

Karakterisasi *Springless Geophone* dan Perancangan Sistem Selektor Sinyal *Geophone Array* untuk Meningkatkan *Signal to Noise Ratio Data Seismik*

(Characterization of Springless Geophone and Designing of Array Geophone Signal Selector System to Improve Signal to Noise Ratio of Seismic Data)

Yudi Kuntoro

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

Teregistrasi I tanggal 30 Januari 2015; Diterima tanggal 30 Januari 2015; Disetujui terbit tanggal: 30 April 2015

ABSTRAK

Geophone adalah gerbang pertama informasi citra bawah permukaan bumi pada survei seismik. Akurasi *geophone* memainkan peranan yang sangat penting pada survei tersebut. Hampir semua *geophone* yang berada di industri berbasis pegas. Masalah utama yang muncul pada *geophone* jenis pegas adalah perubahan nilai k (konstanta pegas) akibat pembebanan terus menerus. Perubahan nilai tersebut akan berpengaruh pada akurasi sinyal seismik yang dihasilkan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sebuah *geophone* berbasis magnet yang menggunakan gaya tolak menolak magnet sekutub sebagai pengganti pegas telah dikembangkan dan dinamakan *springless geophone*. Secara kualitatif, *springless geophone* dapat mempunyai frekuensi alami yang lebih baik dibandingkan *geophone* konvensional namun nilai sensitivitasnya lebih rendah. Permasalahan lain juga muncul pada sistem perekaman. *Geophone array* yang hanya dikonfigurasi dengan kombinasi seri-paralel menyebabkan *error* atau *noise* dari masing-masing *geophone* tidak dapat terdeteksi. Sebuah sistem selektor sinyal seismik telah dirancang untuk menghilangkan permasalahan *error* tersebut. Sistem tersebut bekerja dengan mengevaluasi sinyal dari masing-masing *geophone*, kemudian menyeleksi sinyal-sinyal yang identik dan mengeliminasi sinyal-sinyal yang tidak identik sehingga sinyal yang direkam hanya sinyal-sinyal yang identik. Jika nilai sinyal *geophone* terletak di antara batas atas dan batas bawah filter, maka sinyal dinilai identik. Jika tidak maka sinyal harus dieliminasi. Batas atas filter adalah penjumlahan dari nilai rata-rata dan deviasi standar sinyal *geophone* dalam satu grup. Sedangkan batas bawah adalah nilai rata-rata dikurangi deviasi standar.

Kata Kunci: *springless geophone*, seismik, *geophone array*, *noise*.

ABSTRACT

Geophone is the first gate for subsurface information on seismic survey. Geophone accuracy plays very important role in this survey. Most of industrial geophone is spring-based. The main problem of spring-based geophone is the change of k value (spring constant) because of load continuously. The change of k value will reduce the accuracy of the observed seismic data. To solve this problem, a magnet-based geophone which uses repulsion force of magnet to substitute the use of spring has been developed and named springless geophone. Qualitatively, the springless geophone has better natural frequency than conventional one but the sensitivity is lower. Another problem also takes place in recording system. Array geophone which is configured by series and parallel combination causes error or noise from each geophone can not be detected. A geophone array signal selector system has been designed to solve this problem. This system evaluates signal from each geophone simultaneously, then selects some identical signals, and eliminates unidentical signals so that only identical signal that will be recorded. If geophone signal is between top level and bottom level of filter, then the signal is considered as identical. If not, then the signal must be eliminated. Top level of the filter is addition of average and standard deviation of group geophones signals. Bottom level of filter is the difference between average and standard deviation.

Keywords: *springless geophone*, seismic, *array geophone*, *noise*.

I. PENDAHULUAN

Pada metode seismik, keberadaan *geophone* sangat penting. *Geophone* adalah perangkat transduser gelombang seismik yang menjalar di bawah permukaan bumi, sehingga merupakan pintu gerbang informasi tentang lapisan bawah permukaan.

Geophone yang berkembang di industri saat ini berjenis *moving coil geophone*, yaitu *geophone* dengan kumparan digantung pada pegas dan dapat bergerak terhadap magnet. Masalah utama yang muncul dari penggunaan pegas pada *geophone* adalah berubahnya nilai k pegas terhadap waktu akibat pembebanan mekanis. Hal ini akan mengurangi tingkat akurasi *geophone* karena nilai frekuensi alami (*natural frequency*) *geophone* akan berubah.

Selain itu, masalah lain yang juga muncul pada sistem perekaman seismik konvensional adalah masih ditemukannya beberapa kasus *geophone* yang tidak dapat merekam sinyal. Hal ini akan mengurangi kualitas data. Setiap *geophone* membawa informasi spesifik yang tidak dapat diwakilkan oleh pendekatan dengan metode numerik, sehingga sedapat mungkin setiap *geophone* harus bekerja dengan baik pada sebuah survei seismik.

Melalui penelitian ini penulis ingin mencari metode baru sistem *geophone* tanpa pegas dan metode untuk mengatasi kegagalan perekaman pada beberapa *geophone* yang tidak bekerja, dengan menyeleksi sinyal *geophone*. Untuk mencapai tujuan

tersebut, penelitian dilakukan dengan merancang dan mengkarakterisasi purwarupa (*prototype*) *geophone* menggunakan magnet dengan kutub saling tolak-menolak untuk menggantikan penggunaan pegas dan sistem selektor sinyal *geophone* yang dapat mengeliminasi sinyal dari *geophone* mati/*error* pada konfigurasi *array*.

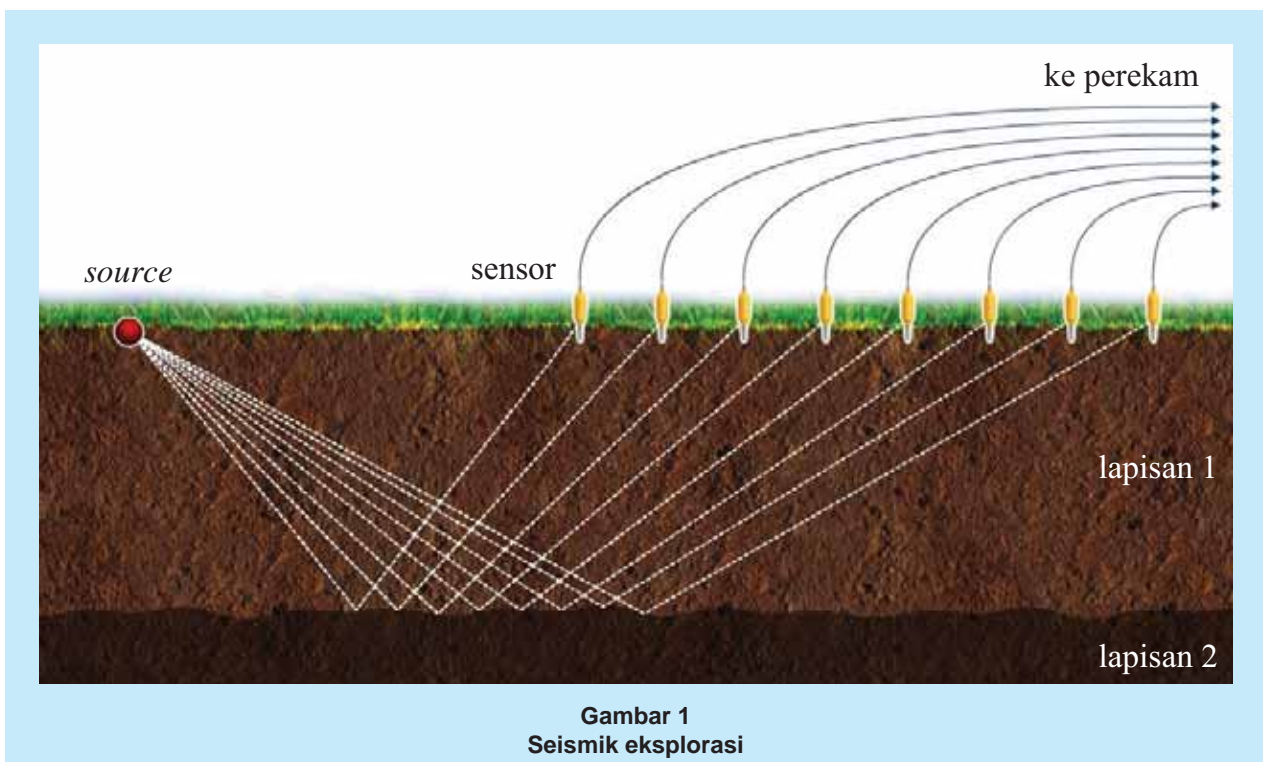
Telaah Pustaka

Metode Seismik

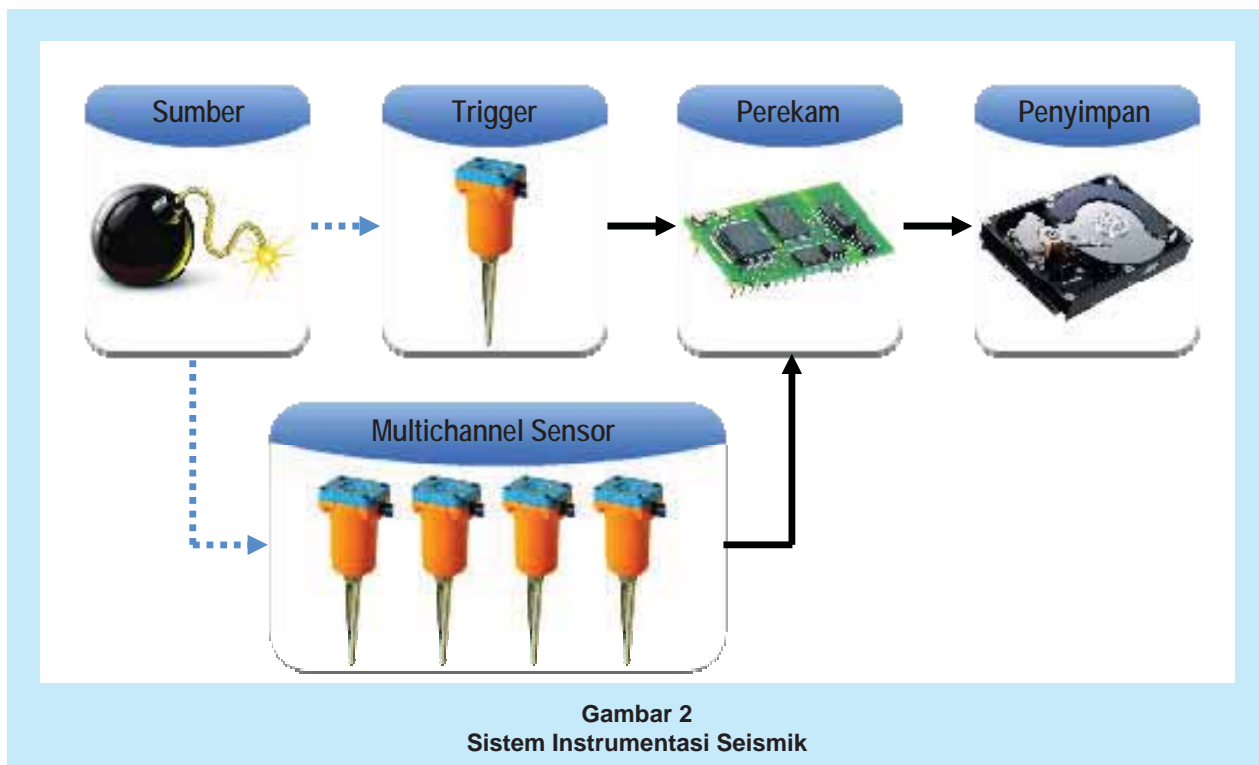
Menurut Gadallah (2005), seismik eksplorasi adalah kegiatan survei untuk mencitrakan struktur bawah permukaan bumi dengan mengukur respon bumi terhadap energi gelombang mekanik yang diinjeksikan ke bawah permukaan. Secara fisika, metode seismik dijelaskan pada Gambar 1.

Sistem Instrumentasi Seismik

Menurut McQuillin (1984), dalam survei seismik, sistem instrumentasi berawal dari sumber gelombang (*source*) yang menghasilkan energi mekanik yang memancar ke segala arah. Energi tersebut menjalar melalui bumi dalam bentuk gelombang longitudinal dan transversal. Gelombang tersebut akan diterima oleh sensor-sensor yang disebut *geophone*. *Geophone* mengubah getaran mekanik menjadi sinyal listrik. Sinyal yang diterima oleh *geophone* kemudian direkam oleh sistem perekam



Gambar 1
Seismik eksplorasi



Gambar 2
Sistem Instrumentasi Seismik

data dan kemudian disimpan dalam bentuk digital. Sistem instrumentasi seismik selengkapny dijelaskan melalui Gambar 2 Sistem instrumentasi seismik.

Gelombang seismik mulai menjalar ketika *source* meledak. Agar waktu penjalaran gelombang dapat diukur, pada saat yang bersamaan perekam harus mulai merekam, sehingga diperlukan sinkronisasi. Pada survei seismik, sinkronisasi dilakukan oleh *geophone* tunggal yang disebut *geophone trigger*. *Geophone trigger* diletakkan sangat dekat dengan sumber gelombang, sehingga pada saat *source* meledak, *geophone trigger* mengirimkan sinyal kepada perekam untuk memulai perekaman.

Geophone

Geophone adalah sensor pasif yang digunakan untuk mendeteksi gelombang seismik. Secara prinsip fisika, *geophone* terdiri atas kumparan yang dapat bergerak bebas di sekitar medan magnet permanen atau sebaliknya, magnet yang bergerak bebas di sekitar kumparan. *Geophone* bekerja dengan berprinsip pada Hukum Lenz yang menyatakan bahwa arus listrik sesaat akan muncul pada kawat konduktor yang digerakkan di dalam medan magnet. Secara fisis, prinsip gejala induksi menurut Hukum Lenz digambarkan pada Gambar 3.

Arus listrik sesaat tersebut akan menghasilkan tegangan induksi yang nilainya sebanding dengan

perubahan fluks magnetik terhadap perubahan waktu :

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

keterangan

- = ggl induksi / *electromotive force* (mV).
- = jumlah lilitan
- = nilai fluks

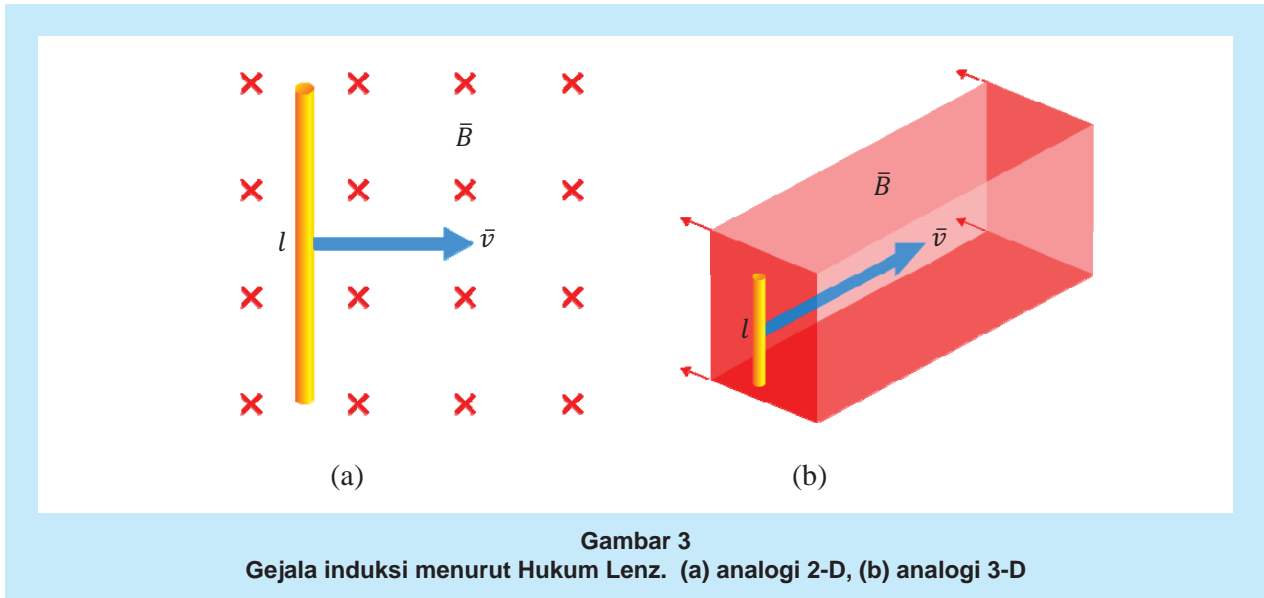
Fluks magnet dapat didefinisikan dengan rapat fluks dan luasan yang dilalui oleh aliran fluks tersebut , sehingga :

$$E = N\bar{B} \frac{dA}{dt} \quad (2)$$

Perubahan luasan dapat dinyatakan dan adalah keliling kumparan dan adalah pergeseran sesaat magnet terhadap kumparan, maka :

$$E = N\bar{B}l \frac{ds}{dt} = N\bar{B}lv \quad (3)$$

Kuantitas dan adalah konstanta, sehingga keluaran *geophone* hanya merupakan fungsi terhadap saja, sehingga sering disebut dengan *geophone velocity meter*. Gaya yang bekerja pada gerak osilasi kumparan yang tergantung pada pegas terhadap magnet pada *geophone* antara lain gaya gravitasi, gaya redaman dan gaya interaksi beban dengan



Gambar 3
Gejala induksi menurut Hukum Lenz. (a) analogi 2-D, (b) analogi 3-D

pegas. Persamaan gerak kumparan akibat gaya gravitasi adalah :

$$F_g = ma = m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (4)$$

Notasi menyatakan massa kumparan yang bergerak dan notasi menyatakan simpangan magnet terhadap kumparan. Gaya yang bekerja akibat redaman mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$F_d = C \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dx}{dt} \right) \quad (5)$$

keterangan

C = konstanta redaman

x = simpangan osilasi permukaan bumi

Sedangkan gaya akibat interaksi magnet mempunyai persamaan :

$$F_m = k(y - x) \quad (6)$$

sehingga persamaan gerak kumparan di dalam *geophone* yang memenuhi adalah sebagai berikut :

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + C \left(\frac{dy}{dt} - \frac{dx}{dt} \right) + k(y - x) = 0 \quad (7)$$

Dengan menganggap $y > x$ dan $y - x = z$, maka :

$$\frac{dy}{dt} > \frac{dx}{dt} ; m \left(\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{d^2x}{dt^2} \right) + C \frac{dz}{dt} + kz = 0 \quad (8)$$

Dengan memindahkan unsur ke ruas kanan, persamaan tersebut dapat ditulis

$$m \frac{d^2z}{dt^2} + C \frac{dz}{dt} + kz = -m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (9)$$

Persamaan 11 dapat ditulis

$$\frac{d^2z}{dt^2} + 2\beta \frac{dz}{dt} + \omega_n^2 z = \omega^2 X_0 e^{j\omega t} \quad (10)$$

dengan

$$\beta = \frac{C}{2m} ; \omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (11)$$

β adalah koefisien redaman dan adalah frekuensi sudut alami *geophone*. Keadaan-keadaan yang dapat muncul dari persamaan di atas adalah :

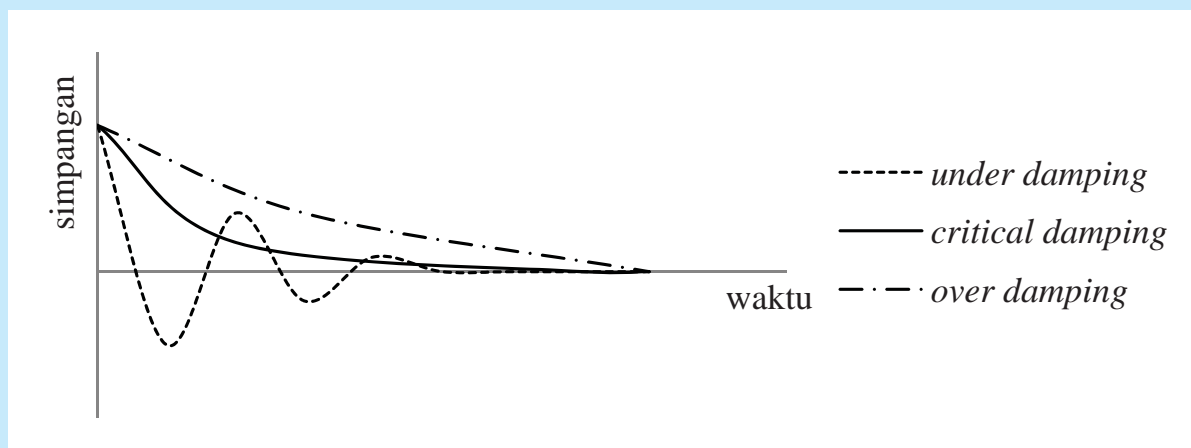
- **Keadaan under damping (teredam lemah)**
 $\omega_n^2 > \beta^2$
- **Keadaan critical damping (teredam kritis)**
 $\omega_n^2 = \beta^2$
- **Keadaan over damping (teredam kuat)**
 $\omega_n^2 < \beta^2$

Ketiga keadaan tersebut, jika diplotkan akan menghasilkan grafik seperti pada Gambar 4.

Sensitivitas *Geophone*

Untuk mengetahui korelasi antara sinyal masukan dan keluaran *geophone*, perlu diketahui kecepatan dari gerakan mekanik sinyal masukan, misalkan gerak osilasi sinusoidal.

$$x(t) = A \sin(\omega t + \delta) \quad (12)$$



Gambar 4
Gerak Osilasi Teredam pada *Geophone*

keterangan

A = amplitudo maksimum

ω = frekuensi sudut ()

δ = fasa

Maka, persamaan kecepatan dari gerak tersebut adalah turunannya.

$$v(t) = \omega A \cos(\omega t + \delta) \quad (13)$$

Kecepatan maksimum untuk gerak tersebut adalah :

$$v_{max} = \omega A = 2\pi f A \quad (14)$$

Sensitivitas *geophone* dapat diperoleh dengan membagi tegangan maksimum dari kurva keluaran dengan kecepatan maksimum dari kurva kecepatan.

$$S = \frac{V_{max}}{v_{max}} \quad (15)$$

Konfigurasi *Geophone*

Pada awal perkembangan seismik, *geophone* dikonfigurasi secara tunggal, yang berarti setiap *channel* dihubungkan dengan satu *geophone*. Namun, pada perkembangan berikutnya, setiap *channel* dihubungkan dengan beberapa *geophone*. Konfigurasi tersebut dikenal dengan istilah *geophone array*. Menurut Stark (2008), tujuan utama dari konfigurasi *geophone array* adalah untuk meningkatkan *signal to noise ratio*. Sinyal pada masing-masing *geophone* dalam satu *channel* akan saling menguatkan sementara *white noise* akan saling menghilangkan.

Asumsi umum dari beberapa kasus pemrosesan sinyal *array* adalah bahwa setiap sensor menghasilkan sinyal yang identik karena merekam informasi dari sumber yang sama. Sedangkan *noise* pada tiap-tiap sensor bersifat acak dan spesifik. Contoh paling sederhana dari penerapan *array signal processor* sebagai peningkat *signal to noise ratio* adalah dengan merata-ratakan keluaran sensor.

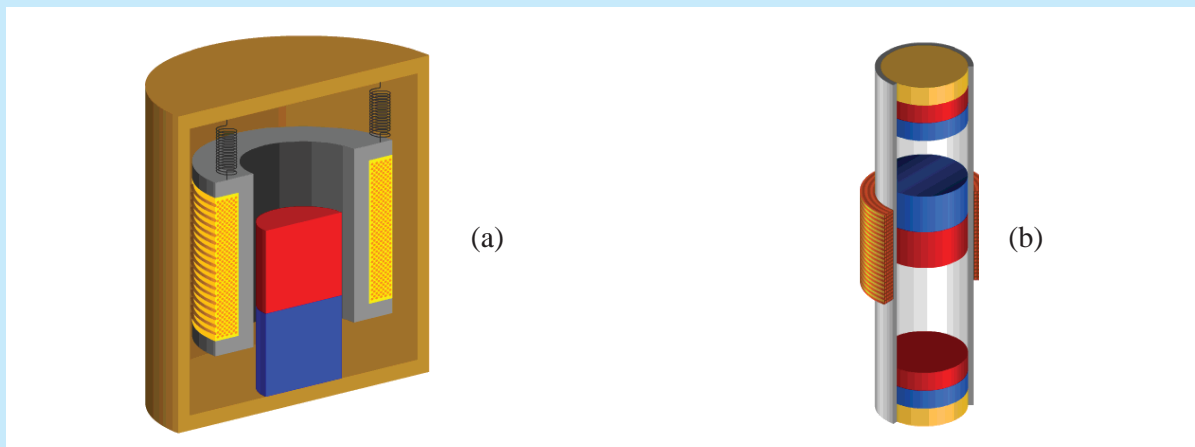
$$V^{(t)} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M V_i(t) = s(t) + \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M n_i(t) \quad (16)$$

Sinyal dari masing-masing sensor akan saling menguatkan karena mempunyai amplitudo yang identik. Sedangkan *noise*, yang bersifat acak akan saling menghilangkan.

II. BAHAN DAN METODE

Perancangan

Penelitian terdiri atas perancangan dan pengujian dari sistem-sistem. Perancangan sistem perangkat meliputi *springless geophone* dan sistem selektorsinyal *geophone*. Sistem selektor sinyal dilengkapi dengan perancangan perangkat lunak untuk menampilkan dan menganalisa sinyal yang direkam. Perancangan *springless geophone* terdiri atas pembuatan kerangka sistem, pembuatan kumparan, pemasangan magnet dan pemasangan casing. Perbedaan utama skema *springless geophone* terhadap *geophone* konvensional digambarkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5
Perbandingan Skema *Geophone* Konvensional (a) dan *Springless Geophone* (b)

Sistem selektor sinyal *geophone array* terdiri dari ADC yang menerima *input*, *processor* yang mengolah data dan DAC yang memberikan nilai *output* hasil pengolahan *processor* dalam bentuk analog untuk dapat diteruskan ke sistem perekam data. Sistem yang dirancang pada penelitian ini terdiri atas empat *channel geophone* dan NI cDAQ 9191 sebagai *array signal processor* yang mengevaluasi dan mengambil keputusan pada selektor sinyal. Sistem tersebut membentuk bagan sebagaimana terlihat pada Gambar 6.

Secara rinci, prinsip kerja dari sistem selektor sinyal dapat dilihat melalui diagram alir pada Gambar 7.

Pengujian

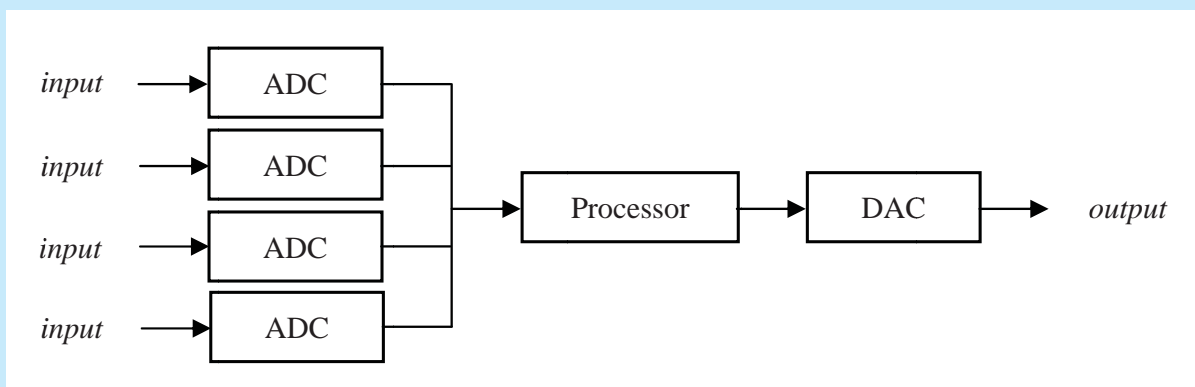
Karakterisasi *springless geophone* dilakukan dalam skala laboratorium dengan melakukan tiga pengujian untuk mendapatkan beberapa kuantitas.

Geophone diberi masukan berupa gelombang buatan dengan frekuensi yang dapat diatur, kemudian keluaran (tegangan listrik) diukur dan direkam untuk dapat melakukan perhitungan variabel-variabel yang dicari. Pemberian sinyal masukan dilakukan menggunakan bantuan alat meja vibrasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

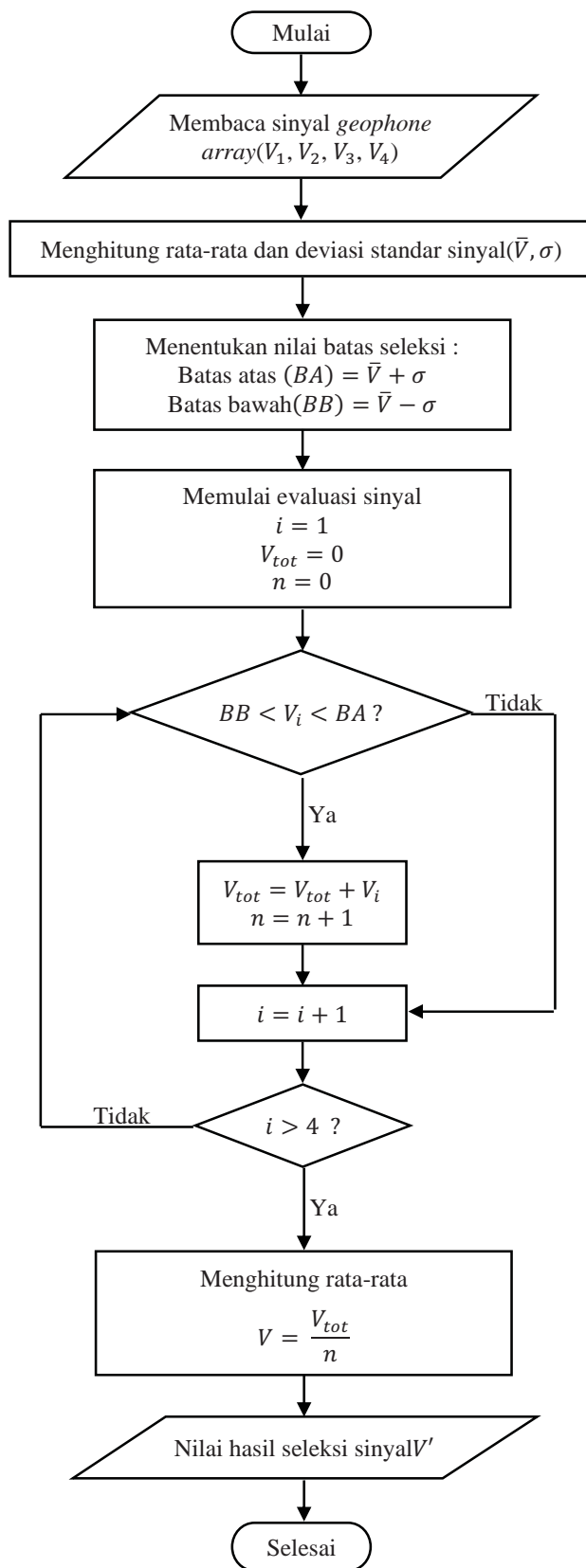
Meja vibrasi digerakkan oleh *gear* yang berputar menghasilkan fungsi sinus. Frekuensi vibrasi dapat diatur dengan mengatur kecepatan putaran *gear*.

Pengujian tersebut dilakukan untuk memperoleh :

- **Sensitivitas**(perbandingan output dan input *geophone*)
Sensitivitas akan diperoleh menggunakan Persamaan 15.
- **Respon Frekuensi**(sensitivitas pada variasi frekuensi dari rendah ke tinggi)



Gambar 6
Bagan Sistem Selektor Sinyal *Geophone Array*.



Gambar 7
Diagram Alir Sistem Selektor Sinyal Geophone Array



Gambar 8
Meja Vibrasi, Sumber Getaran Sinus Buatan

Pembentukan kurva respon frekuensi dilakukan dengan menguji sensitivitas pada berbagai variasi frekuensi, kemudian memplotkannya pada kurva.

- **Frekuensi alami (f_n) dan koefisien redaman (β).**

Frekuensi alami menyatakan frekuensi sistem ketika tidak ada vibrasi paksa dari luar. Koefisien redaman menggambarkan seberapa cepat getaran tersebut mengalami penurunan amplitudo getarnya hingga akhirnya berhenti bergetar.

- **Konstanta redaman (C) (kemampuan pegas dalam meredam getaran)**

Nilai konstanta redaman dapat dihitung dari massa pegas dan frekuensi alami berdasarkan persamaan 11.

- **Konstanta pegas virtual (k_v).**

Konstanta pegas (k) merupakan hasil perkalian antara kuadrat frekuensi alami (ω_n) dan massa beban yang bervibrasi (m), dalam hal ini magnet berperan sebagai beban. Konstanta pegas virtual dapat kita turunkan dari persamaan 11 menjadi :

$$k_v = \omega_n^2 m$$

Sistem selektor sinyal *geophone* diuji dengan memberikan masukan sinyal dari *geophone*. Pada beberapa *channel* diberikan gangguan agar sinyal yang dihasilkan mempunyai *error* atau *noise*. Pada keluaran sistem, sinyal diukur dan dievaluasi. Dari

keluaran tersebut dapat dianalisa apakah sistem dapat mengeliminasi sinyal-sinyal yang telah diberi gangguan tersebut.

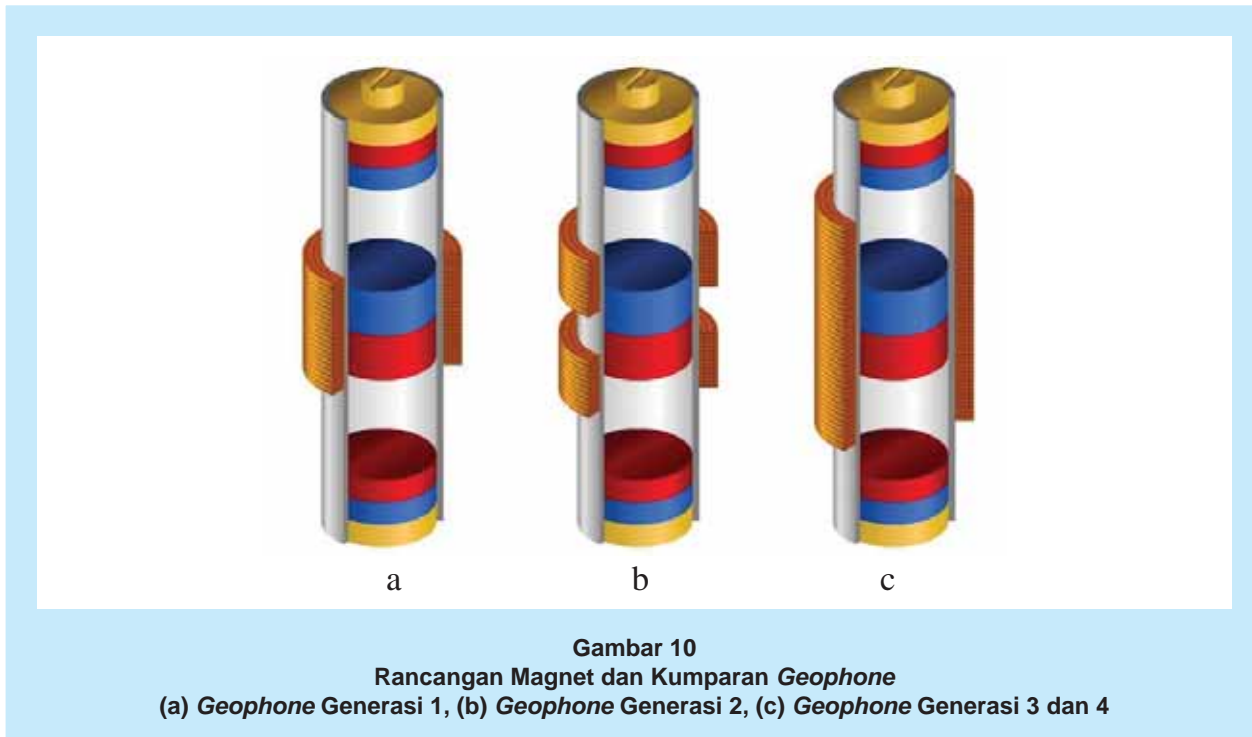
III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil Perancangan dan Pengujian *Geophone*

Geophone dirancang dalam beberapa eksperimen untuk menghasilkan performa yang lebih baik dari eksperimen sebelumnya. Secara keseluruhan, *springless geophone* telah mengalami perubahan rancangan sebanyak empat kali. Tampilan fisik dari keempat *geophone* tersebut disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9
Springless Geophone Hasil Rancangan



Springless geophone generasi pertama hingga keempat mempunyai dimensi, spesifikasi dan konsep yang berbeda-beda. Setiap *geophone* ditempatkan dalam *casing* yang terbuat dari bahan yang mempunyai suseptibilitas magnetik rendah. Rancangan yang digunakan pada masing-masing *geophone* ditunjukkan pada Gambar 10.

Spesifikasi masing-masing *geophone* disajikan dalam tabel 1.

Keempat generasi *geophone* tersebut dikarakterisasi dalam lingkungan dan parameter yang sama. Dari pengujian-pengujian tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :

Sensitivitas

Pengukuran sensitivitas dilakukan pada frekuensi

12Hz untuk semua *geophone*. Sedangkan amplitudo vibrasi dipilih $6 \text{ mm}_{\text{peak-to-peak}}$.

Dari masukan tersebut, maka akan diperoleh kurva kecepatan dengan nilai v_{max} sebesar :

$$v_{\text{max}} = 2\pi f A$$

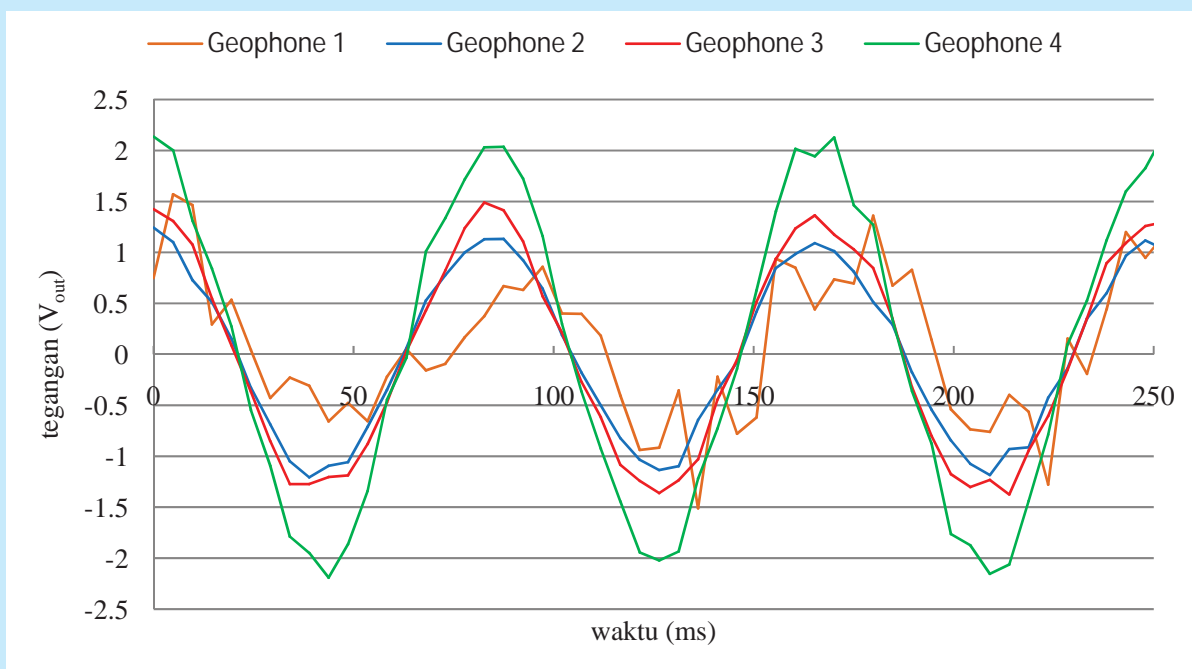
$$v_{\text{max}} = 226 \text{ mm/s}$$

Pada uji sensitivitas tegangan intrinsik, keempat generasi *geophone* di atas menghasilkan sinyal keluaran sebagaimana pada Gambar 11.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa *geophone* generasi 1 belum dapat memberikan keluaran yang mempunyai korelasi dengan masukan yang diberikan. Magnet pada *geophone* 1 tidak

Tabel 1.
Spesifikasi masing-masing *Geophone*

Variabel	Generasi 1	Generasi 2	Generasi 3	Generasi 4
Resistansi kumbaran (<i>R</i>)	60 Ω	160 Ω	180 Ω	180 Ω
Jumlah lilitan (<i>N</i>)	300	400	500	500
Diameter kawat	0.2 mm	0.1 mm	0.1 mm	0.1 mm
Bahan magnetik	ferrite	ferrite	ferrite	ferrite
Diameter magnet (<i>d</i>)	8 mm	15 mm	15 mm	15 mm
Massa magnet (<i>m</i>)	24 gr	30 gr	30 gr	30 gr



Gambar 11
Sinyal Hasil Keluaran Geophone

berosilasi dengan baik akibat gesekan dengan dinding *geophone*. Sedangkan pada *geophone* generasi ke-2 sudah ada perkembangan. Dari kurva tersebut, jika diregresi ke dalam persamaan sinus dapat diketahui bahwa yang dihasilkan ketiga *geophone* tersebut berturut-turut adalah 1,1V, 1,3V dan 2V. Maka berdasarkan Persamaan 24, sensitivitas *geophone* tersebut adalah :

$$S = \frac{V_{max}}{v_{max}}$$

$$S_2 = \frac{1,1 V}{22,6 cm/s} = 4,9 \frac{V}{m/s}$$

$$S_3 = \frac{1,3 V}{22,6 cm/s} = 5,8 \frac{V}{m/s}$$

$$S_4 = \frac{2 V}{22,6 cm/s} = 8,8 \frac{V}{m/s}$$

Geophone industri yang sudah banyak digunakan, misalkan SM-24 atau tipe GS-20DX, mempunyai sensitivitas tegangan intrinsik 28 V/m/s. Dengan demikian, *springless geophone* mempunyai sensitivitas yang lebih rendah.

- **Respon frekuensi**

Pengukuran sensitivitas untuk membentuk kurva respon frekuensi dilakukan pada variasi frekuensi 1/2, 1, 2, 3, 5, 8, 12, 15 dan 19Hz.

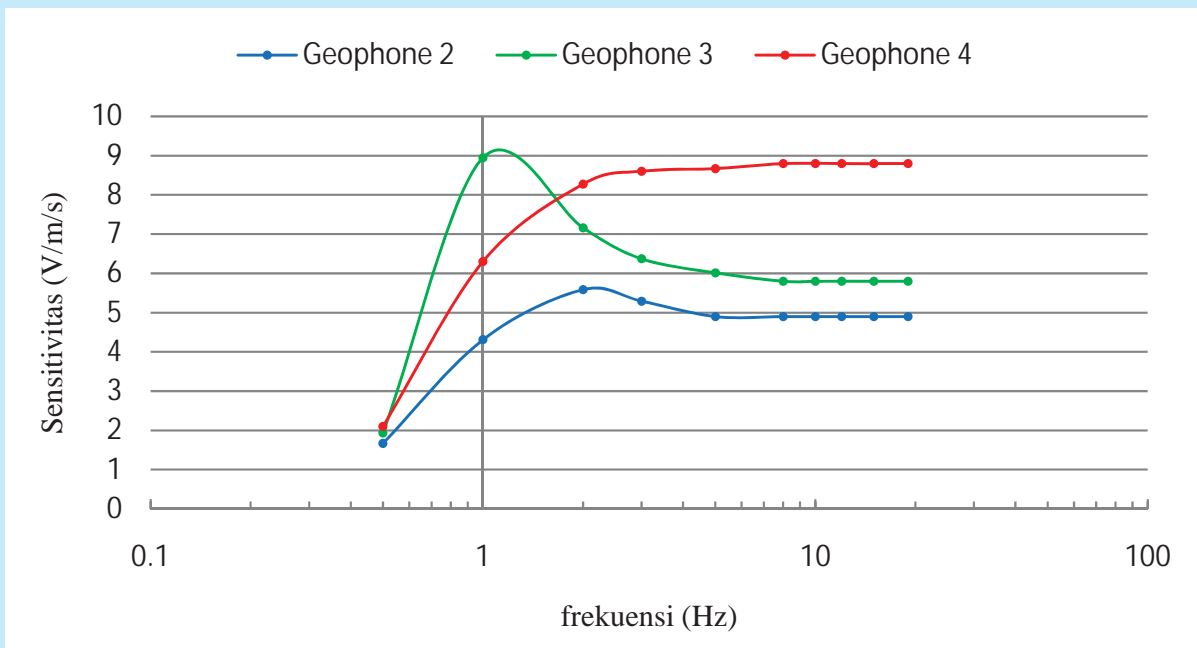
Kemudian nilai sensitivitas pada masing-masing frekuensi diplot pada koordinat Cartesius dengan sumbu x logaritmik dan sumbu y linier. Kurva yang diperoleh dari *geophone* generasi ke-dua hingga ke-empat adalah sebagaimana tertera pada Gambar 12.

Dari kurva di atas, dapat diamati bahwa *geophone* generasi 2 mengalami kestabilan sensitivitas dimulai pada frekuensi sekitar 5 Hz, *geophone* generasi 3 pada 9-10 Hz dan generasi 4 pada 7-8 Hz. *Geophone* SM-24 dan tipe GS-20DX mempunyai frekuensi alami 10Hz, sehingga akan merespon dengan baik frekuensi di atas 10 Hz, dan kurang baik pada frekuensi di bawah 10 Hz. Dari hasil di atas, *springless geophone* mempunyai respon yang lebih baik.

- **Frekuensi alami dan koefisien redaman**

Pengukuran frekuensi alami () dan koefisien redaman () dilakukan dengan cara memberikan masukan setengah periode gelombang kepada *geophone* sehingga terbentuk gelombang paku (*spike*). Perekaman dilakukan dengan *sampling rate* 5 ms atau 200 Hz. Pengukuran tersebut pada *springless geophone* generasi 2 hingga 4 menghasilkan kurva pada Gambar 13.

Dengan mengetahui periode getaran, frekuensi alami dan frekuensi sudut alami dapat ditentukan dengan persamaan :



Gambar 12
Kurva Respon Frekuensi Geophone

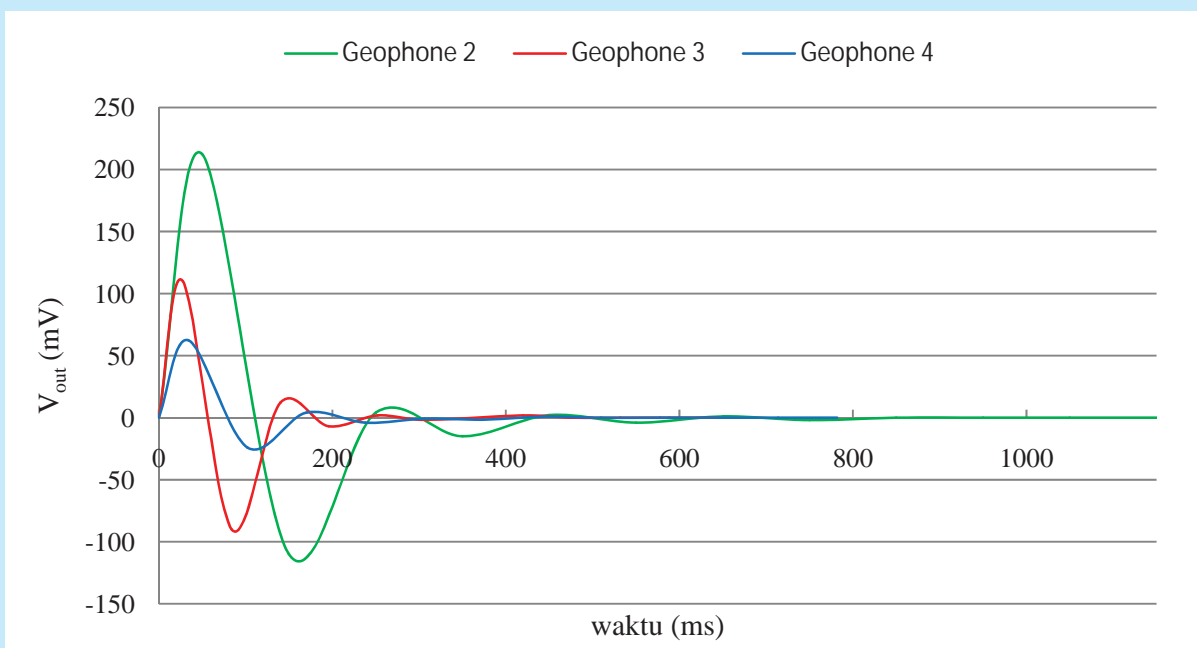
$$f_n = \frac{1}{T}$$

$$\omega_n = 2\pi f_n$$

Gambar di atas menunjukkan bahwa periode getaran untuk *geophone* 2, 3 dan 4 berturut-

turut adalah 200 ms, 110 ms, 140 ms. Dengan demikian, frekuensi alami (f_n) dan frekuensi sudut alami (ω_n) dari masing-masing *geophone* adalah :

Redaman gerak osilasi ideal mengakibatkan penurunan amplitudo secara eksponensial,



Gambar 13
Kurva Pengukuran f_n dan β geophone

sehingga koefisien redaman dapat diperoleh melalui persamaan :

$$f_{n_2} = \frac{1}{200} = 5 \text{ Hz} \quad f_{n_3} = \frac{1}{110} = 9,1 \text{ Hz}$$

$$\omega_{n_2} = 10\pi \text{ Rad/s} \quad \omega_{n_3} = 18,2\pi \text{ Rad/s}$$

$$f_{n_4} = \frac{1}{140} = 7,1 \text{ Hz}$$

$$\omega_{n_4} = 14,2\pi \text{ Rad/s}$$

Dengan memasukkan nilai pada kurva di atas ke dalam persamaan tersebut, diperoleh nilai pada masing-masing *geophone* sebagai berikut :

- **Analisis Getaran Sistem terhadap Redaman**

Dari nilai ω_n dan β dapat dianalisa kategori getaran tersebut.

Geophone	$\beta^2(S^2)$	$\omega_n^2(S^2)$	Perbandingan
ke-2	396	987	$\beta^2 < \omega_n^2$
ke-3	396	3269	$\beta^2 < \omega_n^2$
ke-4	408	1990	$\beta^2 < \omega_n^2$

Semua sistem mempunyai nilai , sehingga getaran yang dihasilkan dari ketiga sistem tersebut masuk ke dalam kategori *underdamping* (teredam lemah).

- **Konstanta Redaman**

Konstanta redaman dihitung dengan memasukkan nilai koefisien redaman dan massa magnet ke dalam persamaan 16. Perhitungan tersebut menghasilkan nilai berikut :

$$C_2 = 1,194 \text{ kg/s} \quad C_3 = 1,188 \text{ kg/s}$$

$$C_4 = 1,212 \text{ kg/s}$$

- **Konstanta Pegas Virtual**

Dari massa magnet dan frekuensi alami sistem *springless geophone*, melalui persamaan 17 diperoleh nilai konstanta pegas virtual sebagai berikut :

$$k_{v_2} = 29,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \quad k_{v_3} = 98,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$k_{v_4} = 59,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

- **Hasil Perancangan Sistem Selektor Sinyal**

Perangkat antarmuka yang digunakan untuk menangkap sinyal keluaran *geophone* adalah modul

NI 9239 dan cDAQ 9191. Secara fisik, komponen-komponen tersebut digambarkan pada Gambar 14.

Perangkat lunak sistem selektor sinyal *geophone array* yang telah dirancang mempunyai blok diagram *vi* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15.

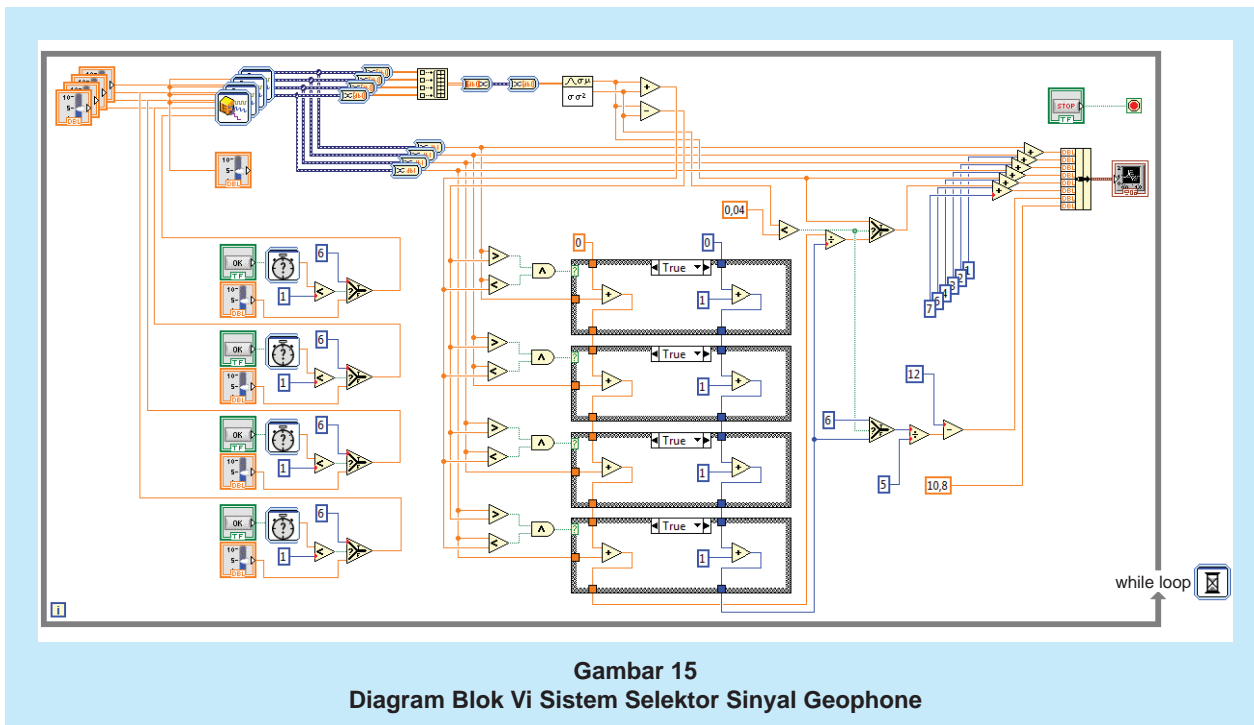
Diagram blok *vi* pada Gambar 20 adalah bentuk pemrograman komputer berbasis grafis yang dijalankan atau dikompilasi oleh perangkat lunak *LabView*. Secara singkat dapat dijelaskan bahwa sinyal keluaran *geophone* digambarkan pada bagian kiri atas, *display* sinyal keluaran pada bagian kanan atas, sedangkan bagian bawah merupakan representasi algoritma pengolahan sinyal.



Gambar 14
Modul Antarmuka Akuisisi NI 9239 dan cDAQ 9191

Hasil Pengujian Sistem Selektor Sinyal

Sistem selektor sinyal *geophone array* diuji dengan memberikan tiga masukan sinyal identik dan satu sinyal *error*. Empat *geophone* tersebut diberi sinyal yang sama. Pada waktu tertentu, salah satu *geophone* dilepas dari meja vibrasi, sehingga tidak menghasilkan sinyal yang identik dengan tiga *geophone* lain. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan sebagaimana tertera pada Gambar 16.



Gambar 21 di atas menunjukkan bahwa pada saat salah satu *geophone* dilepas, sinyal keluaran yang dihasilkan tidak lagi menyertakan sinyal dari *geophone* tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem dapat menyeleksi sinyal yang tidak identik dalam mengumpulkan sinyal *geophone array*.

$$E_{acc} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{err}} (V_i - V_n)}{n}$$

di mana V_i adalah tegangan keluaran *geophone error* ke- i dan V_n adalah tegangan keluaran *geophone normal*.

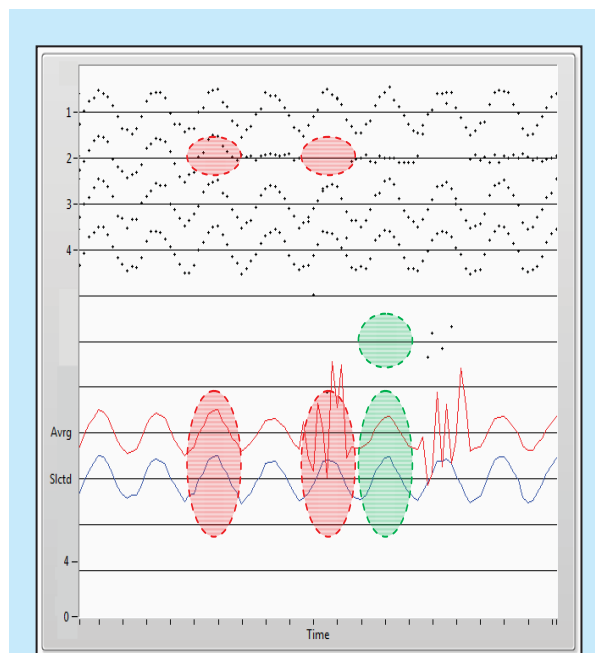
Peningkatan *signal to noise ratio* yang diperoleh dari sistem tersebut sebanding dengan *noise* yang terdapat pada masing-masing *geophone*. Secara kuantitatif, pendeteksian *noise* didefinisikan dalam dua kondisi :

- **Geophone mati** (ditunjukkan dengan tanda elips merah pada gambar 21). Besarnya *error / noise* yang dikoreksi oleh sistem selektor ini adalah :

$$E_{acc} = \left(\frac{n_{err}}{n}\right) V_n$$

di mana E_{acc} adalah *error* akumulatif (grup), n_{err} adalah jumlah *geophone* yang mati, n adalah jumlah seluruh *geophone* dalam satu grup dan adalah tegangan keluaran *geophone normal*.

- **Sumber eksternal** (ditunjukkan dengan tanda elips hijau pada gambar 21). Besarnya *error/ noise* secara akumulatif adalah selisih antara tegangan keluaran *geophone* yang mengalami sinyal ekstrim dengan *geophone normal* dibagi jumlah seluruh *geophone* dalam satu channel.



IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Springless geophone mempunyai frekuensi alami yang lebih baik namun sensitivitasnya lebih rendah dibanding *geophone* konvensional. Sensitivitas *springless geophone* maksimum hanya dapat mencapai 8,8 V/m/s sedangkan *geophone* konvensional mempunyai nilai 28 V/m/s.

Sistem selektor sinyal *geophone* yang dirancang pada penelitian ini berhasil mengoreksi *noise / error* sinyal *geophone array* sehingga dapat meningkatkan *signal to noise ratio* data seismik yang akan direkam. *Error / noise* yang dapat ditekan / direduksi oleh sistem ini antara lain kondisi *geophone* mati dan *geophone* yang mendapatkan *vibrasi* dari sumber lain sehingga menghasilkan amplitudo lebih besar.

KEPUSTAKAAN

- Brincker, R., Lagö, T.L. et al.**, 2005. Improving the Classical *Geophone* Sensor Element by Digital Correction. 23rd International Modal Analysis Conference (IMAC), Orlando, Florida.
- Gadallah, M.R., Fisher, R.L.**, 2005. *Applied Seismology: A Comprehensive Guide to Seismic Theory and Application*. Pennwell. Oklahoma.
- Johnson, D.H., & Dudgeon, D. E.**, 1993. *Array Signal Processing: Concepts and Techniques*. PTR Prentice Hall. New Jersey.
- McQuillin, R., Bacon, M., & Barclay, W.**, 1984. *An Introduction to Seismic Interpretation: Reflection Seismic in Petroleum Exploration*. Gulf Publishing. Houston.
- O'Brien, P.N.S.**, 1964. *Geophone Distorsion of Seismic Pulses and its Compensation*. *Twenty Sixth Meeting of The European Association of Exploration Geophysics in Pau*, 19.
- Palmer, R. A.**, 1964. A New Technique For The Measurement of *Geophone* Parameter under Fields Conditions. *Twenty Sixth Meeting of The European Association of Exploration Geophysics in Pau*, 423.
- Rost, S., Thomas, C.**, 2002. Array Seismology: Methods and Applications. *American Geophysical Union. Reviews of Geophysics*, 40, 3.
- Sismanto.**, 1996. *Pengolahan Data Seismik*. Universitas Gadjahmada. Yogyakarta.
- Stark, A.**, 2008. *Seismic Methods and Applications: A Guide for the Detection of Geologic Structures, Earthquake Zones and Hazards, Resource Exploration, and Geotechnical Engineering*. BrownWalker Press. Florida.
- Stone, D. G.**, 1994. *Designing Seismic Surveys in Two and Three Dimensions*. Society of Exploration Geophysicists. Oklahoma.
- Streickeisen et al.**, 1982. Design and Performance, *The Leaf-Spring Seismometer*, 72, 2352.
- Thomson, W. T.**, 1981. *Theory of Vibration with Application, 2nd edition*. Prentice Hall. New Jersey.
- Yilmaz, Ö.**, 1987. *Seismic Data Processing*. Society of Exploration Geophysicists. Oklahoma.