

## **PENERAPAN STIMULASI VIBRASI LABORATORIUM UNTUK MEMPREDIKSI PERUBAHAN SIFAT FISIK BATUAN *RESERVOIR* ATAS CONTOH BATUAN LAPANGAN PADA BERBAGAI TEKANAN *OVERBURDEN***

**Arief Rahman**

Akamigas Balongan Indramayu  
(arief11rahman@gmail.com)

### **Abstrak**

*Teknologi stimulasi vibrasi adalah teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk memprediksi perubahan sifat fisik pada batuan reservoir. Pada penelitian ini peneliti mencoba membedah penerapan teknologi tersebut dan fungsinya yang berperan sebagai cara yang dapat digunakan untuk memprediksi suatu perubahan sifat fisik pada batuan berdasarkan studi literatur. Pada penelitian ini digunakan batuan inti sintetis. Pada pelaksanaannya batuan tersebut digunakan sebagai objek eksperimen. Studi kepustakaan dan analisis data adalah metode penelitian yang digunakan disini. Ragam prosedur eksperimen dilakukan guna menemukan hasil dan/atau prediksi perubahan sifat fisik suatu batuan reservoir. Dari penelitian ini didapat hasil berupa adanya kesamaan antara batuan inti sintetis dan batuan inti lapangan. Kesamaan tersebut adalah adanya peningkatan porositas dan permeabilitas, serta adanya penurunan saturasi minyak sisa setelah kedua batuan inti diberikan vibrasi dan tekanan overburden. Frekuensi optimal pada stimulasi vibrasi atas batuan inti adalah 10Hz. Adanya persamaan tersebut memungkinkan teknologi stimulasi vibrasi digunakan untuk memprediksi perubahan sifat fisik batuan reservoir.*

**Kata Kunci:** Teknologi Stimulasi Vibrasi, Batuan Inti, Reservoir.

### **Pendahuluan**

Dalam kamus besar bahasa Indonesia reservoir disamartikan dengan waduk atau tempat penyimpanan yang identik cairan sebagai objek penyimpanan (KBBI: 2002). Namun dalam pengertian lain reservoir diartikan sebagai media berpori serta *permeable* dan tempat berkumpulnya HC. Reservoir minyak dan gas reservoir merupakan kumpulan batuan berpori dan tempus fluida yang berada pada kedalaman tertentu di bawah permukaan bumi. Kumpulan tersebut merupakan akumulasi dari seluruh minyak dan gas bumi yang tersedia di sekitar lokasi.

Gas bumi dan minyak sendiri adalah dua sumber daya mineral yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Di samping dimanfaatkan untuk diolah menjadi sumber

energi, produk olahan setengah jadi juga kerap dijual guna mendapatkan keuntungan tersendiri.

Guna mendapatkan sumber minyak dan gas bumi yang maksimal beberapa pihak melakukan eksploitasi pada beberapa ladang minyak dan gas yang ada di Indonesia. Eksploitasi sendiri merupakan kegiatan yang dilakukan dalam wujud pengeboran, pemasangan alat perminyakan, penyimpanan minyak dan gas, serta pengolahan minyak dan gas (UU RI Nomor 22 Tahun 2001).

Eksploitasi sendiri merupakan kegiatan industri melibatkan lembaga berpayung hukum dan memiliki mandat dari negara. Pada prosesnya pihak yang melakukan eksploitasi memiliki orientasi untuk mendapatkan produk guna dijual pada masyarakat untuk memenuhi kebutuhan energi.

Pada proses pelaksanaannya, eksploitasi dan/atau pengolahan minyak dan gas kerap mengalami berbagai permasalahan. Mulai dari pembebasan lahan, kondisi lapangan, hingga kondisi batuan. Pada kasus batuan, kerap ditemui permasalahan yang relatif kompleks, salah satunya adalah perubahan sifat fisik batuan.

Perubahan sifat fisik batuan merupakan fenomena yang cenderung umum ditemui oleh beberapa eksploitor. Pada tahap lebih lanjut para eksploitor umumnya melakukan penelitian guna menangani masalah tersebut. Pada penelitian kali ini digunakan stimulasi vibrasi guna memprediksi perubahan sifat fisik batuan reservoir pada suatu lapangan.

Teknologi stimulasi vibrasi merupakan metode yang masuk dalam golongan *Enhance Oil Recovery (EOR)*. Ide dasar dari teknologi ini adalah kegiatan tektonik yang memberikan pengaruh yang begitu signifikan pada formasi batuan. Teknologi ini menerapkan stimulasi gelombang elastik dengan memanfaatkan generator berbentuk vibrator. Pada pelaksanaannya vibrator yang digunakan berjumlah 2 buah dengan posisi satu vibrator berada di atas permukaan dan sisanya berada di bawah permukaan. Vibrator yang berada di bawah permukaan disebut dengan generasi pertama sedang yang berada di atas permukaan disebut dengan generasi dua (Azis Tarmuzi: 2002). Adapun tujuan dan manfaat diberlakukannya teknologi ini adalah untuk meminimalisir saturasi minyak sisa, memperbaiki pergerakan minyak, mempercepat proses pemisahan antara minyak dan gas, serta memperbaiki permeabilitas relatif minyak (Belonenko: 2000).

Pada dasarnya terdapat berbagai macam teknologi yang dapat digunakan untuk menangani kasus serupa. Teknologi stimulasi vibrasi adalah salah satu alternatif yang dapat digunakan. Di samping dinilai lebih mudah dan praktis, metode ini juga dinilai lebih ramah lingkungan karena hanya memanfaatkan laboratorium sebagai tempat untuk dilakukannya stimulasi vibrasi, tidak harus terjun ke lapangan sebagaimana metode penelitian pada umumnya.

Menurut hasil analisis laboratorium yang dilakukan pada pra penelitian, didapat kesimpulan bahwa teknologi stimulasi vibrasi memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada permeabilitas absolut ( $K_{abs}$ ), peningkatan porositas ( $\phi$ ), dan penurunan saturasi minyak sisa yang terdapat di lokasi ( $S_{or}$ ). Dengan hasil di atas, ditindaklanjuti dengan meneruskan tujuan penelitian yakni menganalisis pengaruh stimulasi vibrasi dan tekanan *overburden* pada sifat fisik batuan reservoir, khususnya pada peningkatan porositas permeabilitas absolut ( $\phi K_{abs}$ ) dan minyak yang tersisa ( $S_{or}$ ).

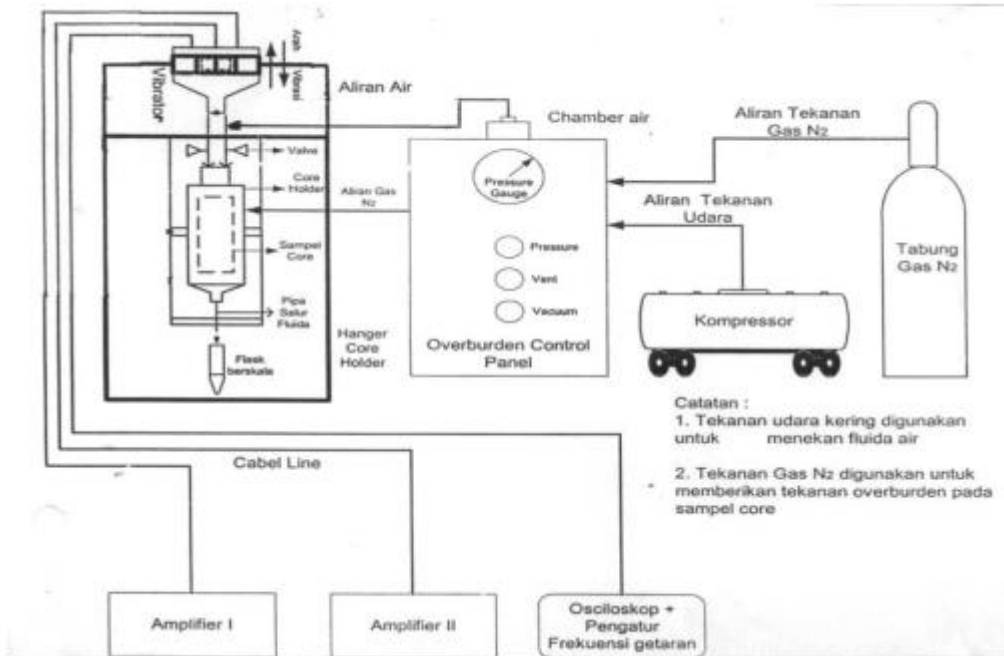
### **Metodologi Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kepustakaan. Secara sederhana studi kepustakaan diartikan sebagai kegiatan pengumpulan informasi dan/atau data melalui material kepustakaan seperti buku, dokumen, catatan, kisah sejarah atau lain sebagainya (Mardalis: 1999). Di samping pengertian di atas studi kepustakaan juga kerap diartikan sebagai kegiatan mempelajari berbagai referensi dan/atau hasil penelitian lain dengan bentuk penelitian yang juga sama guna mendapat landasan teori yang sesuai dengan masalah yang akan diteliti (Sarwono: 2006). Selain melakukan studi kepustakaan atau kajian literatur, dilakukan juga analisis data dari hasil laboratorium guna mengevaluasi dampak stimulasi vibrasi pada sifat fisik batuan reservoir. Pada penelitian ini digunakan *Hesler Permeameter* yang telah dipadukan dengan vibrator sebagai instrumen penelitian.

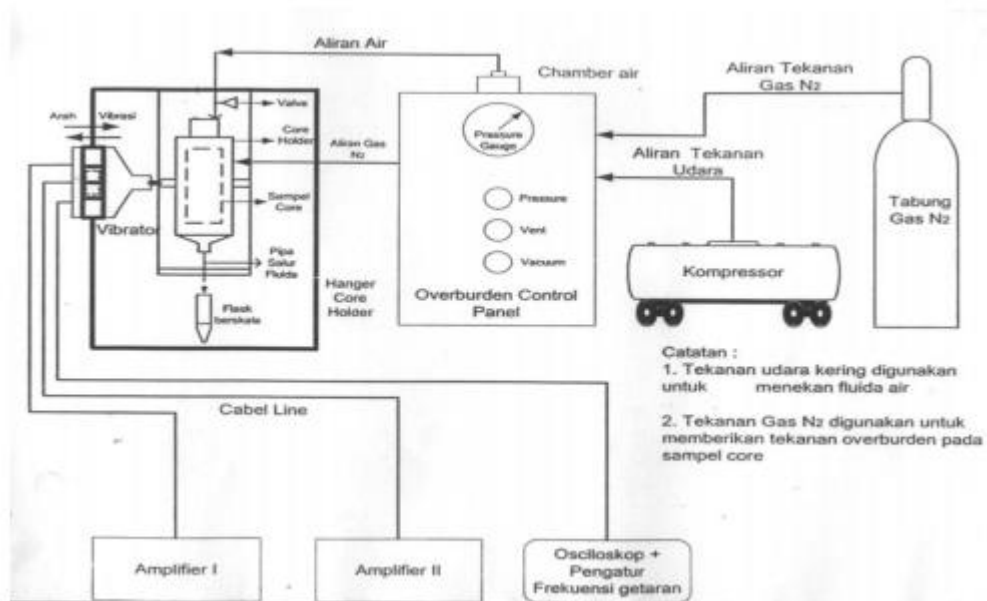
Lebih lanjut, pada penelitian ini akan dibentuk dalam 2 model alat yang berbeda, yakni model 1 dan model 2. Pada penelitian ini digunakan 4 efek frekuensi vibrasi yang akan digunakan untuk variasi efek vibrasi. Adapun 4 efek frekuensi vibrasi yang dimaksud adalah 5Hz, 10 Hz, 15Hz, dan 20Hz. Tidak hanya menggunakan efek frekuensi vibrasi, pada tahap lanjut, dimanfaatkan juga variasi efek tekanan *overburden* dengan ukuran mulai dari 100psig, 125 psig, 150 psig, 175 psig, dan 200 psig. Pada

proses penelitian nanti akan diperiksa 2 kondisi, yakni frekuensi Opt 10Hz dan Pob 100 psig (kondisi 1) serta frekuensi Opt 10Hz dan Pob 200 psig.

**Gambar 1**  
**Skematik Model Alat 1**



**Gambar 2**  
**Skematik Model 2**



Di samping menggunakan *Hesler Permeameter* juga digunakan *porosimeter*, *ruska gas permeameter*, dan vibrator. Posisi batuan inti yang digunakan dalam penelitian ini berada di kedalaman tidak lebih dari 1.800 meter dengan jenis *sandstone*.

Lebih lanjut, penelitian ini dilakukan melalui 3 tahapan yang berbeda, yakni tahapan pra vibrasi, tahapan pada saat vibrasi dan tahapan pasca vibrasi.

Tahapan pertama dilakukan dengan penelitian guna mencari data sifat petrofisik batuan inti (*core*) pada lapangan, yakni  $\varphi$ ,  $k_{abs}$ , dan  $S_{or}$ . Pada tahap kedua, dilakukan pengujian batuan inti (*core*) terhadap frekuensi dan tekanan yang telah ditetapkan menggunakan alat model 1 dan 2. Pada tahap lanjut –yakni tahapan 3– dilakukan pengukuran pada  $\varphi$ ,  $k_{abs}$ , dan  $S_{or}$ . Pengukuran sendiri tidak dilakukan begitu saja, melainkan harus melalui tahapan khusus. Adapun tahapan yang dimaksud adalah pengeringan batuan inti selama 24 jam di dalam oven.

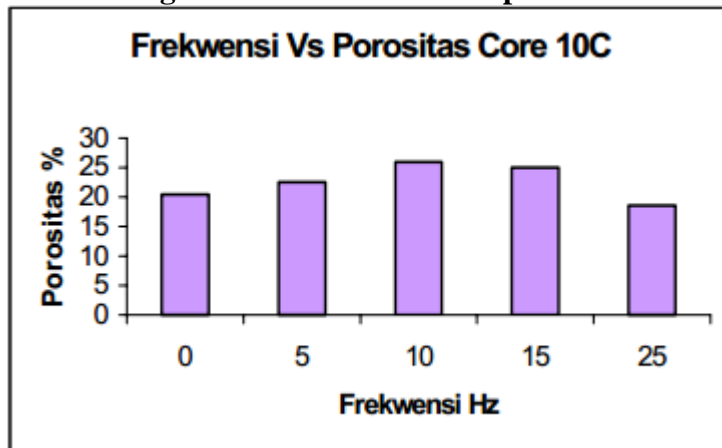
Berikut adalah prosedur umum analisis efek frekuensi dan tekanan pada porositas, permeabilitas absolut dan penurunan saturasi minyak;

1. Mempersiapkan batuan inti (*core*) sebanyak 15 buah.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap rangkaian instrumen yang akan digunakan.
3. Mempersiapkan air dengan pewarna merah guna memudahkan proses pengamatan atas *paraffin* yang telah diakumulasi pada *flash* berskala.
4. Melakukan pengukuran porositas ( $\varphi$ ), permeabilitas absolut ( $k_{abs}$ ) dan penurunan saturasi minyak sisa ( $S_{or}$ ).
5. Masukkan batuan inti yang telah dijenuhi dengan *paraffin* ke dalam *core holder* yang telah disiapkan. Pada proses lanjutan, dilakukan vibrasi dengan frekuensi dan tekanan yang telah ditentukan sembari didesak menggunakan air selama 15 menit.
6. Setelah proses vibrasi dilakukan proses selanjutnya adalah pengukuran vinal untuk mengetahui perubahan yang terjadi pasca kegiatan vibrasi.

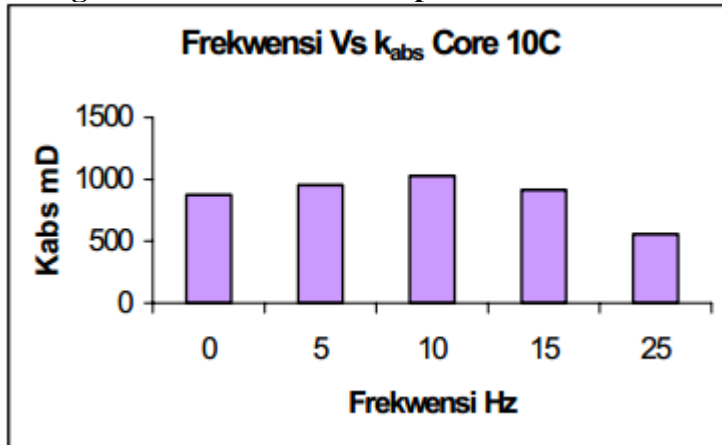
### **Hasil Penelitian**

Efek frekuensi vibrasi atas perubahan porositas batuan ( $\varphi$ ), permeabilitas absolut ( $k_{abs}$ ) dan penurunan saturasi minyak sisa ( $S_{or}$ ) untuk seluruh batuan inti diwakili pada angka 10Hz. Adapun untuk hasil dari perhitungan yang dimaksud dapat dilihat pada tabel berikut:

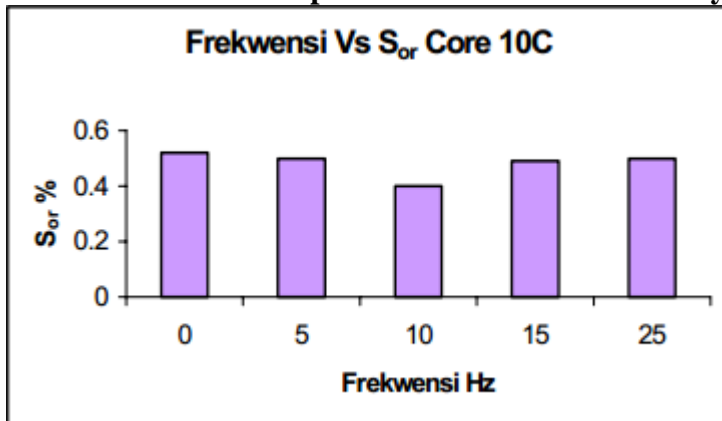
**Gambar 3**  
**Histogram Frekuensi Terhadap Porositas**



**Gambar 4**  
**Histogram Frekuensi Terhadap Permeabilitas Absolut**



**Gambar 5**  
**Histogram Frekuensi Terhadap Permeabilitas Saturasi Minyak Siswa**



Dari ketiga gambar di atas diketahui bahwa terdapat peningkatan porositas batuan ( $\phi$ ) sebesar 25,96%, permeabilitas absolut ( $k_{abs}$ ) sebesar 1.029,39 mD, dan

penurunan saturasi minyak sisa ( $S_{or}$ ) sebesar 0,4%. Dengan demikian hasil tersebut menerangkan bahwa batuan inti (*core*) 10C sama dengan 10Hz.

Pada tahap lanjutan ditentukan frekuensi optimum melalui persamaan berikut:

$$\omega = Cs / 4H$$

Keterangan:

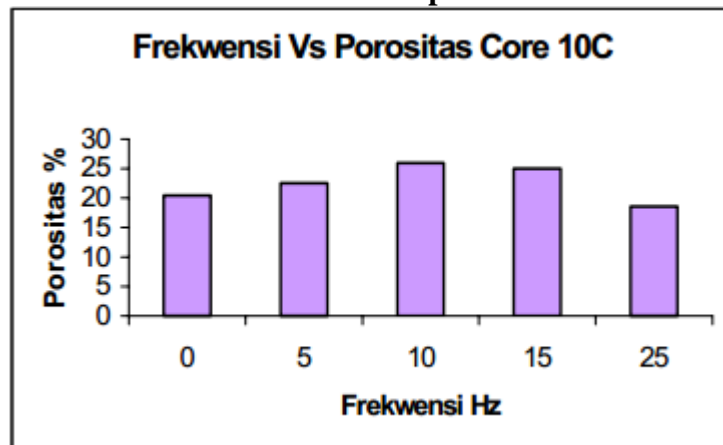
$\omega$  = frekwensi optimum (Hz).

$Cs$  = kecepatan gelombang *shear* (m/sec) 3.

$H$  = ketebalan formasi (m)

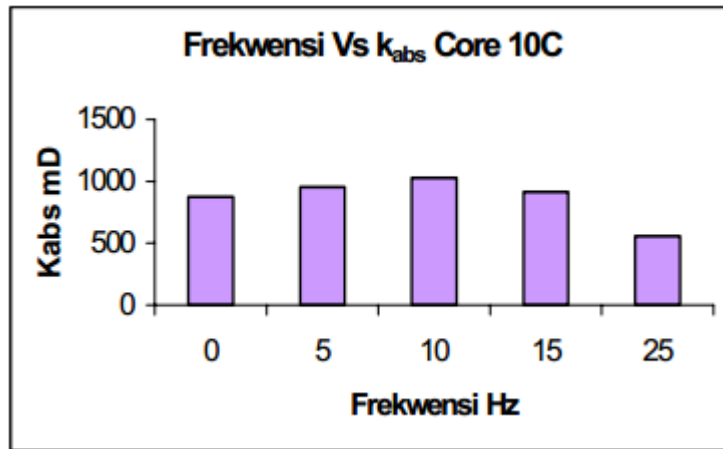
Apabila diketahui kecepatan gelombang *shear* adalah 1.000 meter/sec dengan ketebalan formasi 25 meter, maka frekuensi optimum disini ialah 10Hz. Berdasarkan hasil di atas maka penerapan konsep ini dianggap mampu diterapkan untuk memprogram frekuensi optimum mengingat ketebalan formasi mendekati kenyataannya.

**Gambar 3**  
**Frekuensi Terhadap Porositas**



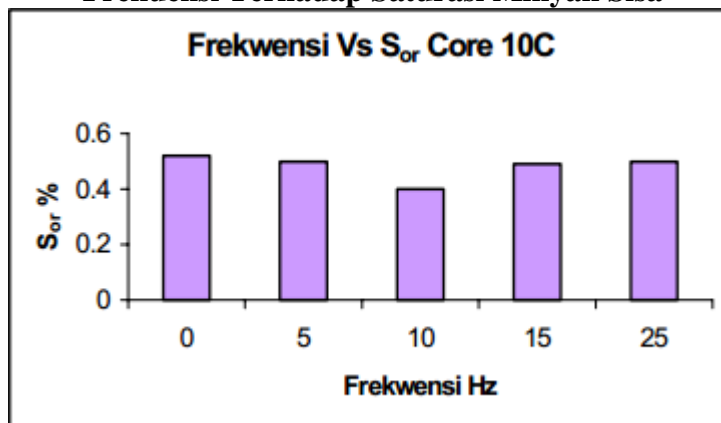
Gambar di atas menjelaskan bahwa kenaikan  $\phi$  *Core* diakibatkan oleh adanya perubahan pada butiran yang semula tidak teratur menjadi teratur. Di samping itu terdapat pula agitasi partikel pada rongga sehingga menimbulkan gesekan pada fluida dan batuan dan menyebabkan proses pelarutan partikel pada pori dan sementasi. Pada tahap yang lebih jauh kondisi ini akan menimbulkan disintegrasi material organik dan agregat penyumbatan. Kondisi ini akan diteruskan hingga terbentuk peronggaan dan menimbulkan peningkatan volume pori batuan. Akibat adanya hal tersebut porositi batuan kemudian mengalami peningkatan hingga 27%.

**Gambar 4**  
**Frekuensi Terhadap Permeabilitas**



Merujuk dari gambar di atas diketahui bahwa peningkatan permeabilitas terjadi akibat adanya hubungan antarpori-pori batuan, yang dimana dengan adanya hubungan tersebut batuan akan mengalami peningkatan pelulusan fluida yang lebih baik. Di samping disebabkan oleh hubungan antar pori, pertambahan permeabilitas juga diakibatkan oleh hal lain, yakni adanya penurunan tekanan kapiler dan penurunan viskositas. Pada umumnya penurunan tekanan kapiler mempermudah minyak mengalami disposisi dari keadalam semula. Artinya, pada kondisi ini, minyak akan sangat mudah lepas dari kontak batuan dan/atau objek lain yang ada di dekatnya. Dengan kata lain kondisi ini akan mempermudah minyak untuk mengalir di dalam reservoir. Adapun peningkatan permeabilitas yang terjadi pada kondisi ini adalah 17%.

**Gambar 5**  
**Frekuensi Terhadap Saturasi Minyak Sisa**



Merujuk dari gambar di atas dapat diketahui bahwa penurunan  $S_{or}$  sebanyak 23%. Menurut analisis peneliti penurunan tersebut terjadi akibat adanya efek frekuensi

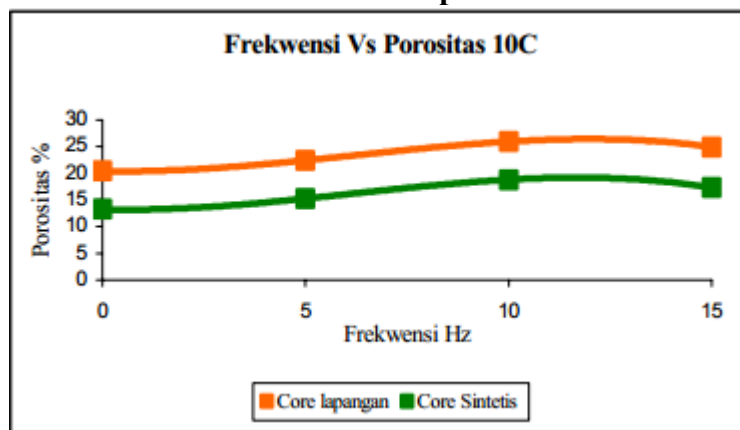


vibrasi. Lebih lanjut, efek frekuensi vibrasi pada penelitian ini menyebabkan perbaikan susunan partikel, yang pada tahap lanjut perbaikan tersebut menyebabkan partikel penyumbat pori larut. Pada prosesnya perbaikan susunan partikel diakibatkan oleh adanya proses agitasi partikel di dalam rongga. Pada anggapan lain penurunan  $S_{or}$  juga memiliki kaitan dengan peningkatan porositas dan permeabilitas. Dimana peningkatan permeabilitas terjadi akibat adanya peningkatan porositas dan perbaikan hubungan antara pori-pori.

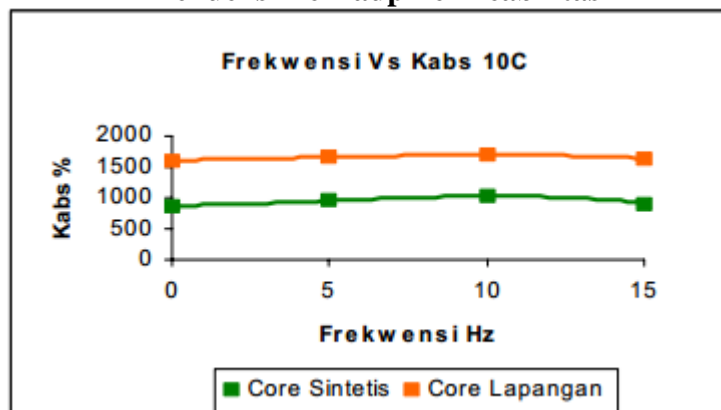
Dengan hasil-hasil di atas dapat dikatakan bahwa secara keseluruhan efek frekuensi vibrasi dapat menyebabkan kenaikan pada  $\phi$ ,  $K_{abs}$ , dan penurunan pada  $S_{or}$ .

Efek frekuensi vibrasi untuk batuan inti sintesis dan lapangan disajikan melalui gambar berikut ini:

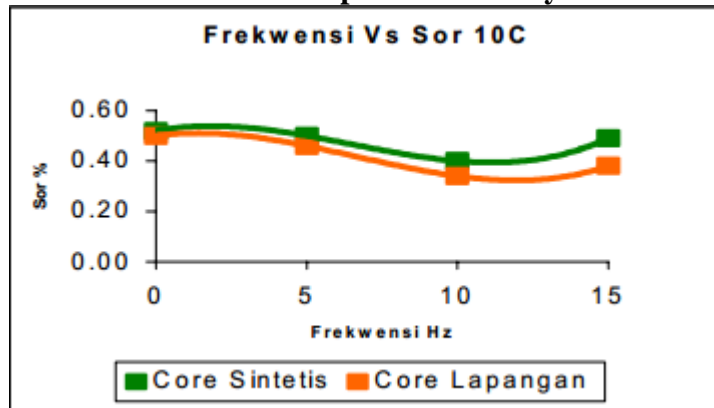
**Gambar 6**  
**Frekuensi Terhadap Porositas**



**Gambar 7**  
**Frekuensi Terhadap Permeabilitas**



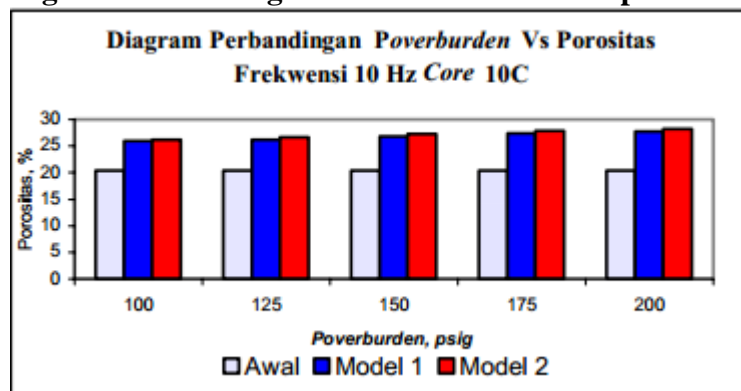
**Gambar 8**  
**Frekuensi Terhadap Saturasi Minyak Sisa**



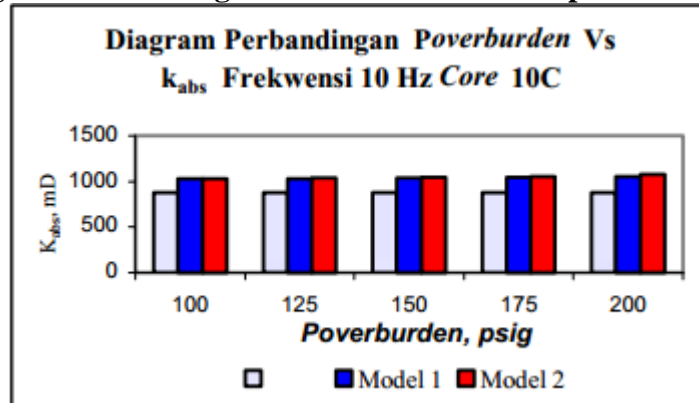
Dari ketiga gambar di atas diketahui terdapat persamaan hasil antara *core* sintesis dengan *core* lapangan. Dengan demikian, persamaan kecenderungan keduanya memberikan gambaran pola perubahan sifat fisik antara *core* sintetis dan *core* lapangan. Adapun kesamaan itu sendiri adalah adanya peningkatan pada porositi ( $\phi$ ), permeabilitas ( $K_{abs}$ ) dan penurunan saturasi minyak sisa ( $S_{or}$ ).

Untuk efek tekanan *overburden* dan frekuensi optimum 10Hz atas porositas, permeabilitas dan saturasi minyak sisa menggunakan alat model 1 dan 2 dapat disimak melalui gambar berikut:

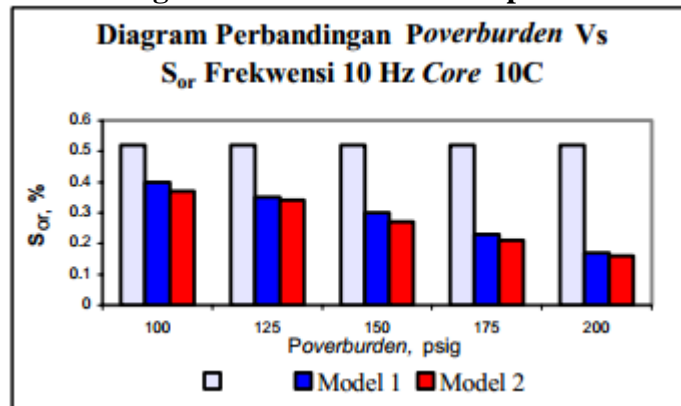
**Gambar 9**  
**Diagram Perbandingan *Poverburden* Terhadap Porositas**



**Gambar 10**  
**Diagram Perbandingan Poverburden Terhadap Permeabilitas**



**Gambar 11**  
**Diagram Perbandingan Poverburden Terhadap Saturasi Minyak Sisa**



Gambar di atas menerangkan bahwa pada proses ini didapatkan hasil berupa kondisi awal, dimana kondisi tersebut meliputi kondisi I (frekuensi 10Hz dan tekanan 100 psig) dan kondisi II (frekuensi 10Hz tekanan 200 psig). Adapun untuk prosentase kenaikan ketiga hal di atas dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 1**  
**Perubahan Popularitas, Permeabilitas, Saturasi Minyak Sisa**  
**Dari Kondisi Awal Ke Kondisi I**

Sifat Fisik Batuan	Kondisi Awal	Alat Model 1		Alat Model 2	
		Kondisii I	%	Kondisi I	%
$\phi$ , %	20.42	25.96	27.1	26.23	28.4
$k_{abs}$ , mD	875.13	1026.39	17.3	1030	17.7
$S_{or}$ , %	0.52	0.4	23.1	0.38	28.8

**Tabel 2**  
**Perubahan porositas, Permeabilitas, Saturasi Minyak Sisa**  
**Dari Kondisi Awal Ke Kondisi II**

Sifat Fisik Batuan	Kondisi Awal	Alat Model 1		Alat Model 2	
		Kondisii II	%	Kondisi II	%
$\phi$ , %	20.42	27.7	35.7	28.18	38
$k_{abs}$ , mD	875.13	1054.24	20.5	1074.13	22.7
$S_{or}$ , %	0.52	0.17	67.3	0.16	69.2

**Tabel 3**  
**Perubahan Porositas, Permeabilitas, Saturasi Minyak Sisa**  
**Dari Kondisi I ke Kondisi II**

Sifat Fisik Batuan	Alat Model 1			Alat Model 2		
	Kondisii I	Kondisi II	%	Kondisi I	Kondisi II	%
$\phi$ , %	25.96	27.7	6.7	26.23	28.18	7.43
$k_{abs}$ , mD	1026.39	1054.24	2.71	1030	1074.13	4.28
$S_{or}$ , %	0.4	0.17	57.5	0.38	0.16	57.9

Kendati telah didapat sebuah kondisi optimum yang diakibatkan stimulasi vibrasi pada frekuensi 10Hz dan tekanan 100 psig, kondisi tersebut masih dapat diperbaiki. Pada kondisi lanjutan, yakni kondisi 2 dengan peningkatan variasi tekanan frekuensi. Pada tahap ini ditemukan kondisi yang lebih baik dengan jumlah frekuensi senilai 10Hz dan tekanan *overburden* senilai 200 psig. Kondisi ini membuktikan bahwa efek tekanan *overburden* terhadap stimulasi vibrasi dapat menyebabkan kondisi sistem lebih *confined*. Dari kondisi ini dapat ditarik penalaran bahwa semakin tinggi tekanan *overburden*, semakin tinggi nilai porositi dan permeabilitas, serta semakin rendah nilai  $S_{or}$ . Dengan kata lain, kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat efek positif dalam penggunaan *overburden* terhadap skala laboratorium.

Keterpengaruh jarak dari sumber getaran ke frekuensi stimulasi vibrasi dapat dilihat pada alat model 1 dan 2. Pada alat model 2 vibrator diposisikan cenderung mendekati *core holder*, sehingga menyebabkan hasil penelitian yang lebih baik, terlebih jika dibandingkan dengan alat model 1. Hasil tersebut kemudian memunculkan spekulasi bahwa keterpengaruh jarak dari sumber getaran memberi hasil yang positif dan/atau baik untuk skala laboratorium.

Secara keseluruhan teknologi stimulasi vibrasi pada batuan inti lapangan membuahkan hasil yang baik pada kenaikan nilai porositi, permeabilitas dan saturasi minyak sisa. Teknologi ini juga memberikan pandangan baru mengenai sebuah pendekatan masalah. Pendekatan masalah yang digunakan dalam konteks ini adalah

pendekatan masalah yang berorientasi pada peralihan pendekatan masalah secara kimiawi ke fisika. Hasil-hasil di atas selanjutnya diharapkan memberikan dampak positif dan/atau sumbangsih dalam prediksi awal pemanfaatan teknologi stimulasi vibrasi, terlebih dengan adanya kesamaan antara batuan inti (*core*) sintetis dan batuan inti (*core*) lapangan.

### **Kesimpulan**

Dari hasil dan pembahasan di atas didapat beberapa kesimpulan sebagaimana berikut:

1. Frekuensi optimal pada stimulasi vibrasi atas batuan inti lapangan adalah 10Hz.
2. Pengaruh tekanan *overburden* atas frekuensi stimulasi vibrasi membuat sistem cenderung *confined* (tertutup akibat tekanan).
3. Adanya kesamaan pola perubahan sifat fisik antara batuan inti sintetis dan lapangan. Hal ini tergambar dari adanya peningkatan yang sama pada porositi, permeabilitas, serta saturasi minyak sisa pada kedua batuan inti.
4. Adanya kesamaan pola perubahan pada kedua jenis batuan inti memungkinkan pemanfaatan teknologi stimulasi vibrasi untuk memprediksi pola perubahan sifat fisik pada batuan reservoir di lapangan.

## BIBLIOGRAFI

- \_\_\_\_. 2002. Departemen Pendidikan Nasional Edisi Ke-3. Jakarta: Balai Pustaka  
Gramedia.
- Belonenko, V. N. 2000. *Vibroseismic Technology For Increasing Hydrocarbon Bed Recovery*. New Technology For The 21<sup>st</sup> Century 2000.
- Jonathan, Sarwono. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmua.
- Kitab Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2001 Mengenai Minyak dan Gas.
- Mardalis. 1999. *Metode Penelitian Suatu Pendekatan Proposal*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Tarmuzi, Azis. 2002. *Teknologi Akustik dan Vibrasi*. Jakarta: \_\_\_\_.