

**DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *GEOPHONE*
BERBASIS MEMS *ACCELEROMETER***

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika**

**Oleh :
EVI SUAEBAH
0510930024**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2009**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *GEOPHONE*
BERBASIS *MEMS ACCELEROMETER***

Oleh :
EVI SUAEBAH
0510930024

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr.Eng. Didik R. Santoso,M.Si
NIP. 132 086 158

Adi Susilo, Ph.D
NIP. 131 960 447

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Adi Susilo, Ph.D
NIP. 131 960 447

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Evi Suaebah

NIM : 0510930024

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *GEOPHONE* BERBASIS *MEMS ACCELEROMETER*

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang,

Yang menyatakan,

Evi Suaebah

NIM. 0510930024

DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR *GEOPHONE* BERBASIS *MEMS ACCELEROMETER*

ABSTRAK

Penelitian sensor *geophone* dengan menggunakan komponen utama berupa MEMS akselerometer MMA7260QT telah dilakukan. Pengkondisi sinyal, yang merupakan bagian penting dari desain ini, disusun atas rangkaian *charge amplifier*, rangkaian filter dan rangkaian penguat tegangan. Metode dari penelitian ini yaitu mengukur perbandingan antara gelombang datang pertama untuk sensor pertama dengan gelombang datang pertama untuk sensor kedua. Ujicoba telah dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan modul *geophone* standar yang ada di Laboratorium Geofisika. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sensor *geophone* hasil rancangan telah berfungsi dengan baik. Sensor mampu mendeteksi gelombang yang dihasilkan dari sumber dengan perbedaan waktu datang untuk sensor pertama dengan sensor kedua. Namun, untuk penelitian lanjut, perlu dilakukan studi korelasi antara *delay* waktu yang dihasilkan dari sensor MEMS dengan *delay* waktu dari *geophone* laboratorium.

Kata kunci: MEMS akselerometer, *geophone*, *charge amplifier*.

DEVELOPMENT OF GEOPHONE SENSOR BASED ON MEMS ACCELEROMETER

ABSTRACT

Research geophone sensor by using main component MEMS accelerometer MMA7260QT has been done. Signal condition, is important part of this design, compiled to the network charge amplifier, network filter and network of voltage amplifier. Method from this research is measure comparison between first arrival wave to sensors first and first arrival wave to sensor second. Test-drive has been done at laboratory scale by using module geophone standard that exist in Laboratorium Geophysics. Test-drive Result indicates that sensor geophone design result has functioned properly. sensor can detect wave that produced from source with time difference come to sensors first by second sensors. Nevertheless, for research continue, must studied correlation between delay time that produced from sensor MEMS and delay time from geophone laboratory.

Key word: geophone, MMA7260QT, charge amplifier

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah S.W.T, segala Rahmat dan karuniaNya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan Skripsi dengan judul “**DESAIN DAN PEMBUATAN SENSOR GEOPHONE BERBASIS MEMS ACCELEROMETER**”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Fisika di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Dalam penulisan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Mama, ibu, Bapak, dan keluarga besar yang ada di Cianjur atas semua yang telah diberikan, mimpi, semangat, motivasi, doa, dan dukungannya selama ini.
2. Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si sebagai pembimbing I atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan Skripsi.
3. Drs. Adi Susilo, Ph.D selaku sebagai pembimbing II dan Ketua Jurusan Fisika atas segala bentuk bimbingan yang beliau berikan selama penyusunan skripsi.
4. Bapak dan ibu dosen, staf pengajar, laboran, dan karyawan jurusan fisika
5. Buat Ersy, terimakasih atas semangat, bantuan, kebersamaan dan doanya. Semoga kita mendapatkan yg terbaik, amin.
6. Buat Ulfa, enik, Rateh, Pitri, terimakasih untuk semuanya. Untuk persahabatan kita selama ini
7. Mas Aul, Fendi, Romi, Tika, Novita, Rio, Mas Hendra, Mbak Rinti, Mas Dimas, terimakasih atas bantuan dan Ilmunya.
8. Angkatan 2005, yang terlihat ANEH namun Istimewa. Semoga selalu diberikan yang terbaik, Amin

Akhir kata penulis memohon maaf sebesar-besarnya atas segala bentuk kekurangan dalam penyusunan Skripsi ini.

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 <i>Geophone</i>	5
2.2 Akselerometer Sensor	7
2.2.1 Fitur dan Arsitektur Akselerometer 7260QT	7
2.2.2 Akselerometer Sebagai Sensor Vibrasi.....	10
2.2.3 Aplikasi MEMS Akselerometer Untuk <i>Geophone</i>	13
2.3 <i>Charge Amplifier</i>	14
2.3.1 LMC 6084.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	17
3.2 Tahap Pengerjaan.....	17
3.3 Perancangan Sistem dan Implementasi	18
3.3.1 Modul Sensor Vibrasi.....	20
3.3.2 Modul <i>Charge Amplifier</i>	21
3.4 Pengujian Sistem Peralatan.....	22
3.4.1 Pengujian Sensor Vibrasi.....	22
3.4.2 Pengujian Rangkaian <i>Charge Amplifier</i>	23

3.5 Rencana Pengujian Sistem Keseluruhan.....	24
---	----

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

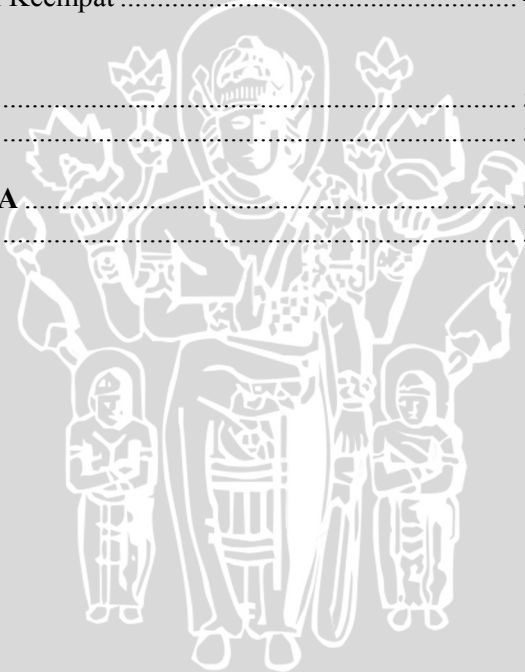
4.1 Sensor Vibrasi	25
4.1.1 Posisi 1.....	25
4.1.2 posisi 2	28
4.1.3 Posisi 3.....	30
4.2 Hasil Pengujian Rangkaian <i>Charge Amplifier</i>	32
4.3 Hasil Pengujian Keseluruhan	33
4.3.1 Kondisi Pertama.....	34
4.3.2 Kondisi Kedua	38
4.3.3 Kondisi Ketiga.....	42
4.3.4 Kondisi Keempat	47

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA	53
-----------------------------	----

LAMPIRAN	55
-----------------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Hasil pengukuran statis untuk posisi 1	26
Tabel 4.2	Nilai rata-rata dan <i>error</i> dari pengukuran statis pada posisi 1	26
Tabel 4.3	Hasil pengukuran statis untuk posisi 2	28
Tabel 4.4	Nilai rata-rata untuk posisi2 pada keadaan statis	29
Tabel 4.5	Hasil pengukuran statis untuk posisi ketiga	31
Tabel 4.6	Nilai rata-rata untuk posisi 3 pada keadaan statis	31
Tabel 4.7	<i>Delay</i> waktu yang tercatat oleh <i>geophone</i>	37
Tabel 4.8	<i>Delay</i> waktu pada kondisi kedua.....	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Geophone</i>	5
Gambar 2.2	Bagian-bagian <i>geophone</i>	5
Gambar 2.3	Diagram perubahan getaran menjadi sinyal listrik pada <i>geophone</i>	6
Gambar 2.4	Akselerometer MMA 7260 QT (a) dengan komponen pendukung	8
	(b) dibandingkan dengan ukuran <i>header</i>	8
Gambar 2.5	Akselerometer 7260QT dilihat dari sisi bawah.....	9
Gambar 2.6	Blok diagram akselerometer 7260 QT	9
Gambar 2.7	Model transduser fisik secara sederhana	10
Gambar 2.8	Konsep dasar kapasitif sensor	11
Gambar 2.9	Sebuah benda pada gerak periodik disekitar kesetimbangan	11
Gambar 2.10	Respon amplitudo dan phase dari mems akselerometer dan <i>geophone</i> 10hz (a) Amplitudo respon dari <i>geophone</i>	13
	(b) respon Fase dari <i>geophone</i>	13
	(c) <i>spectrum amplitude</i> dari MEMS	13
	(d) respon phase dari MEMS	13
Gambar 2.11	Konfigurasi pin LMC 6084.....	15
Gambar 3.1	Diagram alur pengerjaan penelitian	17
Gambar 3.2	Perancangan sistem yang akan dibuat.....	18
Gambar 3.3	Rangkaian sensor akselerometer.....	20
Gambar 3.4	Rangkaian <i>charge amplifier</i>	21
Gambar 4.1	Sensor akselerometer dengan rangkaian penguat dan filter.....	25
	(a) Dilihat dari atas	25
	(b) Dilihat dari bawah	25
Gambar 4.2	Sensor pada posisi 1	26
Gambar 4.3	Pengukuran sumbu x untuk arah getar ke x	27
Gambar 4.4	Sensor pada posisi 2.....	28
Gambar 4.5	Sinyal keluaran sumbu y arah gerak kesumbu y .	30
Gambar 4.6	Sensor pada posisi 3	30
Gambar 4.7	Pengukuran sumbu z pada arah z	32
Gambar 4.8	Rangkaian <i>charge amplifier</i>	33
Gambar 4.9	Sensor dan <i>geophone</i> pada kondisi lapangan.....	36
Gambar 4.10	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran pertama.....	35

Gambar 4.11	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran kedua.....	35
Gambar 4.12	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran ketiga	36
Gambar 4.13	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran keempat	36
Gambar 4.14	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran kelima	37
Gambar 4.15	Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran pertama	39
Gambar 4.16	Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran kedua.....	39
Gambar 4.17	Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran ketiga.....	40
Gambar 4.18	Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran keempat	40
Gambar 4.19	Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran kelima	41
Gambar 4.20	Posisi sensor pada pengambilan data ke tiga.....	42
Gambar 4.21	Hasil pengukuran pertama pada kondisi ketiga.....	43
Gambar 4.22	Hasil pengukuran <i>geophone</i> untuk pengukuran pertama	43
Gambar 4.23	Hasil uji sensor untuk kondisi ketiga pada pengukuran kedua.....	44
Gambar 4.24	Hasil <i>geophone</i> untuk kondisi ketiga pada pengukuran kedua	44
Gambar 4.25	Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran pertama	45
Gambar 4.26	Hasil <i>geophone</i> untuk kondisi ketiga pengukuran ketiga	45
Gambar 4.27	Hasil uji sensor untuk kondisi ketiga pengukuran keempat.....	46
Gambar 4.28	Hasil <i>geophone</i> untuk kondisi ketiga pada pengukuran keempat.....	46
Gambar 4.29	Sumber getaran diletakan dekat sensor kedua	47
Gambar 4.30	Sumber getaran diletakan dekat sensor pertama ...	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Uji Sensor	53
Lampiran 2	<i>Datasheet</i> MMA 7260QT	73
Lampiran 3	<i>Datasheet</i> LMC 6084.....	85

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Geophone merupakan salah satu piranti yang sangat penting dalam bidang geofisika, khususnya geofisika seismik. Piranti ini merupakan jenis sensor seismik yang sering digunakan dalam eksplorasi dan pertambangan. Fungsi utama *geophone* adalah mendeteksi adanya sinyal seismik (getaran/pergerakan tanah) dan mengubahnya menjadi besaran (tegangan) listrik yang setara dengannya. Tegangan listrik keluaran *geophone* ini selanjutnya diolah dan dianalisis untuk keperluan interpretasi data geofisika.

Geophone telah banyak tersedia di pasar komersial, dalam berbagai bentuk dan tipe. Umumnya desain internal sebuah *geophone* komersial adalah sebuah sistem yang merupakan kombinasi antara sebuah magnet permanen dan sebuah lilitan kawat yang melingkari magnet tersebut. Apabila terjadi gerakan relatif antara magnet dan lilitan kawat, maka secara hukum fisika akan muncul tegangan (beda potensial) listrik pada ujung-ujung lilitan. Besarnya tegangan listrik yang muncul tergantung pada kecepatan perubahan flux listrik. Fenomena inilah yang umumnya digunakan dalam mendesain suatu sensor *geophone* (Anonymous¹,2009). Agar terjadi gerakan relatif yang bersifat bolak-balik, salah satu dari dua komponen *geophone* (lilitan dan magnet) salah satunya dibuat tetap dengan cara mengikatnya pada sasis atau badan *geophone* dengan sebuah pir (*spring*). Selanjutnya parameter *spring* inilah yang sangat menentukan karakteristik dari sebuah *geophone*. Umumnya *spring* harus dibuat sekecil mungkin dan sekuat mungkin, sehingga hanya pabrik yang dapat melakukannya.

Di pihak lain, perkembangan teknologi sensor telah berjalan dengan sangat cepat. Teknologi MEMS (*micro electro mechanical system*) telah menempatkan sebuah sistem sensor dalam sebuah *chip* tunggal. Keuntungan dengan adanya MEMS terbilang sangat banyak, diantaranya adalah konsumsi daya yang sangat rendah, harga sensor MEMS relatif murah, serta bentuknya yang kecil dan sederhana sehingga mudah untuk dikembangkan. Salah satu jenis MEMS yang banyak tersedia di pasar komersial adalah *MEMS accelerometer*

(MEMS akselerometer). MEMS jenis ini merupakan sebuah sensor percepatan, dan dapat dimodifikasi dan dikembangkan sebagai sensor vibrasi (getaran).

Berdasarkan pada uraian singkat diatas, maka penelitian ini mencoba mengembangkan sebuah *geophone* dari piranti MEMS akselerometer. Dengan menggunakan piranti MEMS sebagai komponen utamanya, diharapkan dapat didesain sebuah *geophone* yang murah dan kompak namun mempunyai kualitas yang bagus. Desain *geophone* dengan menggunakan MEMS akselerometer memudahkan pengguna dalam melakukan modifikasi alat sesuai dengan kebutuhannya masing-masing.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat sebuah sensor vibrasi dengan menggunakan komponen utama berupa MEMS akselerometer.
2. Bagaimana merancang dan membuat sebuah pengkondisi sinyal yang akan diintegrasikan pada sensor vibrasi pada poin (1), agar sensor vibrasi tersebut dapat berfungsi sebagai *geophone*.

1.3 Batasan Masalah

Agar bahasan dalam penelitian ini dapat lebih fokus dan tidak melebar, maka permasalahannya perlu dibatasi sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini MEMS akselerometer yang digunakan adalah tipe MMA7260QT, dan bukan tipe yang lainnya.
2. Penelitian ini tidak merancang unit penampil, dan menggunakan osiloskop yang ada di laboratorium sebagai unit penampilnya.
3. Penelitian ini tidak membahas dan menginterpretasikan data hasil pengukuran secara ilmu geofisika.
4. Penelitian ini tidak menghitung *delay* waktu yang terukur oleh sensor.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun sebuah *geophone* dengan menggunakan komponen utama berupa *chip* MEMS akselerometer. Secara lebih detail tujuan dari penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Mengembangkan sensor vibrasi universal dengan menggunakan komponen MEMS akselerometer.
2. Merancang bangun sebuah pengkondisi sinyal berupa rangkaian *charge amplifier*, filter lolos jalur (BPF: 5 Hz – 300 Hz) dan penguat tegangan untuk sensor vibrasi pada poin (1), agar tercipta sebuah sensor *geophone*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat didesain sendiri sebuah sensor *geophone* baru dengan menggunakan komponen MEMS akselerometer. Keuntungan dari *geophone* yang telah dibuat adalah memiliki harga relatif murah dibandingkan dengan *geophone* yang telah ada dipasaran saat ini, namun memiliki akurasi yang tinggi. Selain itu, *geophone* yang dibuat dapat diterapkan dalam bidang geofisika atau bidang lain yang terkait.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB II DASAR TEORI

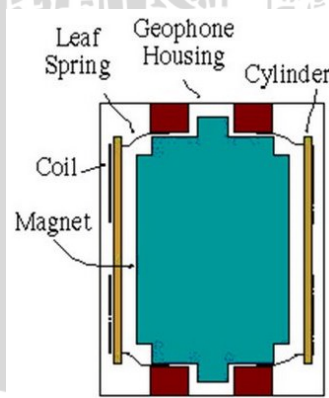
2.1 *Geophone*

Geophone adalah sebuah *transducer* pergerakan tanah yang sangat sensitif. Sebuah *geophone* mengubah energi seismik, atau vibrasi, menjadi tegangan listrik yang dapat diukur secara akurat. Gambar 2.1 memperlihatkan gambaran *geophone* yang berada dipasaran.



Gambar 2.1 *Geophone*

Ketika terjadi vibrasi yang menyebabkan *geophone* atau magnet yang berada di dalam *geophone* bergerak, lilitan akan tetap diam karena kelebamannya. Pergerakan magnet relatif terhadap lilitan ini menimbulkan tegangan listrik yang proporsional terhadap kecepatan relatif lilitan terhadap magnet (Anonymous¹,2009).



Gambar 2.2 Bagian-bagian *geophone* (Gardner et all,2000)

Berdasarkan Gambar 2.2 yang mengilustrasikan tampilan dalam dari *geophone*. Percepatan yang terjadi pada *geophone* disebabkan karena pergerakan relatif antara koil dengan magnet. Pergerakan relatif pada medan magnet menimbulkan tegangan yang dapat dikalibrasikan untuk pengukuran percepatan (Gardner, et al, 2001). *Geophone* bekerja berdasarkan hukum Faraday, dimana pada sebuah kumparan akan terjadi arus listrik apabila pada kumparan tersebut terjadi perubahan fluks magnet terhadap waktu. Besarnya tegangan yang terjadi berbanding lurus dengan besarnya perubahan fluks terhadap waktu tersebut.

$$V = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = G\dot{y} \quad (2-1)$$

Dimana:

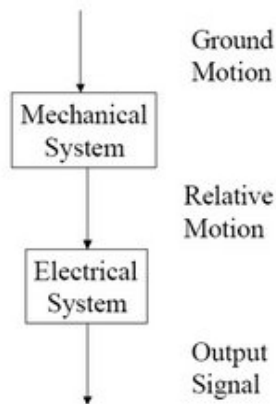
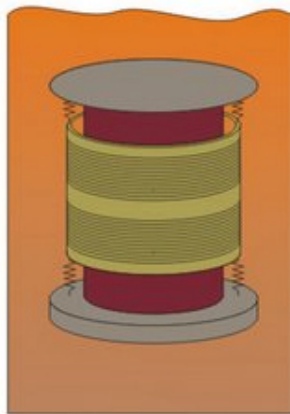
V = tegangan output

$\partial \Phi$ = perubahan fluks magnet

∂t = perubahan waktu

G = konstanta transducer

\dot{y} = pergerakan relatif



Gambar 2.3 Diagram perubahan getaran menjadi sinyal listrik pada *geophone* (Gardner et al,2000)

Mekanisme dari perubahan getaran menjadi sinyal listrik dapat dilihat pada gambar 2.3. pergerakan yang terjadi pada

permukaan tanah akan dideteksi oleh suatu sistem mekanik. Dari sistem mekanik itu, akan dideteksi sebagai pergerakan relatif yang kemudian akan diubah oleh sistem elektrik menjadi sinyal keluaran. Pergerakan koil pada *geophone* akan dideteksi sebagai percepatan yang terjadi. *Geophone* dipasang pada kedalaman tertentu dengan bentang kabel yang sama antara tiap-tiap jarak yang diukur. Kedalaman *geophone* harus tepat, tidak terlalu dangkal dan tidak terlalu jauh, yaitu *geophone* tertanam pada koplingnya sehingga *geophone* dapat menerima sinyal getaran seismik dengan baik (Anonymous², 2008).

2.2 Akselerometer Sensor

Akselerometer adalah suatu piranti yang berfungsi untuk mengukur percepatan translasi atau rotasi. Satuan percepatan yang digunakan biasanya menggunakan unit percepatan gravitasi bumi (g dimana $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$) (Anonymous³, 2009).

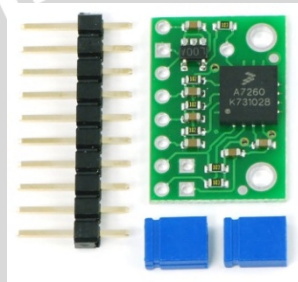
Akselerometer merupakan suatu instrumen yang memiliki frekuensi natural lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi getaran yang akan diukur. Sifat-sifat piezoelektrik kristal-kristal seperti *quartz* atau *barium titanate* dimanfaatkan oleh akselerometer untuk pengukuran frekuensi yang lebih tinggi. Kristal tersebut dipasang sedemikian, hingga bila ada percepatan maka mereka dikompresikan atau dilenturkan untuk menghasilkan suatu muatan listrik.

2.2.1 Fitur dan Arsitektur Akselerometer 7260QT

Salah satu tipe akselerometer adalah *Micromachined Accelerometer* (MMA) 7260QT. MMA 7260QT merupakan akselerometer kapasitif yang sudah dilengkapi dengan pengkondisi sinyal, 1-kutub *low pass filter*, kompensasi suhu, dan pemilihan g yang berdasarkan pada empat kepekaan. Harga *offset* nol dan *filter cut off* telah ditentukan oleh pabrik, sehingga tidak perlu komponen dari luar. Selain itu *sleep mode* sudah terdapat didalamnya sehingga cocok sebagai *handheld* elektronik dengan daya baterai. Gambar 2.4 memperlihatkan sensor akselerometer tipe MMA7260QT yang nyata.



(a)



(b)

Gambar 2.4 Akselerometer MMA 7260QT (a) dengan komponen pendukung (b) dibandingkan dengan ukuran *header*

Spesifikasi dari Akselerometer MMA 7260QT

- Ukuran: 0.8" x 0.55" x 0.11" (tanpa pin hider)
- Tegangan operasi: 3.3-16 V
- Arus masukan: 1.35 mA
- Format Keluaran: 3 *analog voltages* (satu sinyal untuk semua sumbu)
- *Range* tegangan keluaran: 0- V_{cc} (0-3.3 V for $V_{IN} > 3.3$ V)
- *Sensitivity range*: +/-1.5g, 2g, 4g, or 6g (dipilih dengan menggunakan GS1 dan GS2; maksimum 6g)
- Massa tanpa *header* pin: 0.03 oz (0.85 gram)

Fitur dari MMA 7260QT adalah sebagai berikut: Sensitifitas dapat dipilih dalam empat mode yaitu 1,5g, 2g, 4g, 6g. Konsumsi arus rendah(500 μ A), *mode sleep* 3 μ A, tegangan operasi rendah

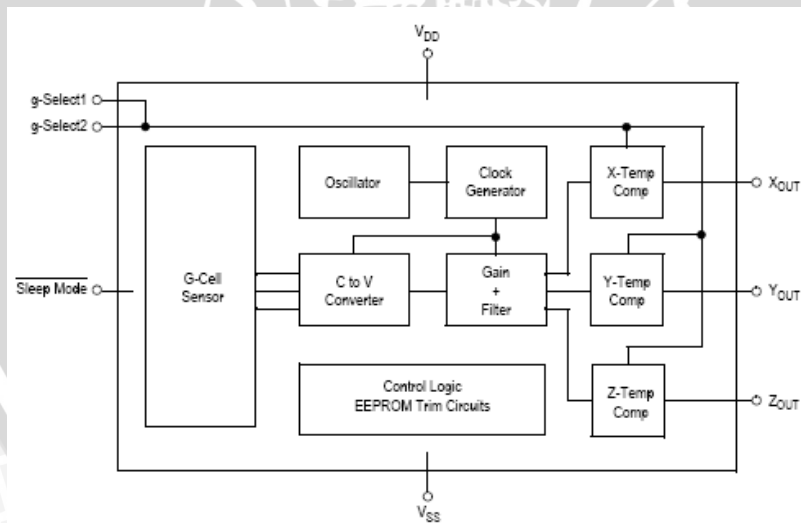
(2.2V-3.6V), sensitivitas tinggi(800mV/g@ 1.5g), pengkondisi sinyal integral dengan, *low pass filter*, harga murah, dll.

Gambar 2.5 memperlihatkan akselerometer tipe 7260QT dilihat dari sisi bawah.



Gambar 2.5 Akselerometer 7260 QT dilihat dari sisi bawah(Freescale,2009)

Gambar 2.6 Berikut ini merupakan blok diagram fungsional dari akselerometer tipe MMA 7260QT secara sederhana.

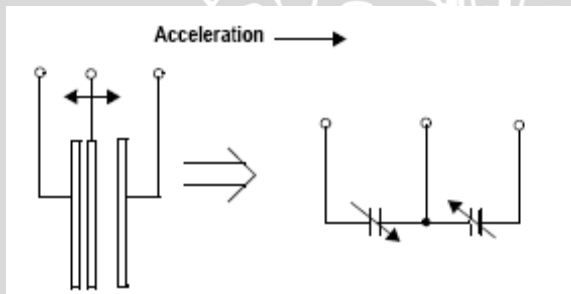


Gambar 2.6 Blok diagram akselerometer MMA 7260 QT (Freescale,2009)

Komponen ini terdiri dari dua permukaan yaitu mikrokapasitif *sensing cells* (g-cell) dan pengkondisi sinyal ASIC. Pengkondisi sinyal tersebut berisi sebuah rangkaian IC. Elemen yang mengukur berada pada kondisi kedap udara pada level lapisan yang menggunakan *bulk* dari bagian tutup lapisan tersebut.

G sel merupakan struktur mekanik yang terbuat dari material semikonduktor (polysilicon) dan menggunakan proses semikonduktor pula. Hal ini dapat dimodelkan dengan seperangkat massa, dimana pusat massanya dapat berpindah diantara massa yang telah ditetapkan. Perpindahan massa tersebut dapat dibelokkan dari kondisi *rest* oleh suatu subjek dari sistem keakselerasi tersebut. Pergerakan massa yang menimbulkan pusat massa berpindah, jarak dari massa yang tetap pada sisi yang lainnya akan mengalami peningkatan harga yang sama dengan bagian sisi lain yang mengalami penurunan. Perubahan jarak ini akan terukur sebagai percepatan.

G sel terbentuk dari dua kapasitor yang saling berhadapan. Ketika pusat massa berpindah dengan suatu percepatan, jarak antara dua masa tersebut akan berubah. Hal ini mengakibatkan perubahan harga kapasitor. Bentuk dari masa dan kapasitor yang saling berhadapan dapat dilihat di gambar 2.7 berikut ini (freescala, 2009).

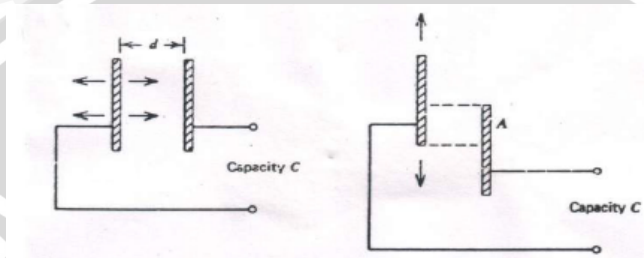


Gambar 2.7 Model transducer fisik secara sederhana

2.2.2 Akselerometer Sebagai Sensor Vibrasi

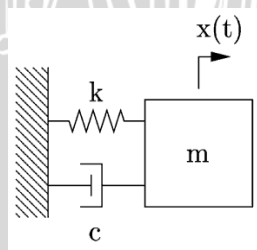
MMA 7260QT merupakan akselerometer dengan sifat kapasitif. Ide dasar dari transducer perubahan kapasitif adalah besarnya kapasitansi dari dua lempeng adalah sebanding dengan luas

area dibagi dengan jarak antara kedua lempeng ($C \propto A/d$). Sehingga, jika jarak kedua lempeng semakin dekat maka nilai kapasitansi akan semakin bertambah, dan jika luas area dikurangi, maka besarnya kapasitansi akan berkurang. Gambar 2.8 menunjukkan dua tipe umum dari kapasitif transduser.



Gambar 2.8 Konsep dasar kapasitif sensor

Pada dasarnya akselerometer berfungsi untuk mengukur pergerakan yang ditimbulkan oleh medium yang diukur. Secara Umum Ada 3 jenis gerak, yaitu gerak lurus, gerak menyudut (anguler), dan vibrasi. Dengan kata lain, akselerometer dapat mengukur vibrasi yang terjadi. Jika sebuah benda diberikan gerakan periodik disekitar posisi keseimbangannya seperti gambar 2.9. akan ditemukan bahwa kecepatan maksimum akan mencapai 100g atau lebih. Gerakan ini dinamakan *vibration (getaran)*. Lebih jelasnya, pengukuran kecepatan pada besar ini sangat penting pada dunia industri, dimana getaran sering ditemui pada operasi mesin. Secara umum, getaran adalah sesuatu yang bervariasi, baik dalam frekuensi gerak periodik maupun besar perpindahan dari posisi kesetimbangannya.



Gambar 2.9 Sebuah benda pada gerak periodik disekitar kesetimbangan

Dari gambar 2.9, dapat diketahui persamaan umum dari gerakan yang dilakukan secara periodik. Jika sistem diberikan gaya horizontal sebesar $F(t)$, dari hukum Newton yang berhubungan dengan gerak, persamaan diferensial dari perubahan posisi tersebut sebagai fungsi waktu $x(t)$ adalah

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx(t) = F(t) \quad (2-2)$$

Pada syarat awal, dimana $t=0$ maka pada saat $x(t)=x(0)$, dan kecepatan $v(0)=0$ maka persamaan 2-2 akan diperoleh menjadi:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx(t) = F(t) \quad (2-3)$$

Dari persamaan 2-3, dimana $\frac{d^2x}{dt^2} = a$ maka persamaan 2-3 dapat diubah kedalam bentuk

$$ma + kx(t) = F(t) \quad (2-4)$$

Persamaan 2-3 merupakan persamaan gerak dari osilator harmonik sederhana. Dimana k adalah konstanta dari pegas. Pada saat gaya yang diberikan sama dengan nol ($F(t)=0$), maka dari persamaan osilator harmonik sederhana dapat diperoleh solusi menjadi

$$x = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (2-5)$$

Dengan konstanta ω dipilih sedemikian rupa, sehingga akan diperoleh (Halliday,1985) :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2-6)$$

Dengan menjabarkan persamaan 2-6 kedalam bentuk frekuensi, dimana $\omega = 2\pi f$ maka akan diperoleh frekuensi natural, yang diberikan dengan persamaan(Tipler,1998) :

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2-7)$$

f_N = Frekuensi Natural

k = konstanta pegas

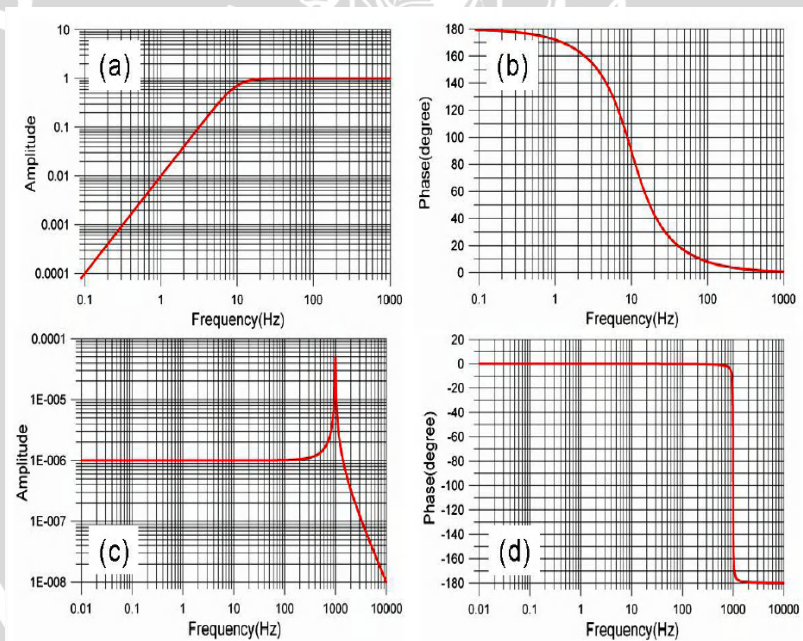
m = massa seismik

Konsep dasar dari sebuah akselerometer adalah sistem pegas. Pergeseran yang memungkinkan membawa massa untuk diam disebut koefisien damping α , yang mempunyai unit s^{-1} . Pada umumnya, akibat dari osilasi tersebut dinamakan respons transient, yang ditunjukkan oleh periodik sinyal damping. Efek dari frekuensi

natural dan koefisien damping pada kelakuan dari pegas massa *accelerometer* adalah sangat baik diuraikan dalam batas aplikasi vibrasi.

2.2.3 Aplikasi MEMS Akselerometer Untuk *Geophone*

Dalam eksplorasi minyak, sistem akuisisi data dengan menggunakan *MEMS* sudah siap dibuat. *MEMS* sensor biasanya digunakan untuk pengukuran gempa bumi, dan mitigasi bencana (Aizawa, et all,2008). *MEMS* atau disebut juga sebagai *Microelectromechanical System* adalah suatu komponen yang dibuat dari bagian yang sangat kecil (*micropart*). Di dalam bagian *MEMS* sudah mencakup Sensor, actuator, dan komponen pemroses sinyal (Gardner et all, 2000). Gambar 2.10 menunjukkan karakteristik dari *MEMS* Akselerometer respon frekuensi linear dari DC 500Hz.



Gambar 2.10 Respon amplitudo dan *phase* dari MEMS akselerometer dan *geophone* 10Hz (a) Amplitudo respon dari *geophone* (b) respon *phase* dari *geophone* (c) *spectrum amplitude* dari MEMS (d) respon *phase* dari MEMS

Dari gambar 2.10 broadband ini memiliki awalan yang dramatis pada pengukur pergerakan tanah pada lebar frekuensi yang lebih rendah. Pada survey seismik, data dengan frekuensi rendah memiliki informasi yang penting mengenai *shear waves* dan *reflection wave* (Aizawa,2008).

2.3 Charge Amplifier

Pada banyak aplikasi, op-amp dengan tipe integrator yang menggunakan *feedback* kapasitansi sering digunakan. Amplifier ini memiliki impedansi masukan tinggi. Selain itu, jenis amplifier ini menjumlahkan pulsa muatan yang rendah dan mengubahnya kedalam bentuk tegangan untuk penguatan dengan impedansi output yang rendah. Karena operasi tersebut, maka penguat ini disebut *Charge amplifier*. Bagian pertama dari *charge amplifier* ini adalah *noise FET* yang rendah, dan penguatan terbukanya sangat tinggi. Hal ini mengakibatkan penguatan tidak dipengaruhi oleh kapasitansi dari detektor. Bagian keluaran dari op amp merupakan rangkaian *buffer* dengan impedansi yang kecil, hal ini bertujuan untuk penggunaan kabel yang sangat panjang (Hamamatsu,2009).

Keuntungan yang terdapat dalam *charge amplifier* adalah sebagai berikut:

- ✓ Memungkinkan digunakan untuk pengukuran pada *quasi-static* pada kondisi tertentu, seperti tekanan yang konstan pada piezo yang tetap dalam beberapa menit
- ✓ Transduser elemen Piezo dapat digunakan dalam lingkungan yang lebih panas dibandingkan dengan elektronik internal.
- ✓ Penguatan hanya bergantung pada *feedback* kapsitor, tidak seperti pada penguatan tegangan. Penguatan dipengaruhi oleh kapasitansi input dan kapasitor yang disusun paralel dari impedansi masukan (Anonymous⁴, 2009).

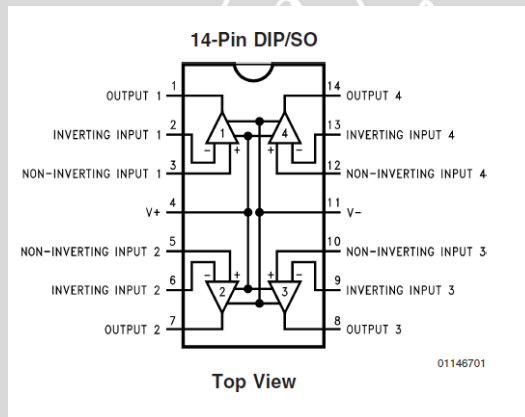
Karakteristik dari rangkaian *charge amplifier* adalah:

- Memiliki penguatan yang tinggi
- *Noise* sangat rendah
- Merupakan integrator linear yang sangat bagus
- Peningkatan waktu sangat cepat
- Stabilitas temperatur yang sangat tinggi, dan sebagainya (Hamamatsu,2009).

2.4.1 LMC 6084

LMC 6084 merupakan *Quad Op amp* yang memiliki presisi tinggi. Dengan *offset* tegangan yang rendah, dan cocok untuk operasi *single suply*. Arus bias input memiliki harga yang sangat rendah, penguatan tegangan tinggi. Fitur dari LMC 6084 adalah:

- Tegangan *offset* rendah= $150\mu V$
- Beroperasi pada tegangan $4,5V$ sampai 15 volt untuk *single suply*
- Arus bias input sangat rendah= $10fA$
- Masukan *common mode* mencakup $V-$
- Penguatan tegangan yang tinggi = $130dB$, dan sebagainya.

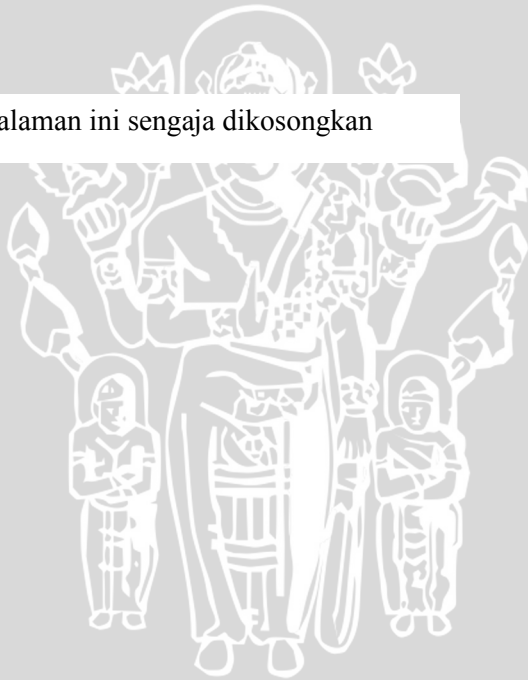


Gambar 2.11 Konfigurasi pin LMC 6084

Gambar 2.11 merupakan konfigurasi pin yang tersedia pada LMC 6084. Terdiri dari 4 op amp, dengan tegangan referensi berharga positif dan negatif. Karakteristik dari LMC6084 terlampir di *data sheet*(National,2009).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

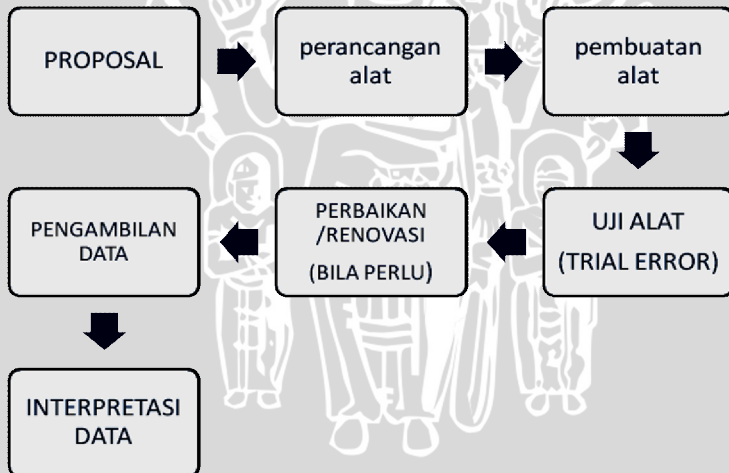
Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2009 - Juli 2009 di laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya Malang.

3.2. Tahap Pengerjaan

Tahapan pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Studi literatur
- 2) Perancangan dan pembuatan sistem
- 3) Uji coba dan kalibrasi sistem
- 4) Analisa hasil
- 5) Pelaporan

Berikut ini blok diagram alir pada pengerjaan penelitian yang akan dilakukan



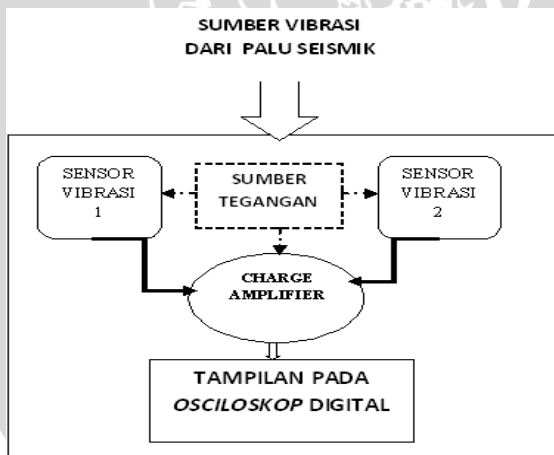
Gambar 3.1. Diagram alur pengerjaan penelitian

Dari gambar 3.1, alur penelitian pertama dilakukan dengan penulisan proposal. Pada penulisan proposal, mencakup ide dasar dan tema yang akan digunakan pada penulisan tugas akhir ini. Pada penulisan proposal ini mencakup mengenai ide dasar dari sistem

yang akan dibuat, teori-teori pendukung, dan lain-lain. Setelah proposal selesai dilanjutkan dengan perancangan alat. Pada proses ini, dirancang alat yang akan dibuat berdasarkan teori yang dipelajari. Selain itu proses ini juga mencakup tentang perancangan PCB dan pendataan komponen yang akan digunakan. Setelah PCB dan komponen siap digunakan, maka proses dilanjutkan dengan pembuatan alat. Alat yang dimaksud yaitu sensor vibrasi dengan rangkaian *charge amplifier*. Proses berikutnya yaitu pengujian alat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor bekerja sesuai dengan teori yang ada. Selain itu, pengujian dilakukan juga untuk rangkaian *charge amplifier*. Jika sensor dan *charge amplifier* tidak bekerja sebagaimana mestinya maka dilakukan perbaikan dari alat tersebut. Perbaikan yang dilakukan bisa bersifat kecil ataupun besar tergantung dari *error* yang dihasilkan. Alat yang telah diperbaiki diuji kembali untuk mengetahui apakah telah bekerja sesuai fungsinya. Setelah alat dapat bekerja sesuai fungsinya, dilakukan pengambilan data untuk diinterpretasikan.

3.3. Perancangan Sistem dan Implementasi

Diagram blok rancangan MEMS Akselerometer sebagai *geophone* sensor dinyatakan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Perancangan sistem yang akan dibuat

Perancangan sistem yang akan dibuat sesuai dengan gambar 3.2. Sumber vibrasi yang diukur adalah vibrasi yang dihasilkan oleh palu seismik. Vibrasi yang menjalar pada medium memiliki frekuensi yang rendah. Setiap sensor diletakkan pada jarak 2 meter dari masing-masing sensor. Atau tergantung pada kondisi dilapangan. Sinyal yang diterima oleh sensor akan diteruskan ke *charge amplifier* untuk diteruskan menuju *osiloskop*. Setiap keluaran dari sensor dihubungkan pada pin masukan dari *charge amplifier*.

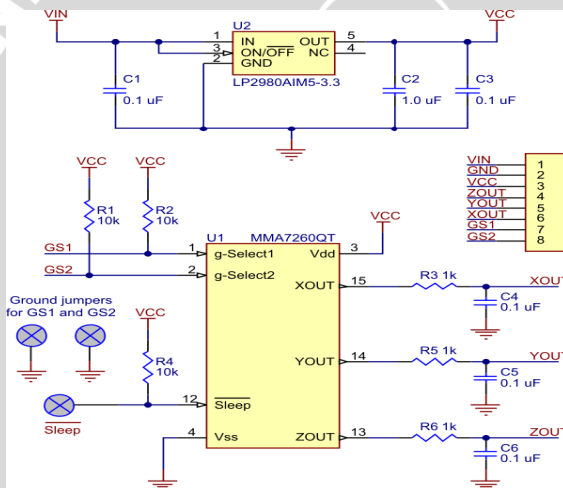
Charge amplifier berfungsi sebagai penguat tegangan yang diukur oleh sensor vibrasi. Vibrasi yang terukur akan diubah dalam bentuk tegangan dengan range tegangan 0 volt sampai maksimum 3,3 volt. Panjangnya kabel yang digunakan tidak berpengaruh pada data yang dikirim. Dengan menggunakan *charge amplifier*, noise yang terjadi bisa ditapis sekecil mungkin.

Akselerometer akan mendeteksi gelombang yang dihasilkan oleh getaran dari palu seismik dalam 3 sumbu, yaitu kearah sumbu x , y , dan z . Yang diukur pada peneliatian ini adalah gelombang pada sumbu Z saja atau disesuaikan dengan kondisi lapangan. Gelombang yang terukur berkisar antara 0 volt samapi 3,3 volt maksimum. Gelombang yang terukur bisa di konversi dalam satuan g dari tegangan yang diperoleh. Satu g sebanding dengan percepatan gravitasi, yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$. Walaupun sensor tersebut dapat mengukur getaran dalam satuan g , namun hasil akhir yang akan diperoleh berupa tegangan dengan nilai maksimum sebesar 3,3volt, dan minimum 0,85 volt untuk setiap arah yang diukur. Harga minimal dari tegangan yang terukur bergantung pada posisi dari sensor tersebut. Untuk setiap posisi tertentu memiliki harga minimal yang berbeda-beda.

Keluaran dari sensor berupa tegangan menunjukkan vibrasi yang terjadi dari pukulan seismik yang yang diukur. Besar kecilnya getaran dapat dilihat dari besar kecilnya tegangan yang tercatat oleh sensor. Keluaran dari akselerometer berupa tegangan dengan level 0-3,3 Volt. Jarak antara sensor mempengaruhi waktu sampainya getaran yang akan terdeteksi oleh sensor. Sensor yang lebih dekat dengan sumber getaran akan lebih cepat mendeteksi vibrasi yang terjadi dibandingkan dengan sensor yang lebih jauh dari sumber getaran.

3.3.1 Modul Sensor Vibrasi

Modul sensor berupa seperangkat sensor dengan komponen pendukung yang menjalankan suatu operasi sehingga komponen yang diukur bisa terekam datanya. Sensor yang digunakan adalah akselerometer tipe MMA7260QT. Sensor ini berfungsi untuk mengukur getaran yang dihasilkan oleh palu seismik yang dipukulkan pada plat besi. Getaran yang diukur hanya dalam satu arah sumbu saja. Sumbu yang digunakan bisa pada posisi x , y atau z . Hal itu bergantung pada posisi peletakan sensor dan arah perambatan getaran. Gambar 3.3 memperlihatkan rangkaian akselerometer lengkap dengan komponen lain yang diperlukan untuk membuat modul sensor tanpa penguatan.



Gambar 3.3. Rangkaian Sensor Akselerometer

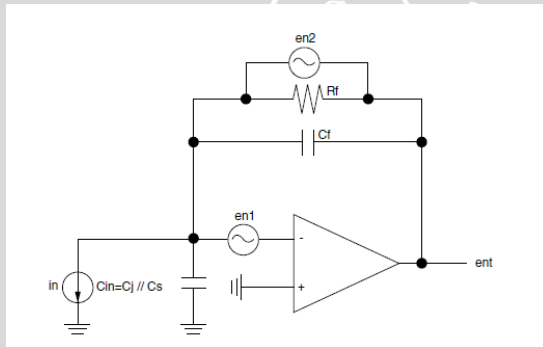
Keluaran dari sensor berupa pin X , Y , Z . Pin-pin tersebut akan diteruskan pada rangkaian *charge amplifier*. Pin keluaran yang digunakan hanya satu sumbu untuk masing-masing sensor. Pemilihan pin keluaran bergantung pada posisi sensor dan arah perambatan getaran yang disebabkan oleh palu seismik.

Pin-pin GS1 dan GS2 merupakan pin yang digunakan untuk mengatur besarnya range G yang akan digunakan. Pengaturan G1 dan G2 dilakukan dengan pemilihan menggunakan switch pada rangkaian sensor. Pemilihan harga G berpengaruh pada sinyal yang

akan dideteksi. Semakin kecil harga G yang digunakan, maka akan semakin kecil pula getaran yang terukur. Dengan kata lain, getaran dengan frekuensi rendah bisa terdeteksi dengan sensor tersebut. Namun sebaliknya, jika harga G yang digunakan besar, maka getaran yang terukur merupakan getaran-getaran dengan berfrekuensi tinggi.

3.3.2 Modul *Charge Amplifier*

Charge amplifier merupakan suatu penguat dimana impedansi masukan pada reaktansi kapasitif sangat tinggi pada frekuensi rendah. *charge amplifier* terdiri dari IC LMC 6084 sebagai Op-Amp, komponen lain yang terkait. Gambar 3.4 memperlihatkan rangkaian dari *charge amplifier*:



Gambar 3.4 Rangkaian *charge amplifier*

Penguatan yang dimiliki dari rangkaian gambar 3.4 adalah :

$$G = \frac{1}{Cf} \quad (3-1)$$

Dimana Cf adalah harga kapasitor yang dihubungkan dengan resistor Rf . Penguatan tersebut akan mengakibatkan sinyal keluaran pada sensor mengalami penguatan sesuai dengan harga kapasitor yang diberikan. Pada rangkaian yang dibuat, penguatan bisa dipilih dalam beberapa variasi, 1 kali, dan 10 kali. Ada dua jenis penguatan, yaitu penguatan depan dan penguatan belakang. Pengaturan penggunaan penguatan disesuaikan dengan sinyal masukan yang berasal dari sensor.

3.4 Pengujian Sistem Peralatan

Sistem yang telah dibuat harus dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian tersebut dapat berupa pengujian mekanis, *software*, komponen, dan semua variabel yang terkait. Selain hal tersebut, pengujian dilakukan juga untuk masing-masing variabel. Seperti uji sensor akselerometer, rangkaian *charge amplifier*. Jika sistem tersebut dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan, maka sistem layak untuk digunakan.

3.4.1 Pengujian Sensor Vibrasi

Pengujian sensor berfungsi untuk mengetahui bekerja atau tidak sensor yang telah dibuat. Sensor yang telah dibuat di uji dengan menggunakan *osiloskop*. Sensor diletakkan pada suatu tempat yang datar. Posisi dari sensor mempengaruhi harga minimum dari masing-masing arah sumbu. Hubungkan sensor dengan power supply sesuai kebutuhan dari sensor, yaitu 5 volt.

Pada saat sensor berada pada kondisi *ON*, dengan kata lain sudah siap menerima data, pin keluaran dari sensor dihubungkan dengan *probe* dari *osiloskop*. Pada saat terjadi getaran, tegangan keluaran dari sensor akan berubah. Perubahan tersebut dapat dilihat dari bentuk gelombang yang ditampilkan pada *osiloskop*. Getaran yang terukur berasal dari hentakan kakai atau pukulan pada tempat dimana sensor tersebut diletakkan.

Uji sensor dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan berupa getaran, dan melihat sinyal keluaran pada *osiloskop*. Sebelum diuji secara dinamis (pemberian getaran), sensor diuji dalam keadaan statis terlebih dahulu. Pengujian secara statis dilakukan dalam berbagai posisi yang sesuai dengan *datasheet*.

Setiap posisi masing-masing memiliki nilai minimum yang berbeda. Pengujian statis dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan nilai keluaran dari sensor dengan *datasheet* yang ada. Pengukuran tegangan keluaran dari sensor diukur dengan menggunakan multimeter sebanyak 5 kali pengukuran. Dari hasil pengukuran tersebut, diambil nilai rata-rata. Nilai rata-rata yang telah diperoleh dibandingkan dengan nilai yang telah tercatat dalam *datasheet*. Nilai dari pengukuran dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{V_{\text{Referensi}} - V_{\text{pengukuran (rata-rata)}}}{V_{\text{Referensi}}} \right| \times 100\% \quad (3-2)$$

$V_{\text{referensi}}$ adalah tegangan referensi dari data sheet untuk posisi yang diberikan.

Setelah pengujian statis, dilakukan pengujian secara dinamis. Sensor disimpan pada bidang yang datar untuk masing-masing posisi. Kemudian sensor diberi sinyal masukan berupa getaran. Selain getaran, pada posisi yang sama, sensor digerakkan naik turun, menyamping, maupun kedepan dan kebelakang. Dari gerakan naik turun dan getaran yang diberikan tersebut, akan terlihat perubahan gelombang pada *osiloskop*. Dari perubahan gelombang pada posisi diam dan bergerak menunjukkan bahwa sensor berfungsi dengan baik.

Untuk setiap sumbu dilakukan pengujian masing-masing. Untuk sumbu x , *probe ground* dihubungkan pada *ground* yang ada di sensor, sedangkan *probe* positif, dihubungkan pada keluaran dari sensor untuk arah sumbu x . Getaran yang timbul akan dideteksi oleh semua sumbu. Pada tampilan *osiloskop*, sumbu yang terekam hanya 1, yaitu keluaran sumbu yang dihubungkan pada *osiloskop*. Pengujian dilakukan untuk masing-masing sumbu, dengan cara yang sama.

3.4.2 Pengujian Modul *Charge Amplifier*

Pengujian modul sensor dengan *charge amplifier*, berfungsi untuk mengetahui berfungsi atau tidaknya penguat yang dibuat. *Charge amplifier* berfungsi untuk menguatkan sinyal keluaran dari sensor. Keluaran dari sensor dihubungkan pada port masukan dari *charge amplifier*. Keluaran *charge amplifier* dihubungkan pada probe dari *osiloskop*. Gelombang yang terdeteksi oleh sensor akan ditampilkan dalam layar *osiloskop*. Perubahan posisi, adanya getaran, dan gangguan yang disebabkan oleh vibrasi akan terdeteksi sebagai perubahan harga tegangan keluaran yang terlihat pada *osiloskop*.

Pada rangkaian *charge amplifier* terdiri dari beberapa penguatan. Penguatan tersebut di uji dalam berbagai harga untuk mengetahui sinyal keluaran yang paling bagus dengan *noise* yang hampir mendekati nol. Frekuensi yang terukur adalah frekuensi rendah. Untuk frekuensi tinggi tidak bisa terukur. Hal ini karena pada rangkaian *charge amplifier* sudah dilengkapi dengan filter untuk frekuensi tinggi.

Sensor diberi gangguan berupa hentakan, getaran ataupun perubahan posisi dari sensor untuk mengetahui kepekaan dari modul *charge amplifier*. Bila keluaran dari *charge amplifier* bisa

mendeteksi getaran yang diterima oleh sensor, maka, modul tersebut sudah bisa digunakan.

3.5 Rencana Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan berfungsi untuk mengetahui kesesuaian kerja sistem berdasarkan perancangan yang telah dibuat. Sistem yang dibuat di koneksikan sedemikian rupa sesuai dengan prosedur yang ada. Mulai dari sensor, penguat, dan *osiloskop* sebagai tampilan dari hasil uji sensor. Setelah peralatan terhubung dengan benar, maka pengujian sistem secara keseluruhan bisa dilakukan.

Digunakan *geophone* sebagai referensi untuk mengukur vibrasi yang terjadi pada tanah. Sensor akselerometer diletakkan dekat dengan *geophone*. Sumber getaran dihasilkan dari palu seismik dan lempengan baja. Palu seismik dilengkapi dengan sensor untuk mengukur besarnya vibrasi yang terjadi. Vibrasi yang dihasilkan oleh pukulan palu tersebut menjalar melalui medium berupa tanah dalam bentuk gelombang. Gelombang yang menjalar akan di terima oleh sensor dan *geophone*. Digunakan 2 sensor dan 2 *geophone* sebagai referensi.

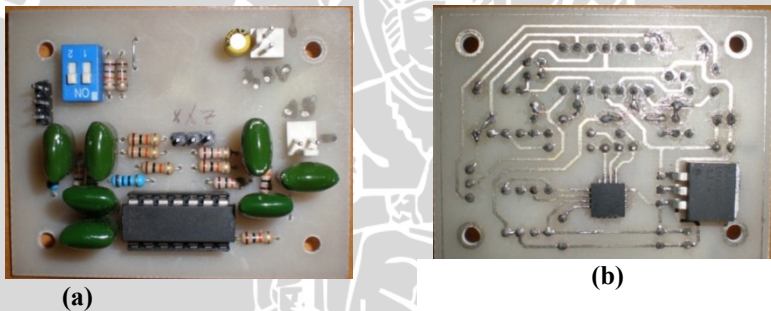
Masing-masing sensor dan *geophone* akan menerima gelombang yang dihasilkan oleh pukulan palu tadi. Masing-masing sensor dan *geophone* memiliki waktu datang gelombang pertama yang berbeda. Perbedaan waktu tersebut diukur sebagai waktu tunda (*delay time*) dari gelombang yang menjalar tersebut. *Delay* waktu merupakan beda waktu saat gelombang pertama datang, dan dideteksi oleh *geophone* atau sensor pertama, dan waktu kedua yaitu saat *geophone* kedua dan sensor kedua mendeteksi gelombang yang menjalar.

Gelombang yang diterima oleh sensor akan diteruskan menuju *charge amplifier* kemudian dihubungkan ke *osiloskop*. Dari gelombang hasil yang ditampilkan oleh *osiloskop*, dapat terlihat gelombang datang pertama dan gelombang datang kedua dari masing-masing sensor.

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sensor Vibrasi

Uji sensor dilakukan dalam beberapa posisi. Setiap posisi sensor memiliki harga referensi tegangan keluaran yang berbeda-beda untuk masing-masing sumbu. Pengujian sensor mengacu pada masing-masing posisi yang diberikan dalam *datasheet*. Hal itu dilakukan untuk mempermudah pengambilan nilai *error* dan referensi perbandingan dari nilai yang telah ada. Uji sensor hanya dilakukan dalam 3 posisi saja, hal ini sudah mewakili dari masing-masing posisi untuk mengetahui tingkat akurasi sensor yang telah dibuat. Gambar 4.1 merupakan gambar sensor yang telah dilengkapi dengan penguatan dan filter.



Gambar 4.1 Sensor akselerometer dengan rangkaian penguatan dan filter (a) dilihat dari atas (b) dilihat dari bawah

Untuk setiap posisi dilakukan pengujian ke masing-masing arah sumbu x , y , dan z . Setiap sumbu dilakukan pengujian sebanyak 5 kali, untuk posisi diam, dan 1 kali untuk kondisi bergerak. Pengujian dalam kondisi bergerak dilakukan untuk mengetahui respon sensor pada saat diberi gangguan berupa gerakan atau getaran.

4.1.1 Posisi 1

Posisi pertama adalah posisi dimana kaki-kaki sensor menghadap ke atas atau disebut juga sebagai posisi z -negatif. Gambar 4.2 memperlihatkan posisi sensor pertama yang digunakan:



Gambar 4.2 Sensor pada posisi 1

Pada posisi 1, sensor digerakkan ke arah sumbu x , y , dan z . setiap sumbu yang dimiliki digerakkan pada arah sumbu itu sendiri dan ke arah sumbu yang berlawanan. Setiap hasil yang diperoleh dicatat dan disimpan dalam *osiloskop* dalam bentuk grafik. Grafik tersebut terjadi karena adanya perubahan gelombang.

Kondisi Diam

Pengukuran pada kondisi diam yaitu pengukuran yang dilakukan tanpa memberikan sinyal apa pun terhadap sensor. Pengukuran diam dilakukan untuk mengetahui sinyal keluaran yang dihasilkan sensor dan membandingkan dengan nilai referensi yang ada dalam *datasheet*

Table 4.1 Hasil pengukuran statis untuk posisi 1

NO	Sumbu x (Volt)	Sumbu y (Volt)	Sumbu z (Volt)
1	1,72	1,52	0,82
2	1,73	1,51	0,81
3	1,72	1,52	0,82
4	1,73	1,52	0,81
5	1,72	1,53	0,81
Rata-rata	1,724	1,520	0,814

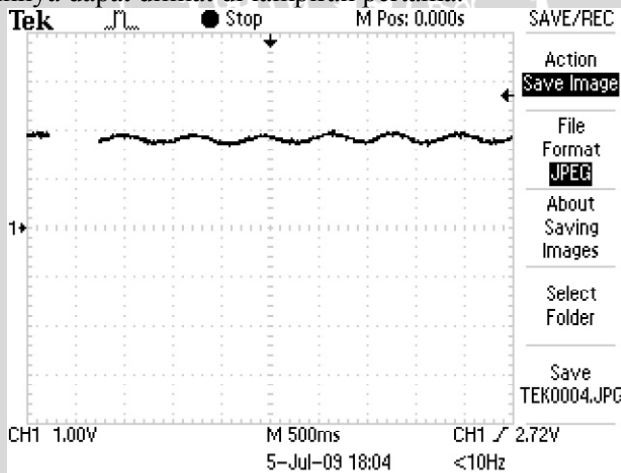
Table 4.2 Nilai rata-rata dan error dari pengukuran statis pada posisi 1

Sumbu	Data Sheet (V)	Pengukuran (V)	Error %
x	1,65	1,724	4,24
y	1,65	1,520	7,07
z	0,86	0,814	5,81

Dari hasil pengukuran yang dilakukan, diperoleh harga *error* untuk tiap sumbu. Terlihat bahwa *error* yang dimiliki dibawah 10%. Nilai *error* diperoleh dari persamaan (3-2). Dari nilai *error* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sensor bisa bekerja dengan baik. Harga yang tercatat dari pengukuran tidak jauh berbeda dengan nilai sebenarnya.

Kondisi Bergetar

Pada saat sensor diletakkan pada posisi 1, sensor diberi gangguan berupa gerakan ke arah masing-masing sumbu. Pengukuran dilakukan pada sumbu *x*, yang digetarkan ke arah *x*, *y*, dan *z*. pada pengukuran ke arah sumbu *y*, sensor digetarkan pada arah *x*, *y*, dan *z*. dan pengukuran pada sumbu *z* yang digetarkan pada arah sumbu *x*, *y*, dan *z*. gambar 4.3 merupakan hasil dari pengukuran untuk sumbu *x* yang digetarkan pada arah *x*. untuk getaran ke sumbu yang lainnya dapat dilihat di lampiran pertama.



Gambar 4.3 Pengukuran sumbu *x* untuk arah getar ke *x*

Dari gambar 4.3, terlihat adanya fluktuasi nilai tegangan yang terjadi. Fluktuasi tersebut terjadi karena adanya gangguan yang diberikan pada sensor berupa gerakan ke arah sumbu *x*. untuk gerakan ke arah sumbu *y* dan *z*, grafik terlihat lurus. Hal ini disebabkan karena keluaran sumbu *x*, hanya mendeteksi pergerakan pada sumbu *x*, dengan posisi pertama. Jika posisi diubah kembali, arah gerak

terhadap sumbu gerak yang berbeda bisa menimbulkan fluktuasi tegangan yang terlihat pada *osiloskop*.

4.1.2 Posisi 2

Posisi 2 merupakan posisi dimana kaki-kaki sensor menghadap ke bawah. Pada posisi ini, harga minimum untuk masing-masing sumbu berbeda dengan posisi pertama. Dari posisi kedua diperoleh data sesuai dengan tabel 4.3. Pada posisi 2, harga sumbu z terletak pada arah $+g$, sedangkan untuk sumbu x dan y berada pada posisi $0 g$. Gambar 4.4 menunjukkan posisi 2, pada saat kaki sensor menghadap kebawah.



Gambar 4.4 Sensor pada posisi 2

Kondisi Diam

Pada kondisi statis(diam) untuk pengukuran kedua diperoleh data hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran statis untuk posisi 2

NO	Sumbu x (Volt)	Sumbu y (Volt)	Sumbu z (Volt)
1	1,72	1,53	2,42
2	1,72	1,54	2,41
3	1,72	1,53	2,41
4	1,72	1,54	2,42
5	1,72	1,53	2,41
Rata-rata	1,72	1,534	2,414

Tabel 4.4 Nilai rata-rata untuk posisi 2 pada keadaan statis

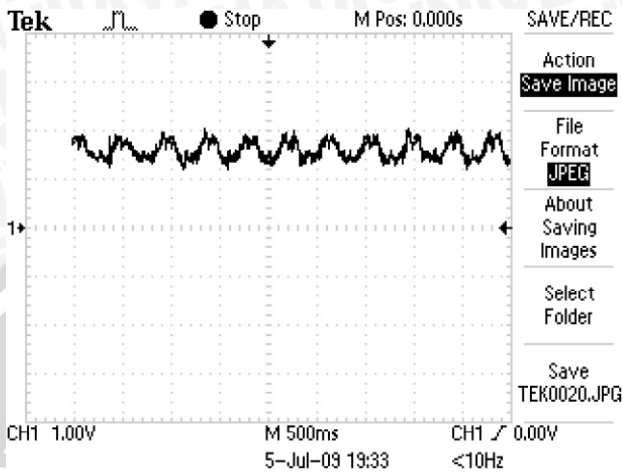
Sumbu	Data Sheet (V)	Pengukuran (V)	$Error \%$
x	1,65	1,720	4,24
y	1,65	1,534	7,03
z	2,45	2,414	1,47

Nilai untuk masing-masing posisi sensor dapat dilihat pada table 4.3. untuk kondisi diam, sensor hanya diukur harga keluaran dari masing-masing sumbu, dan membandingkannya dengan *datasheet* yang ada. Nilai *error* yang diperoleh untuk masing masing sumbu adalah relatif kecil. Semua harga yang diperoleh berada di bawah kisaran 10 persen. Untuk sumbu x , *error* yang dimiliki sebesar 4,24%, sumbu y 7,03% dan sumbu z 1,47%. Dari nilai tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa pada posisi 2, sensor masih bisa bekerja dengan semestinya.

Kondisi Bergetar

Pada kondisi bergetar(dinamis) sensor diberi gangguan berupa getaran ataupun gerakan yang mengakibatkan sensor tersebut berubah posisi. Dari perubahan tersebut sensor dapat mendeteksi besarnya getaran(vibrasi) yang terjadi dan diubah kedalam bentuk tegangan yang mengakibatkan perubahan amplitudo grafik pada *osiloskop*. Gambar 4.5 menunjukkan sinyal keluaran dari sumbu y yang digerakkan terhadap arah sumbu y .

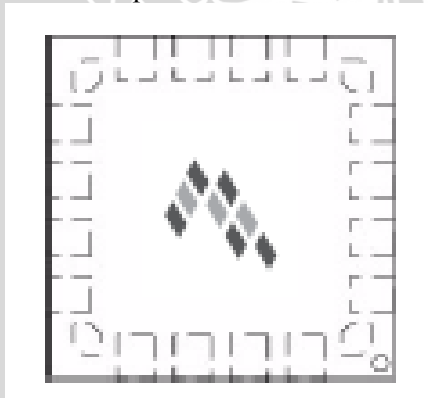
Besar kecilnya *amplitude* yang terukur menunjukkan berapa besar getaran yang terjadi yang diterima oleh sensor tersebut. Semakin besar perubahan amplitudo yang terjadi, menunjukkan getaran yang terukur besar. Fluktuasi nilai tegangan menunjukkan perubahan posisi yang terjadi, yang mengakibatkan terjadi perubahan kapasitif dari dalam sensor.



Gambar 4.5 Sinyal keluaran sumbu y untuk arah gerak ke sumbu y

4.1.3 Posisi 3

Posisi 3 adalah posisi dimana sensor diletakkan seperti terlihat pada gambar 4.6 atau disebut juga sebagai posisi y positif. Untuk mengetahui berapa harga yang akan dikeluarkan oleh masing-masing sumbu saat diberikan sumber tegangan. Dari hasil pengukuran diperoleh data pada tabel 4.5 dan 4.6



Gambar 4.6 Sensor pada posisi 3

Kondisi Diam

Table 4.5 Hasil pengukuran statis untuk posisi ketiga

NO	Sumbu x (Volt)	Sumbu y (Volt)	Sumbu z (Volt)
1	1,74	2,32	1,58
2	1,74	2,32	1,58
3	1,75	2,32	1,58
4	1,74	2,32	1,59
5	1,75	2,32	1,58
Rata-rata	1,74	2,32	1,58

Tabel 4.6 Nilai rata-rata untuk posisi 3 pada keadaan statis

Sumbu	Data Sheet (V)	Pengukuran (V)	<i>Error</i> %
x	1,65	1,744	5,69
y	2,45	2,320	5,30
z	1,65	1,582	4,12

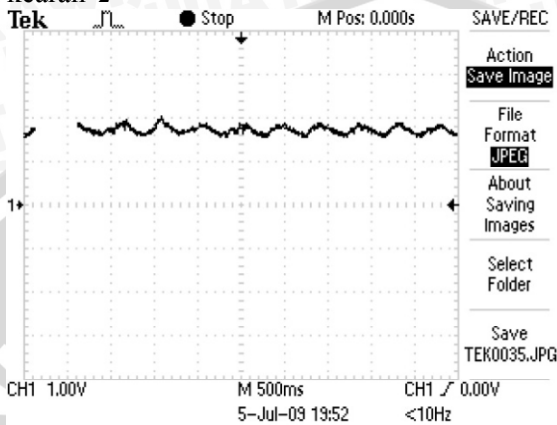
Dari tabel 4.5, diperoleh nilai keluaran untuk masing-masing sumbu. Setiap sumbu dilakukan pengujian sebanyak lima kali. Dari perolehan nilai tersebut akan dihitung nilai rata-rata untuk masing-masing sumbu. Perhitungan nilai rata-rata tersebut untuk mengetahui tingkat *error* dari sensor.

Dari tabel 4.6 diperoleh nilai *error* untuk masing-masing keluaran sensor. Sama halnya dengan pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya, untuk posisi ini pun dilakukan pengambilan data yang sama. Keluaran dari masing-masing sumbu memiliki harga yang berbeda. Setiap posisi memiliki harga referensi masing-masing untuk di jadikan acuan dalam menentukan harga *error*. Dari hasil perhitungan diperoleh *error* yang dimiliki sumbu x sebesar 5,69%, sumbu y 5,3% dan sumbu z 4,12%.

Kondisi Bergetar

Untuk posisi 3, pengujian dinamis dilakukan dengan cara menggerakkan sensor ke arah masing-masing sumbu. Data yang ditampilkan berupa gerakan sensor ke arah sumbu z . Sinyal keluaran yang di ukur berasal dari sumbu z . Dari hasil pergerakan tersebut,

diperoleh data seperti pada gambar 4.7. pengukuran Sumbu z yang digetarkan kearah z



Gambar 4.7 Pengukuran sumbu z pada arah z .

Dari gambar 4.7, terlihat bahwa terjadi fluktuasi nilai tegangan keluaran dari sensor pada sumbu z . Sama halnya untuk pengujian-pengujian sebelumnya, fluktuasi diakibatkan karena perubahan posisi sensor. Perubahan posisi(pergerakan yang terjadi pada sensor) dianggap sebagai vibrasi. Pada saat terjadi vibrasi, maka sensor akan mendeteksinya, kemudian mengubahnya menjadi keluaran dalam bentuk perubahan tegangan dari kondisi diamnya.

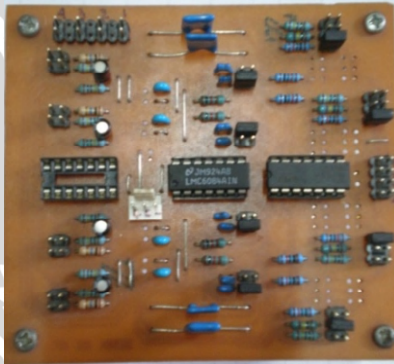
4.2 Hasil Pengujian Rangkaian *Charge Amplifier*

Rangkaian *charge amplifier* dapat dilihat pada gambar 4.8. Sebelum rangkaian ini dihubungkan ke sensor, diukur terlebih dahulu harga tegangan keluaran untuk kondisi normal. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kerja dari alat berjalan normal atau tidak.

Hasil pengujian untuk *charge amplifier*, tidak bisa ditampilkan. Pengukuran yang dilakukan hanya untuk mengetahui alat bekerja dengan baik atau tidak. Dari hasil pengujian, rangkaian *charge amplifier* bisa berfungsi dengan baik dan bisa digunakan untuk pengukuran selanjutnya.

4.3 Hasil Pengujian Keseluruhan

Setelah dilakukan pengujian untuk sensor, maka selanjutnya adalah pengujian untuk sensor dengan rangkaian penguat yang telah dirancang. Penguat yang dibuat menggunakan LMC 6084. Dengan menggunakan rangkaian *charge amplifier*, diharapkan mampu menghilangkan nois pada sinyal yang diterima oleh sensor. Gambar 4.8 merupakan rangkaian dari *charge amplifier*.



Gambar 4.8 Rangkaian *charge amplifier*

Sensor diletakkan berdekatan dengan *geophone*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui referensi dari gelombang yang telah diterima oleh *geophone*. Gambar 4.9 memperlihatkan *geophone* yang diletakkan berdekatan dengan sensor pada kondisi lapangan.



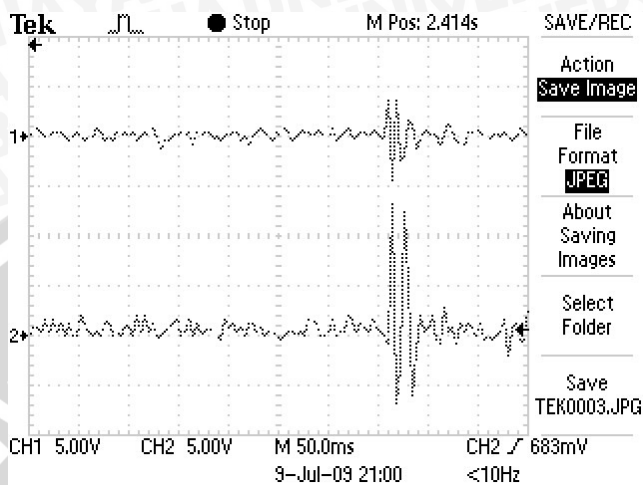
Gambar 4.9 Sensor dan *geophone* pada kondisi lapangan

Dari pengukuran yang telah dilakukan diperoleh hasil pengukuran pada saat gelombang datang dideteksi oleh sensor dan dengan *delay* waktu yang di catat oleh *geophone*. *Delay* waktu yang tercatat oleh *geophone* adalah beda waktu antara gelombang yang terjadi dari sumber sampai gelombang yang diterima oleh *geophone*. sedangkan *delay* waktu yang terjadi antara sensor adalah beda waktu antara gelombang datang pertama untuk sensor pertama dan gelombang datang pertama untuk sensor kedua.

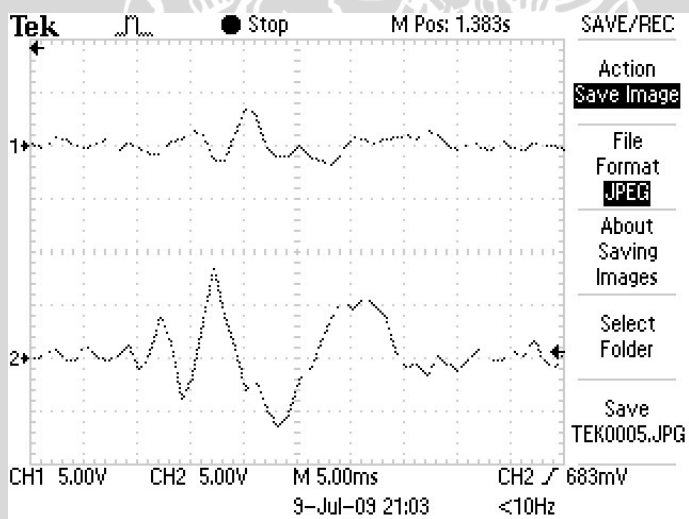
Pengukuran dilakukan pada 4 kondisi. Perbedaan kondisi ini dilihat dari jarak yang digunakan antara masing-masing sensor, posisi sensor, dan sumbu keluaran yang digunakan pada pengukuran.

4.3.1 Kondisi Pertama

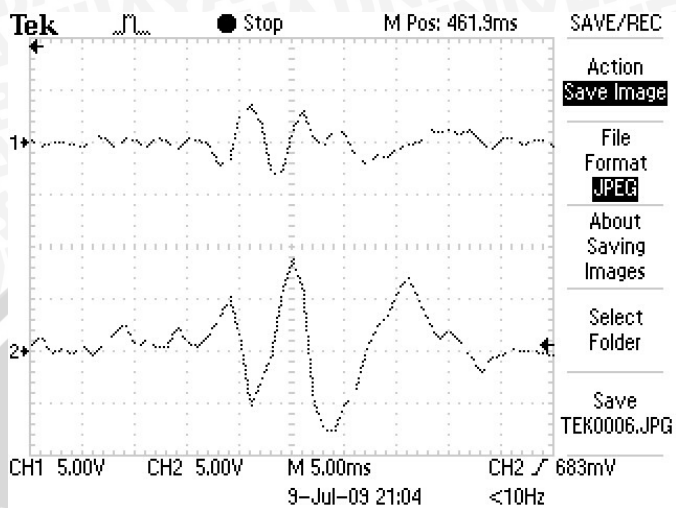
Kondisi pertama adalah kondisi dimana sensor diletakkan dengan jarak satu meter, dari masing-masing sensor. Posisi antara *geophone* dengan sensor sama seperti pada gambar 4.9. dimana *geophone* tepat berada disamping sensor. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali untuk pengulangan data pada kondisi yang sama. Gambar 4.10 berikut ini menunjukkan data hasil yang terekam oleh sensor. Gambar 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 dan 4.14 merupakan gambar yang terekam oleh sensor untuk masing-masing pengulangan.



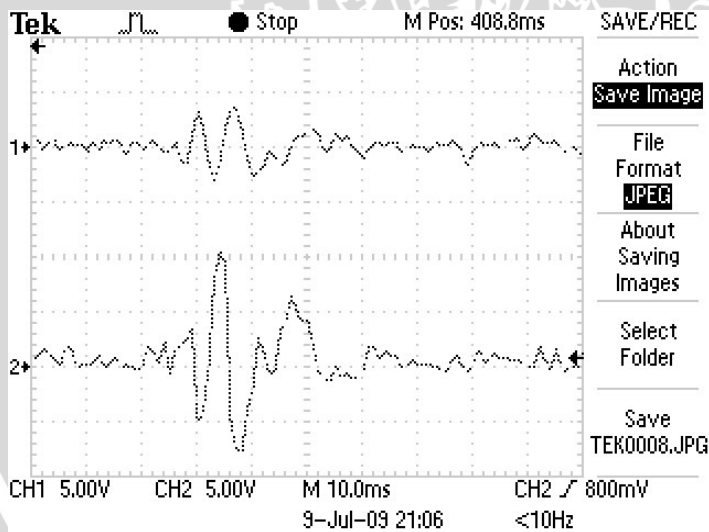
Gambar 4.10 Hasil uji sensor pada kondisi pertama pengukuran pertama



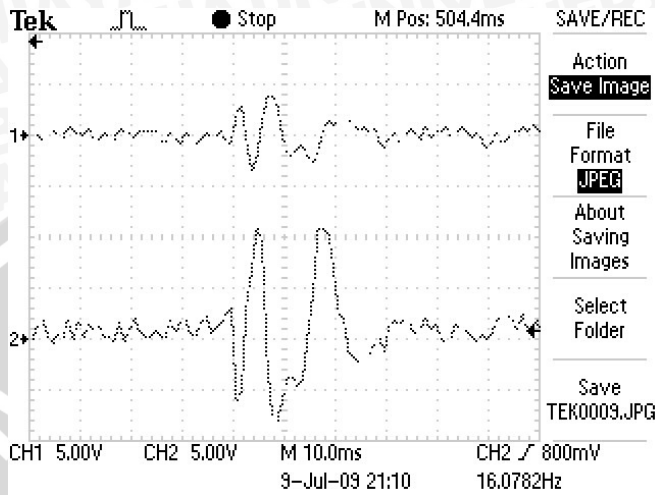
Gambar 4.11 Hasil uji sensor kondisi pertama pada pengukuran kedua



Gambar 4.12 Hasil uji sensor kondisi pertama pengukuran ketiga



Gambar 4.13 Hasil uji sensor kondisi pertama pada pengukuran keempat



Gambar 4.14 Hasil uji sensor kondisi pertama pada pengukuran kelima

Tabel 4.7 Delay waktu yang tercatat oleh *geophone*

No	Jarak (meter)	Delay waktu (mS)	Kecepatan (m/s)
1	1	1,2	833,33
2	1	0,4	2500
3	1	0,8	1250
4	1	0,8	1250
5	1	1	1000
Rata -Rata	1	0,84	1366,66

Gelombang datang pertama dan gelombang datang kedua memiliki *delay* waktu. Hal ini terlihat dari masing-masing grafik yang ditampilkan pada osiloskop untuk pengukuran dengan menggunakan sensor. Untuk gambar 4.10, terlihat bahwa pada sensor pertama mencatat data lebih dahulu. Sensor kedua mencatat gelombang datang setelah sekian milidetik. *Amplitude* yang dimiliki sensor pertama lebih besar dibandingkan dengan *amplitude* pada sensor kedua. Hal ini karena gelombang datang yang diterima oleh sensor kedua memiliki nilai yang lebih kecil. Sesuai dengan prinsip

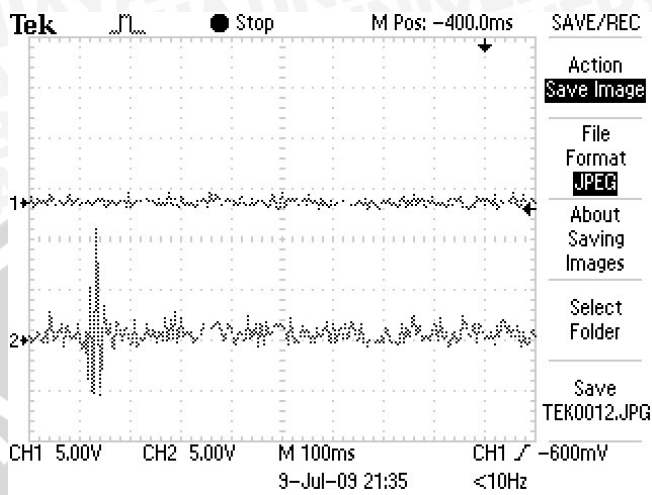
kerja dari akslerometer, bahwa besarnya harga tegangan sebanding dengan besarnya gelombang yang terukur. Pada *oscillockop*, besarnya *amplitude* menunjukkan besarnya gelombang yang terukur.

Karena pengukuran dilakukan dalam kondisi yang sama, maka pembahasan hasil yang diperoleh dibahas secara bersamaan. Untuk gambar 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 memiliki kondisi yang sama. Harga tegangan yang terukur pada sensor pertama memiliki nilai *amplitude* yang lebih besar dibandingkan dengan pengukuran pada sensor kedua. Hal ini disebabkan karena adanya peredaman gelombang yang terjadi pada medium yang dilalui (tanah). Semakin jauh jarak yang digunakan sebagai patokan, akan semakin kecil gelombang yang terdeteksi oleh sensor. Selain itu, sensitifitas sensor yang mempengaruhi ada tidaknya gelombang yang terukur.

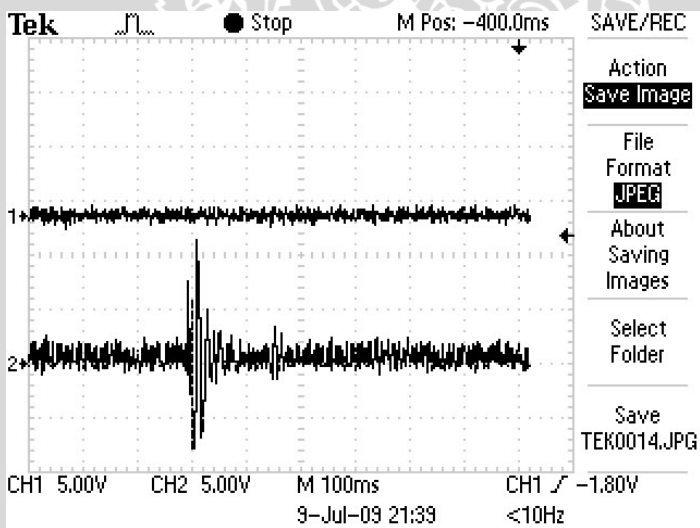
Dari tabel 4.7 Diperoleh *delay* waktu antara gelombang yang terjadi sampai gelombang yang diterima oleh geophone. *Delay* waktu ini tercatat secara otomatis oleh pencatat seismik yang menjadi sistem dengan *geophone*. Dengan mengetahui *delay* waktu yang terjadi, dapat dicari harga kecepatan. Kecepatan penjaralan gelombang pada medium dapat memberikan informasi mengenai kondisi dari medium yang dilalui tersebut.

4.3.2 Kondisi Kedua

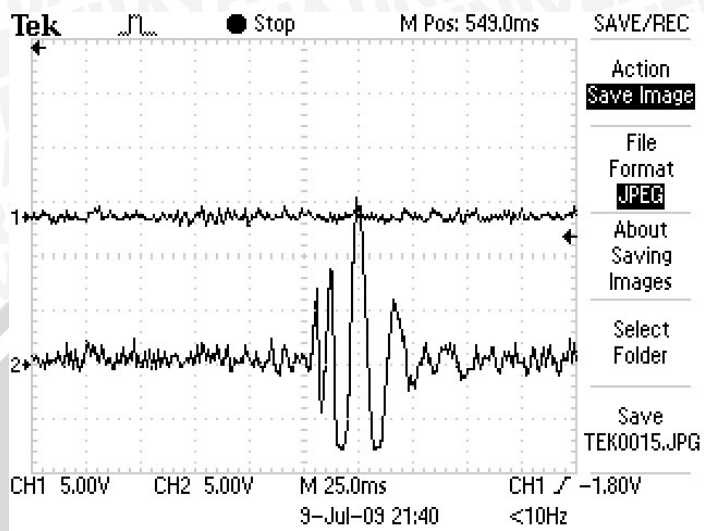
Kondisi kedua adalah kondisi diaman sensor 1 diletakkan sejauh 4 meter dari sensor 2. Sumber getaran dihasilkan dari palu *seismic* yang dipukulkan pada bidang logam. Getaran yang dihasilkan oleh pukulan tersebut akan diteruskan melalui medium tanah, dan dipantulkan pada sensor maupun *geophone* yang digunakan untuk mengukur gelombang tersebut. Gambar 4.15 Berikut ini merupakan salah satu hasil dari pengukuran sensor pertama dan sensor kedua.



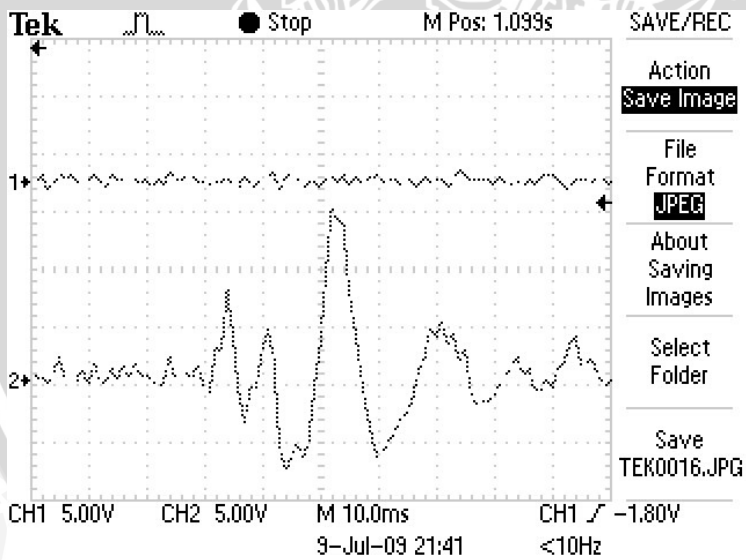
Gambar 4.15 Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran pertama.



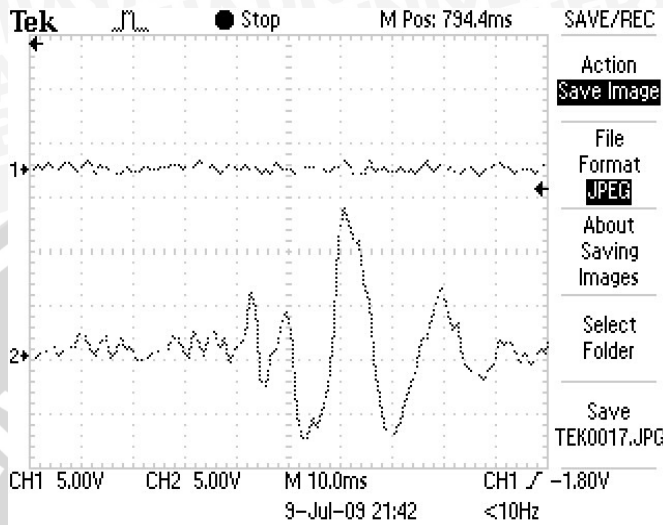
Gambar 4.16 Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran kedua.



Gambar 4.17 Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran ketiga.



Gambar 4.18 Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran keempat.



Gambar 4.19 Hasil uji sensor untuk kondisi kedua pada pengukuran kelima.

Tabel 4.8 Delay waktu pada kondisi kedua

No	Jarak (meter)	Delay waktu (mS)	Kecepatan (m/s)
1	4	8,2	2050
2	4	7,4	1850
3	4	10	2500
4	4	8,8	2200
5	4	9,6	2400
Rata -Rata	4	7,2	2200

Dari hasil pengukuran pada kondisi kedua, diperoleh gambar 4.15 sampai 4.19. Dari gambar yang diperoleh ada kesamaan untuk sensor kedua, yaitu sensor tidak dapat mendeteksi gelombang yang terpantulkan dari tanah. Hal ini terjadi karena jarak antara sensor dengan sumber gelombang lebih jauh dari kondisi pertama. Sensitifitas sensor tidak bisa mendeteksi pada gelombang lemah. Untuk sensor pertama, yaitu sensor yang diletakkan dekat dengan sumber getaran, dapat mendeteksi dengan cepat dan data yang diperoleh cukup bagus. Selain itu, frekuensi yang dimiliki oleh

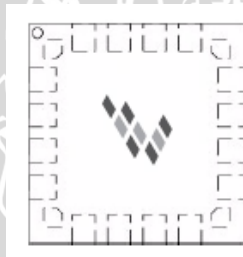
osiloskop cukup besar, sehingga, pada pengukuran kedua ini tidak dapat mendeteksi pantulan gelombang dengan baik.

Sensor kedua tidak mendeteksi gelombang yang menjalar. Walaupun bisa mendeteksi, sinyal yang diberikan oleh osiloskop tidak bisa di tampilkan karena tegangan yang digunakan saat itu cukup besar (volt/div untuk masing-masing *channel* adalah 5volt) bila harga tegangan tersebut diperbesar maka sinyal yang terekam pada *channel* pertama akan terpotong.

Dari tabel 4.8, tercatat *delay* waktu untuk penjalaran gelombang yang terjadi sampai gelombang yang diterima oleh *geophone*.

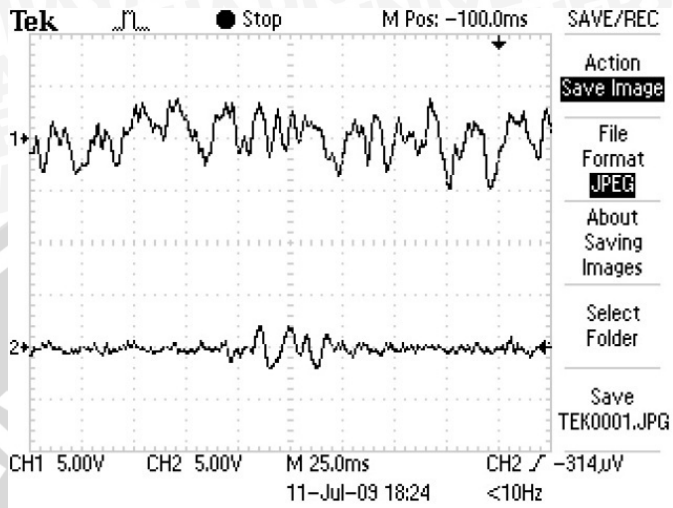
4.3.3 Kondisi Ketiga

Kondisi ketiga adalah kondisi dimana sensor diposisikan seperti pada gambar 4.20.

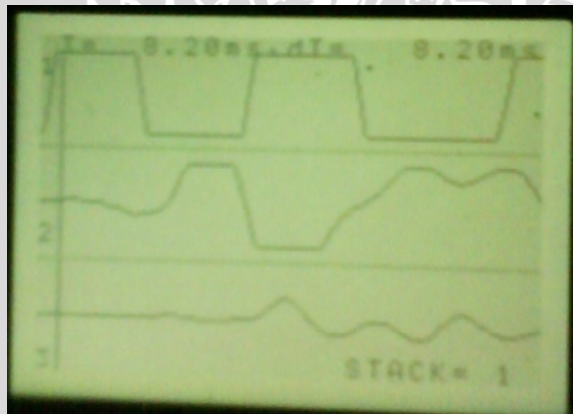


Gambar 4.20 Posisi sensor pada pengambilan data ke 3.

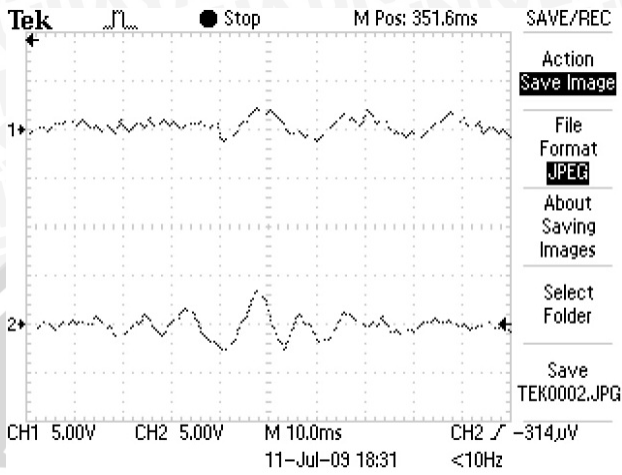
Pada pengambilan data ketiga, digunakan 2 sensor dengan sumbu keluaran yang berbeda. Untuk sensor pertama, digunakan sumbu z sebagai keluaran. Dan untuk sensor kedua, digunakan sumbu x sebagai keluaran dari sensor. Kedua keluaran tersebut dihubungkan pada *charge amplifier*. Keluaran dari sensor dapat dilihat pada *osiloskop*. Jarak antara sensor pertama dan sensor kedua adalah 2 meter. Masing-masing sensor diletakkan disamping *geophone*. Berikut ini merupakan hasil dari pengambilan data untuk kondisi ketiga.



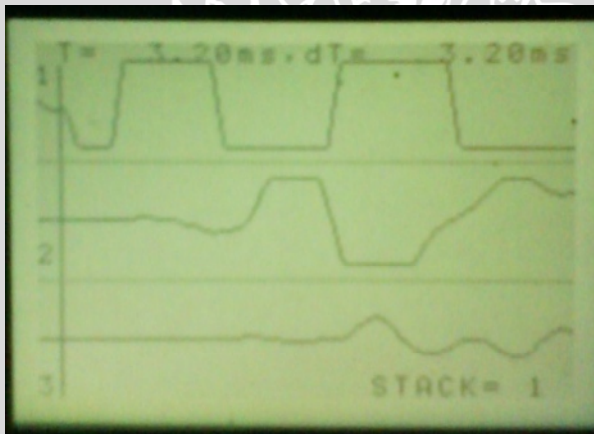
Gambar 4.21 Hasil pengukuran pertama pada kondisi ketiga



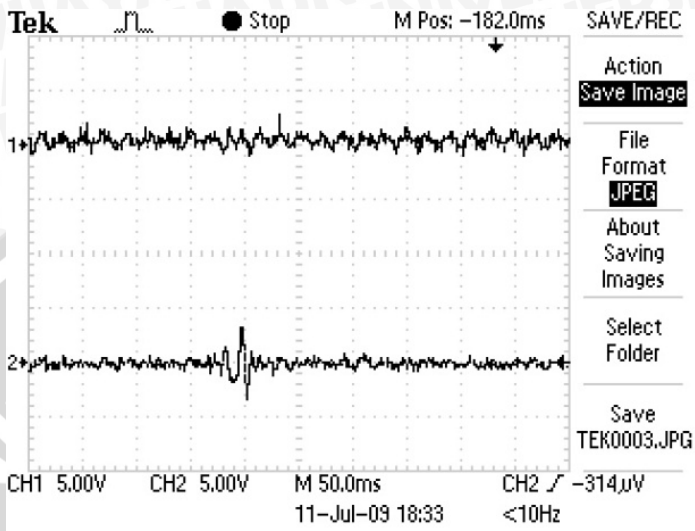
Gambar 4.22 Hasil pengukuran *geophone* untuk pengukuran pertama



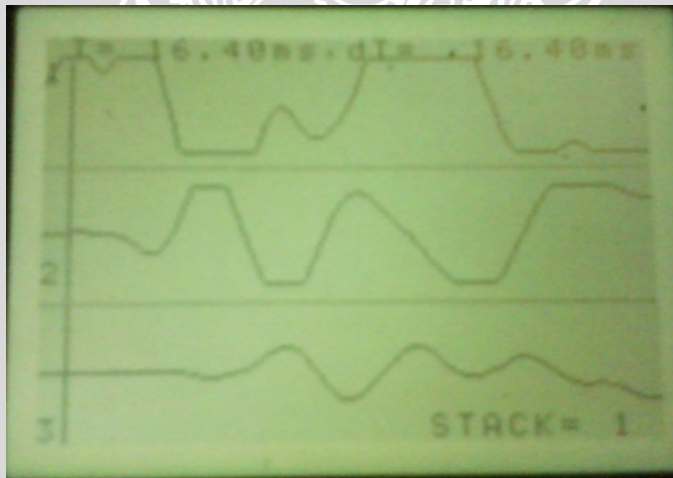
Gambar 4.23 Hasil uji sensor untuk kondisi ketiga pada pengukuran kedua



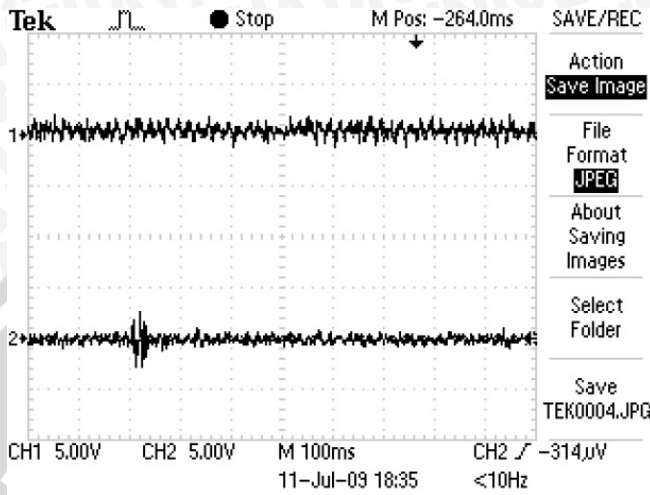
Gambar 4.24 Hasil *geophone* untuk kondisi ketiga pada pengukuran kedua



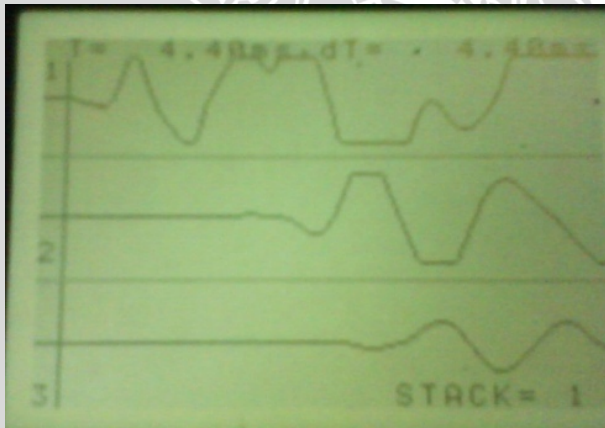
Gambar 4.25 Hasil uji sensor untuk kondisi ketiga pengukuran ketiga



Gambar 4.26 Hasil geophone untuk kondisi ketiga pada pengukuran ketiga



Gambar 4.27 Hasil uji sensor untuk kondisi ketiga pengukuran ketiga



Gambar 4.28 Hasil *geophone* untuk kondisi ketiga pada pengukuran ketiga

Dari hasil pengukuran pada kondisi ketiga, diperoleh data hasil sesuai dengan gambar 4.21 sampai gambar 4.28. Dari masing-masing gambar, untuk pengukuran menggunakan sensor akselerometer, diperoleh data bahwa terdapat *delay* untuk sensor pertama dan sensor kedua. *Delay* terjadi karena gelombang datang

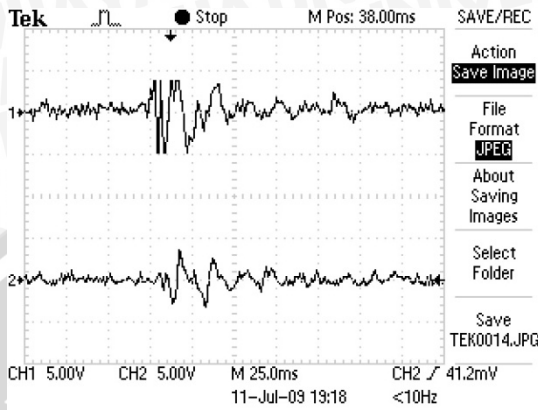
untuk masing-masing sensor berbeda waktu. Sinyal yang ditangkap oleh sensor pertama lebih dulu sampai dibandingkan dengan sensor kedua. Hal ini terjadi karena sensor pertama lebih dekat dengan sumber gelombang dibandingkan dengan sensor kedua.

Dari gambar 4.23, terlihat jelas bahwa sensor pertama memiliki waktu lebih dulu dari sensor kedua pada saat menerima gelombang pantulan. Sedangkan sensor kedua menangkap sinyal setelah beberapa mili detik dari sensor pertama. Sinyal yang ditangkap oleh sensor kedua lebih kecil, sehingga perubahan gelombang yang terjadi tidak begitu terlihat. Dari data hasil *geophone*, terlihat adanya perbedaan waktu datang untuk gelombang untuk masing-masing *geophone*.

Dari gambar 4.23 dan gambar 4.24, bisa dibandingkan amplitudo yang terukur oleh *geophone* dengan amplitudo yang terukur oleh sensor. Amplitudo *geophone* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan amplitudo yang terekam oleh sensor. Hal ini menunjukkan bahwa penguatan yang dimiliki oleh *geophone* lebih besar daripada penguatan yang dimiliki oleh sensor. Sensor yang telah dibuat bisa mengukur vibrasi yang lebih besar daripada yang dihasilkan oleh palu. Sinyal yang direkam oleh *geophone* terlihat lebih jelas antara waktu datang gelombang pada *geophone* pertama dengan *geophone* kedua.

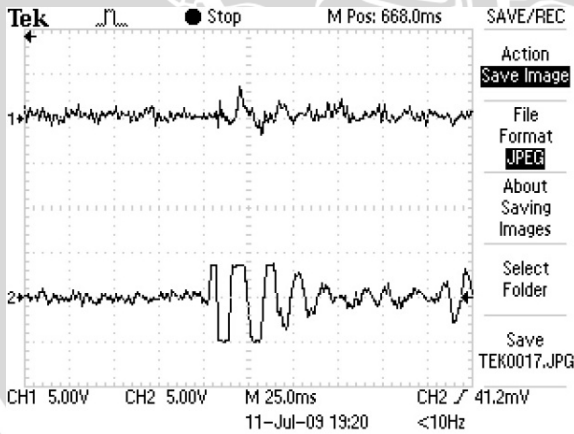
4.3.4 Kondisi Keempat

Kondisi keempat adalah kondisi dimana pengukuran dilakukan tanpa menggunakan *geophone* sebagai pembanding. Sensor diletakkan dengan jarak 2 meter antara sensor pertama dan kedua. Sumber getaran berada diantara kedua sensor tersebut. Posisi sensor diletakkan seperti pada gambar 4.20.



Gambar 4.29 Sumber getaran diletakkan dekat sensor kedua

pengukuran dilakukan pada 2 keadaan. Pertama, sumber getaran lebih dekat pada sensor pertama, dan yang kedua, sumber getraan diletakkan lebih dekat pada sensor kedua. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa sensor bisa mendeteksi gelombang yang diberikan oleh sumber, dan memiliki *delay* waktu antara sensor pertama dan sensor kedua.



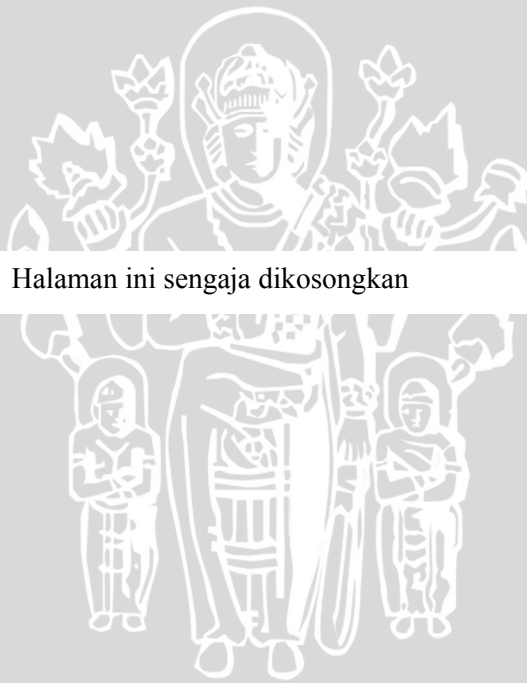
Gambar 4.30. Sumber getaran diletakkan dekat sensor pertama

Dari gambar 4.29 dan gambar 4.20 terlihat perbedaan gelombang datang pertama untuk masing masing sensor. *Chanel 1* merupakan keluaran dari sensor kedua, dan *chanel 2* merupakan keluaran dari sensor pertama. Untuk gambar 4.29, sensor kedua lebih dulu mendeteksi gelombang yang dihasilkan oleh sumber getaran. Sedangkan untuk gambar 4.30, sensor pertama lebih dahulu mendeteksi gelombang yang dihasilkan oleh sumber getaran. Sumber getaran berasal dari pukulan palu seismic pada tanah. Dari hasil pengukuran tersebut, terlihat bahwa adanya perbedaan waktu sampai gelombang pada sensor pertama dan sensor kedua. Waktu datang gelombang dipengaruhi oleh jarak sensor terhadap sumber getaran. Dari pengukuran tersebut, dapat dihitung berapa delay waktu yang dimiliki gelombang untuk samapi pada sensor kedua, maupun sebaliknya. Delay waktu yang tercatat, dapat digunakan untuk menghitung cepat rambat dari gelombang yang menjalar pada medium yang dilaluinya(dalam hal ini, medium yang dilalui adalah tanah).

Geophone berfungsi untuk mengetahui *delay* waktu antara gelombang datang pertama pada sensor pertama, dan seterusnya. Dari delay waktu antara sensor pertama dan sensor kedua, dapat diketahui berapa kecepatan yang dimiliki oleh gelombang yang merambat tersebut. Kecepatan gelombang pada suatu medium menunjukkan jenis medium yang dilalui.

Dari fungsi *geophone* yang telah diuraikan diatas, sensor akselerometer dapat difungsikan sebagai *geophone* dengan penyempurnaan dari komponen yang telah dibuat. *Delay* waktu yang dimiliki oleh kedua sensor dapat digunakan untuk mencari kecepatan dari gelombang yang menjalar tersebut. *Geophone* dengan menggunakan MEMS akselerometer, akan mengukur percepatan yang dimiliki oleh perambatan gelombang yang menjalar tersebut. Untuk mengetahui percepatan yang dimiliki oleh gelombang, perlu dilakukan perhitungan yang lebih lanjut, baik dengan menggunakan *software*, maupun hardware. Sehingga *geophone* jenis baru ini bisa benar-benar difungsikan sebagai *geophone* yang sudah ada di pasar komersial saat ini.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

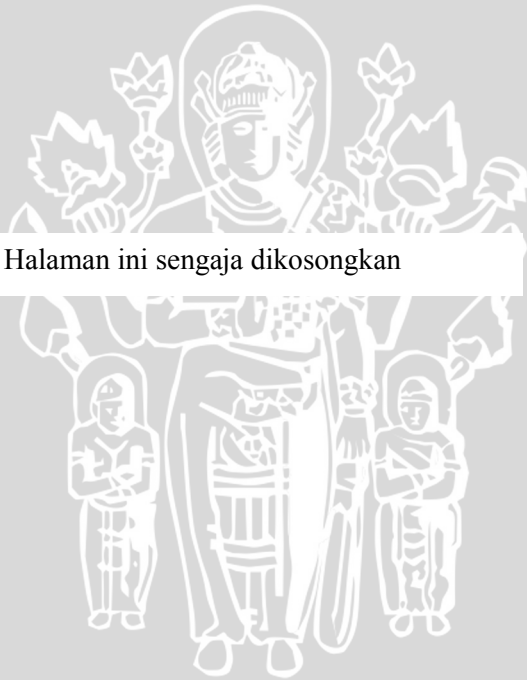
Pada penelitian ini telah dibangun sebuah sensor vibrasi universal dengan menggunakan komponen utama berupa piranti MEMS akselerometer. Sensor vibrasi yang telah dibangun ini dapat digunakan untuk mengukur vibrasi getaran mekanis dengan frekuensi tinggi (5 Hz – 300 Hz). Selain itu, telah dibangun sebuah sistem pengondisi sinyal yang terdiri dari *charge amplifier*, *band pass filter* (meloloskan frekuensi pada rentang 5Hz sampai 300Hz), dan penguat tegangan untuk memfungsikan sensor vibrasi tersebut sebagai *geophone*. Penelitian ini merupakan awal dari perkembangan sensor *geophone* berbasis akselerometer.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sensor *geophone* menggunakan akselerometer. Agar data yang diperoleh bisa diolah dan bisa ditampilkan pada PC, maka dibutuhkan suatu interface antara sensor dengan PC dan *software* pengolahan data sehingga informasi yang terkandung dalam data yang ditampilkan bisa diketahui. Selain itu, dibutuhkan rangkaian *charge amplifier* yang lebih sensitif dan bebas dari noise. Digunakan adaptor yang lebih bagus agar noise yang ada bisa dihilangkan. Data hasil percobaan bisa ditampilkan di layar PC, sehingga Frekuensi kerja yang dimiliki bisa diketahui, dan harga delay waktu yang ada bisa terukur.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous¹, <http://duniaseismik.blogspot.com/2008/07/geophone.html> Tanggal Akses 9 Februari 2009
- Anonymous², <http://duniaseismik.blogspot.com/2008/06/pembentangan-kabel-dan-penanaman.html> tanggal Akses 23 Juni 2009
- Anonymous³, <http://www.hsg-imit.de/index.php?id=40&L=1> Tanggal Akses 9 Februari 2009
- Anonymous⁴, http://en.wikipedia.org/wiki/Charge_amplifier Tanggal Akses 8 Juli 2009
- AIZAWA, Takao, Toshinori KIMURA, Toshifumi MATSUOKA, Tetsuya TAKEDA, Youichi ASANO. **Application Of MEMS Accelerometer to geophysics**. International Jurnal Of the JCRM. Volume4, number2, December 2008, pp1-4.
- Freescale, **MMA7260Q XYZ Three-Axis Low g Acceleration Sensor**, [http://www.freescale.com/files/sensors/doc/factsheet MMA7260QFS.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/factsheet/MMA7260QFS.pdf), Tanggal akses 13 Juni 2009
- Gardner, Julian W., Vijay K. Varadan, Osama O. Awadelkarim. 2000. **MICROSENSORS MEMS AND SMART DEVICE**. John Wiley & Sons. England
- Hamamatsu. 2001. **CHARACTERISTIC AND USE OF CHARGE AMPLIFIER**, http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/charge_amp_kacc9001e01.pdf Tanggal Akses 5 juli 2009
- Munadi, Suprajitno, Dr. 2000. **ASPEK FISIS SEISMOLOGI EKSPLORASI**. FMIPA UI. Depok

National, **LMC6084 Precision CMOS Quad Operational Amplifier**, <http://www.national.com/ds/LM/LMC6084.pdf>

Tanggal Akses 8 Juli 2009

Susilawati. 2004 <http://library.usu.ac.id/download/fmipa/fisika-susilawati.pdf> tanggal akses 21 Februari 2009

Tipler, Paul A.1998. **FISIKA Untuk Sains dan Teknik**. Erlangga Jakarta.

