanpura Agus, dkk, 2004., *Penerapan Fungsi Sigma Untuk Memelajari Sifat Fisis Lapisan Sediment Dengan Analisa Factor-R dan Factor-Q*. Prosiding PIT Himpunan Ahli Geofisika Indonesia ke 29.
- Munadi Suprajitno, 2003., *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA UI*.
- 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
- Siti Sailah & Sutopo, 2007, *Analisa Hubungan Saturasi Air terhadap Fungsi Sigma (F) Untuk Mengkarakteristik Batuan Sedimen*