PEMBUATAN ALAT UKUR GETARAN BERBASIS SENSOR *FLUXGATE* DENGAN *DISPLAY PERSONAL COMPUTER* (PC) UNTUK APLIKASI GEMPABUMI

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains

OLEH

DEVI SIDIQ

12755/2009

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2014

PERSETUJUAN SKRIPSI

PEMBUATAN ALAT UKUR GETARAN BERBASIS SENSOR *FLUXGATE* DENGAN *DISPLAY PERSONAL COMPUTER* (PC) UNTUK APLIKASI GEMPABUMI

Nama	: Devi Sidiq
NIM	: 12755
Program Studi	: Fisika
Jurusan	: Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 Januari 2014

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19730702 200312 1 002	NIP. 19740305 199802 2 001

PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Didepan Tim Penguji Skripsi

Program Studi Fisika Jurusan Fisika

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Padang

Judul	: **Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor *Fluxgate* dengan *Display Personal Computer* (PC) untuk Aplikasi Gempabumi**
Nama	: Devi Sidiq
NIM	: 12755
Program Studi	: Fisika
Jurusan	: Fisika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 27 Januari 2014

Tim Penguji

Nama		Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	1.
2. Sekretaris	: Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D	2.
3. Anggota	: Drs. Hufri, M.Si	3.
4. Anggota	: Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si	4.
5. Anggota	: Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si	5.

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, 22 Januari 2014

Yang Menyatakan,

Devi Sidiq

ABSTRAK

DEVI SIDIQ : Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor *Fluxgate* Dengan *Display Personal Computer* (PC) Untuk Aplikasi Gempabumi

Aktifitas pergerakan lempeng permukaan bumi dan gunung api dapat menyebabkan terjadinya gempabumi. Agar dapat mengukur peristiwa gempabumi maka dibutuhkan alat ukur gempabumi yang dapat menganalisa kejadian gempabumi. Efek gempabumi jika ditinjau pada satu titik dapat berupa getaran. Getaran merupakan salah satu besaran fisika yang dapat diukur dengan meggunakan alat ukur getaran. Perkembangan alat ukur getaran mengaplikasikan gejala berbagai sensor, misalnya sensor dengan menggunakan gejala perubahan kapasitansi, perubahan muatan listrik dari piezoelektrik dan efek medan magnet dari sensor *fluxgate*. Berdasarkan hal tersebut penulis membuat alat ukur gempabumi dari alat ukur getaran dengan menggunakan sensor *fluxgate.* Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui spesifikasi desain dan spesifikasi performansi alat ukur getaran *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium. Teknik pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. pengukuran secara langsung dilakukan terhadap hasil alat ukur getaran. Secara sistematis tegangan keluaran yang dihasikan oleh sensor *fluxgate* berbentuk sinyal analog. Data sinyal analog ini diolah dengan ADC (*Analog Digital Converter)* pada mikrokontroler sehingga menjadi data digital. Pengukuran tidak langsung berupa penampilan data digital yang diolah menggunakan bahasa pemograman *visual basic* (bahasa C#). Hasil pengolahan ini yang ditampilkan di layar monitor dalam bentuk grafik sebagai fungsi waktu yang merupakan bentuk getaran yang akan dianalisa.

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan desain alat ukur ini dapat mengukur getaran dengan resolusi sensitifitas sensor *fluxgate* terhadap simpangannya hingga ukuran $2{,}19 \cdot 10^{-3}\ cm$, dan ujicoba dari pembuatan alat ukur getaran ini telah diterapkan pada skala laboratorim dengan sumber getar buatan didapatkan pola grafik yang terekam sudah berupa gelombang permukaan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapan kehadirat Allah yang maha kuasa, karena dengan berkat dan rahmatNya peneliti telah dapat merealisasikan dan menulis tugas akhir ini. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan gambaran tentang "Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor *Fluxgate* Dengan *Display Personal Computer* (PC) Untuk Aplikasi Gempabumi ".

Dalam merealisasikan dan menulis tugas akhir ini penulis banyak menerima bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si, sebagai Pembimbing I dan Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D, sebagai Pembimbing II atas segala bantuannya yang tulus ikhlas memberikan bimbingan, arahan, saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Drs. Hufri, M.Si, Bapak Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si, Bapak Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si, sebagai dosen penguji pada Tugas Akhir.
3. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si, Sebagai Penasehat Akademik, yang selalu memberikan motivasi dan semangat untuk menyelasaikan Tugas Ahir.
4. Bapak Prof. H. Dr. Lufri, M.S, sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
5. Bapak Drs. Akmam, M.Si, sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
6. Ibu Dra. Yurnetti, M.Pd, sebagai Sekretaris Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.

7. Ibu Dra. Hidayati, M.Si, sebagai Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP.
9. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Elektronika, Geofisika dan Komputasi Fisika FMIPA UNP.
10. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Strategis Nasional tahun 2012 dengan judul "Desain dan Pembuatan Sistem Pendeteksi Gempabumi Berbasis Sensor Fluxgate". Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, Bapak Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si, Bapak Drs. Mohamad Taufik Gunawan, Dipl. Seis, selaku tim peneliti yang telah mengikutsertakan, membimbing dan membantu penulis dalam bentuk materil maupun moril dalam menyelesaikan tugas ahir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam laporan tugas ahir masih terdapat beberapa kelemahan atau kekurangan. Adanya saran dan kritikan dari pembaca akan lebih menyempurnakan laporan ini dimasa yang akan datang. Mudah-mudahan hasil laporan tugas ahir ini dapat memberikan manfaat kepada seluruh pembaca.

Padang, 23 Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR ii

DAFTAR ISI iv

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR LAMPIRAN viii

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang 1

B. Perumusan Masalah 2

C. Batasan Masalah 3

D. Tujuan Penelitian 3

E. Manfaat Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

A. Tinjauan Tentang Getaran 5

B. Tinjauan Tentang Getaran Gempabumi 7

C. Gelombang Gempabumi 12

D. Tinjauan Tentang Sensor *Fluxgate* 17

E. Pengolahan Sinyal Sensor *Fluxgate* 22

F. Power Supply 29

G. Mikrokontroler PIC 18F4550 30

H. Interfacing kontrol 32

I. Bahasa C# 36

BAB III METODE PENELITIAN 39
A. Tempat dan waktu penelitian 39
B. Jenis Penelitian 39
C. Alat dan bahan 40
D. Desain Penelitian 40
E. Prosedur Penelitian 44
F. Teknik Pengumpulan Data 47
G. Analisis data 47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 48
A. Hasil Penelitian 48
B. Pembahasan 59
BAB V PENUTUP 62
A. Kesimpulan 62
B. Saran 63
Daftar Pustaka 64

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

Gambar 1. (a)Sistem derajat kebebasan tunggal dengan peredam. (b) gaya yang bekerja pada benda (Goldman, 1999). 5
Gambar 2. Getaran teredam 7
Gambar 3. Tegangan geser 8
Gambar 4. Sifat elastis lempeng tektonik 9
Gambar 5. Simpangan getaran gempabumi 10
Gambar 6. Getaran bebas dengan redaman dari persamaan orde satu 11
Gambar 7. Gelombang primer 13
Gambar 8. Gelombang sekunder 14
Gambar 9. Bentuk gelombang gempabumi 16
Gambar 10. Prinsip sensor *fluxgate* (Pavel Ripka dan Alois Tipek, 2007). 17
Gambar 11. Desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti 18
Gambar 12. Prinsip kerja sensor *fluxgate* (dimodifikasi dari Grueger, 2000) 19
Gambar 13. Skema diagram pengolahan sinyal (Yulkifli,2010) 22
Gambar 14. Rangkaian osilator kristal dan IC CD 4060 (Wandy, 2008) 23
Gambar 15. *Op-amp* yang berfungsi sebagai *buffer* sinyal 23
Gambar 16. Rangkaian generator sinyal eksitasi (Wandy, 2008). 24
Gambar 17. Rangkaian penguat awal (Yulkifli, 2011) 25
Gambar 18. Rangkaian detektor fasa ketika keluaran sensor positif (Yulkifli, 2011) 26
Gambar 19. Rangkaian integrator (Wandy, 2008). 26
Gambar 20. Blok diagram penguat akhir (Wandy, 2008) 27
Gambar 21. Prinsip pengukuran jarak dengan *fluxgate* (Yulkifli, 2010) 28
Gambar 22. Rangkaian catu daya teregulasi 30
Gambar 23. Pin mikrokontroler PIC 18F4550 31
Gambar 24. Struktur interface intelligent sensor 33
Gambar 25. Bentuk rancangan sistem mekanik pada sensor alat. 40

Gambar 26. Blok diagram sistem 41
Gambar 27. *Cashing* prototipe alat 42
Gambar 28. *Flowchart* alat ukur getaran untuk aplikasi gempabumi 43
Gambar 29. Sistem mekanik sensor *fluxgate* 48
Gambar 30. Modul pengolahan sinyal 49
Gambar 31. Sirkuit elektronika modul pengolah data..... 50
Gambar 32. Tampilan tool driver seismograf sofware 12755..... 51
Gambar 33. Tampilan logloader..... 53
Gambar 34. Flowchart program mikrokotroler 55
Gambar 35. Data tanpa usikan 56
Gambar 36. Pola pada jarak dan usikan sama 57
Gambar 37. Jarak berbeda usikan sama 58
Gambar 38. Data pengamat gempa (A) dan data alat ukur (B,C,D) 59
Gambar 39. Sistem mekanik sensor 22
Gambar 40. *Casing* sistem mekanik sensor 22
Gambar 41. Modul pengolahan sinyal 23
Gambar 42. Pengoperasian alat saat pengambilan data 23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

Lampiran 1. *File* salah satu data pengukuran..... 2
Lampiran 2. *Project* Program Mikrokontroler PIC18F4550 dan Serial USB..... 4
Lampiran 3. *Project* program Tool Driver Seismograf Sofware 12755 11
Lampiran 4. *Project* program logloader..... 17
Lampiran 5. Dokumentasi Alat Ukur..... 22

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Daratan Indonesia merupakan daratan yang labil, karena Indonesia terletak di antara pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu : Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup kedalam lempeng Eurasia dan Indonesia juga berada pada jalur pegunungan aktif memanjang dari Sumatera hingga Jawa. Akibatnya setiap tahun Indonesia mengalami gempabumi, baik berupa gempa tektonik atau gempa vulkanik.

Aktivitas gempa yang terjadi dapat menimbulkan kerusakan sesuai dengan besarnya gempa. Untuk memprediksi besarnya gempa dibutuhkan alat yang dapat mengukur kekuatan gempa. Dalam perkembangan teknologi, kini telah ada alat ukur gempa seperti seismograf, hanya saja alat ukur gempa yang sudah ada masih belum dapat mencukupi kebutuhan penggunaan alat ukur gempabumi secara global hal ini disebabkan oleh mahalnya biaya untuk pengadaan alat ukur gempa.

Purwana (2010:1) menyatakan bahwa gempabumi adalah getaran (osilasi) yang disebabkan oleh deformasi elastik yang merambat melalui bumi. Ketika gempabumi terjadi sebagian energinya merambat kesegala arah berupa gelombang gempabumi. Besarnya gelombang yang disebabkan gempa dapat diukur dengan alat yang digunakan untuk menggukur getaran. Alat ukur getaran merupakan salah satu instrument fisika yang mampu digunakan untuk mengukur getaran. Perkembangan alat mendeteksi getaran mengaplikasikan gejala berbagai sensor,

misalnya sensor dengan menggunakan gejala perubahan kapasitansi, perubahan muatan listrik dari piezoelektrik, perubahan posisi dalam *Linier Variable Displacement Transvormer* (LVDT), efek medan magnet, dan lain sebagainya.

Sensor *fluxgate* merupakan sensor yang berkerja akibat respon induksi medan magnet yang dapat dilihat dari karakteristiknya sensor *fluxgate* mampu mendeteksi perubahan medan magnet yang sangat kecil hingga berorde nano tesla. Yulkifli (2010:203) menyatakan bahwa "Berdasarkan kalibrasi terhadap sensor *fluxgate* dapat mengukur medan magnet ± 20 μT dengan resolusi 7,6 nT, sensitivitas 4,08 mV/μT dan kesalahan relatif 0,021%". Keunggulan resolusi sensor *fluxgate* yang kecil, jika dikembangkan sensor ini dapat digunakan sebagai alat ukur dan menjadi dasar pembuatan alat ukur getaran gempa (Djamal, et al. 2010).

Pembuatan alat ukur getaran gempa tidak hanya meliputi nilai besaran getaran gempa yang di dapatkan, pembuatan juga meliputi pengolahan data yang dapat proses secara cepat. Hal ini dapat dilakukan dengan mengintegrasikan data alat ukur getaran yang didapat dari sensor *fluxgate* ke *Personal Computer* (PC). Dengan dasar ini penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang alat ukur getaran gempa. Sebagai judul dalam penelitian ini adalah : **"Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor *Fluxgate* Dengan *Display Personal Computer* (PC) Untuk Aplikasi Gempabumi"**.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini :

a. Bagaimana spesifikasi desain sistem alat ukur getaran menggunakan sensor *fluxgate* untuk aplikasi gempabumi yang telah dihasilkan?.
b. Bagaimana spesifikasi performansi sistem alat ukur getaran menggunakan sensor *fluxgate* untuk aplikasi gempabumi yang telah dihasilkan?.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yaitu pembuatan alat ukur dengan pengukuran satu dimensi arah vertikal pada getaran gempabumi menggunakan mikrokontroler jenis *Microchip* PIC 18F4550 dan analisis data membandingkan pola getaran yang dihasilkan oleh alat dengan hasil salah satu seismograf.

D. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu alat ukur getaran berbasis sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi, namun secara khusus tujuan dari penelitian ini adalah :

a. Menjelaskan spesifikasi desain alat ukur getaran berbasis sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi.
b. Menjelaskan spesifikasi performansi alat ukur getaran berbasis sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada :

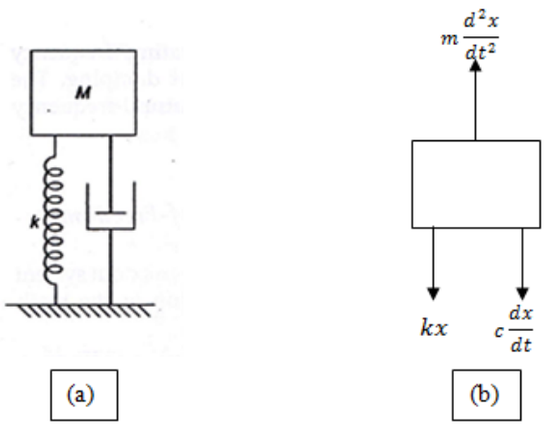
a. BMKG, dengan menyempurnakan alat ini dapat menambah referensi alat ukur standar untuk gempabumi.
b. Peneliti lain, sebagai sumber ide dan referensi untuk mengembangakan alat ukur berbasis sensor *fluxgate*.

c. Jurusan fisika, sebagai instrumen alternatif yang dapat digunakan pada laboratorium fisika khususnya Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi dan geofisika.
d. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian elektronika dan dalam upaya pengembangan instrumentasi berbasis elektronika.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Tentang Getaran

Efek yang diberikan oleh gelombang gempabumi jika ditinjau pada satu titik menimbulkan bentuk getaran, dari bentuk getaran ini akan didapat nilai-nilai besaran dari gempabumi. Getaran merupakan gerakan bolak balik suatu benda disekitar titik kesetimbangannya. Getaran disebabkan karena adanya gangguan yang diberikan kepada suatu benda ataupun materi. Dalam menganalisa getaran ada beberapa hal yang perlu diketahui, seperti simpangan, amplitude, frekuensi, dan perioda. Untuk meninjau konsep mekanik sebuah benda bergetar dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a)Sistem derajat kebebasan tunggal dengan peredam. (b) gaya yang bekerja pada benda (Goldman, 1999).

Gambar 1 merupakan sistem derajat kebebasan tunggal dengan peredam. Dari Gambar 1, dapat dilihat sebuah benda m ditahan oleh sebuah pegas dengan konstata k, dan sebuah peredam dengan konstanta redaman c. Goldman (1999:104). mengemukakan Resultan gaya dari masa ini adalah :

$$F = ma = m\frac{dv}{dt} = m\frac{d^2x}{dt^2} \quad (1)$$

Gaya-gaya yang bekerja pada benda ditunjukan pada Gambar 1, dimana gaya pegas adalah kx dan gaya redaman adalah $cv = c\frac{dx}{dt}$. Dengan menggunakan hukum Newton-II diperoleh persamaan umum getaran, yaitu :

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + c\frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2)$$

Peter (2011:60) menggambarkan bahwa solusi persamaan getaran dengan peredam dapat diperoleh dengan bentuk eksponensial, yaitu:

$$x(t) = Ce^{st} \quad (3)$$

dimana C dan s merupakan konstanta yang akan dicari dengan mensubtitusikan persamaan 2 ke dalam persamaan 3, maka didapatkan :

$$C(ms^2 + cs + k) = 0 \quad (4)$$

karena C tidak boleh berharga nol maka prsamaan 4 menjadi :

$$ms^2 + cs + k = 0 \quad (5)$$

Persamaan 5 memiliki dua akar dari rumus ABC, yaitu :

$$s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}} \quad (6)$$

Untuk memperoleh solusi umum dari persamaan 2, Dua akar dari persamaan 6 disubtitusikan ke persamaan 3, didapatkan :

$$x(t) = Ae^{s_1 t} + Be^{s_2 t}$$

$$x(t) = e^{-\left(\frac{c}{2m}\right)t}\left(Ae^{\sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}} + Be^{-\sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}}\right) \quad (7)$$

A dan *B* merupkan konstanta yang dihitung dari kondisi awal x(0) dan $\dot{x}(0)$. Nilai suatu redaman biasanya dinyatakan dalam redaman kritis :

$$\xi = \frac{c}{c_c} \tag{8}$$

yang disebut rasio redaman. Dengan mengingat bahwa :

$$\frac{c}{2m} = \xi \frac{c_c}{2m} = \xi \omega_n \tag{9}$$

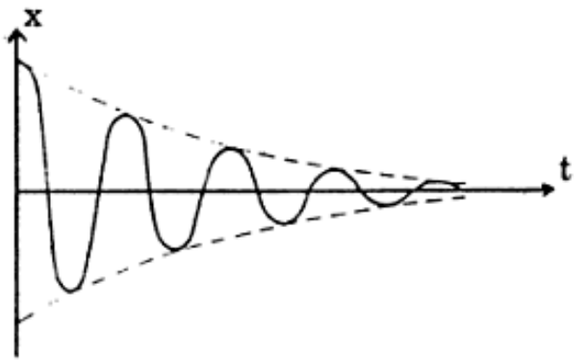
akar persamaan 6 sekarang dinyatakan dalam ξ sehingga persamaan menjadi :

$$s_{1,2} = \left(-\xi \pm \sqrt{(\xi)^2 - 1}\right)\omega_n \tag{10}$$

Dengan mensubtitusikan persamaan 10 dan persamaan 7, Prasetio (1992:30) mengemukakan solusi umum persamaan 2 menjadi :

$$x(t) = e^{-(\xi \omega_n)t}\left(C_1 sin\sqrt{1-(\xi)^2}\omega_n t + C_2 cos\sqrt{1-(\xi)^2}\omega_n\right) \tag{11}$$

Fungsi persamaan 2, dapat kita gambarkan bentuk asumsi getaran seperti terlihat pada Gambar 2.

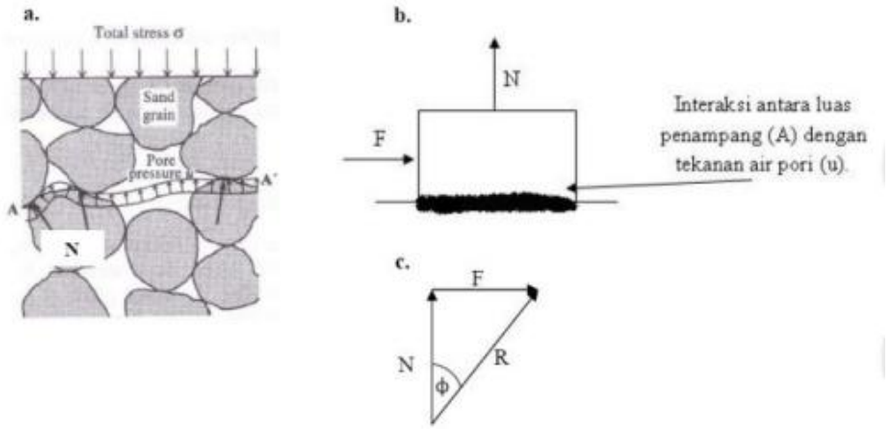


Gambar 2. Getaran teredam

B. Tinjauan Tentang Getaran Gempabumi

Getaran ditemukan pada peristiwa gempabumi saat terjadi patahan pada lempeng bumi, bagunan akan mengalami keruntuhan oleh getaran gempabumi. Ketika suatu lempeng mengalami tekukan/retakan berarti lempeng telah mengalami *strain*. Gaya yang menyebabkan terjadinya deformasi disebut dengan *stress*, konsep tegangan geser *(Shear stress)* yang diakibatkan gempabumi

menggunakan ilustrasi yang seperti yang ditunjukan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tegangan geser

Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui hubungan antara gaya geser (F), luasan efektif (A), dan sudut geser Φ seperti persamaan :

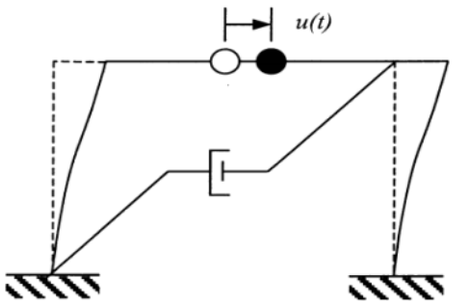
$$tan\ \Phi = \frac{F}{A} \tag{12}$$

selanjutnya tegangan geser gempa dapat ditentukan seperti persamaan :

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{dan} \quad \sigma = \frac{N}{A} \tag{13}$$

dimana τ adalah tegangan geser (N/m^2) dan σ adalah tegangan total (N/m^2).

Pada saat terjadi gempabumi, selain mengalami geseran lempeng tektonik bumi juga akan mengalami deformasi. Berkaitan dengan deformasi lempeng tektonik bumi, Marchand (2009: 2) mengungkapkan bahwa sebuah lempeng tektonik yang massanya m, ketebalannya h dan memiliki nilai tetapan elastisitas lempeng sebesar k, ketika menerima gaya F(t) akan mengalami simpangan sejauh u(t). Hal ini terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sifat elastis lempeng tektonik

Gambar 4 mempelihatkan bahwa akibat gaya yang bekerja pada lempeng maka besar modulus Elastisitas lempeng yang dimiliki lempeng tersebut dinyatakan seperti persamaan :

$$k = \frac{EI}{h^3} \, atau \, E = \frac{kh^3}{I} \tag{14}$$

dimana E adalah modulus elastisitas lempeng bumi, k adalah nilai tetapan elastisitas lempeng, h adalah ketebalan lempeng, dan I adalah momen inersia lempeng.

Modulus elastisitas lempeng tektonik bumi dipengaruhi oleh besarnya tegangan *(stress)* yang bekerja pada lempeng tektonik bumi. Hukum Hooke yang bekerja pada lempeng tektonik batuan dapat dinyatakan seperti persamaan :

$$\sigma = C.\varepsilon \tag{15}$$

dengan, ε adalah *strain*, σ adalah *stress*, sedangkan C adalah konstanta elastisitas lempeng tektonik. Sejalan dengan itu, Earthquake Seismology UCL (2009: 8) menjelaskan bahwa hukum Hooke untuk batuan isotropis dapat dinyatakan seperti persamaan :

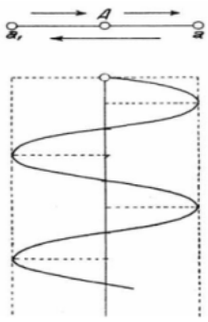
$$\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma 1 - \frac{\upsilon}{E}\sigma 2. \tag{16}$$

Dimana ε adalah starin batuan, σ adalah *stress* batuan (N/m2), E adalah modulus Young (N/m^2), dan υ adalah nilai rasio Poisson (lempeng tektonik batuan berkisar 2 > υ >3). Ketika gaya yang bekerja pada lempeng tektonik bumi melebihi batas elastisitas lempeng maka akan terjadi patahan lempeng yang menimbulkan pelepasan energi seismik.

Akibat yang ditimbulkan ketika terjadi tumbukan lempeng tektonik bumi adalah berupa getaran yang merambat. Marchand (1999: 477) menjelaskan bahwa karakteristik getaran yang dihasilkan akibat gempabumi dapat diungkapkan berdasarkan hukum Hooke dan hukum Newton yang dinyatakan seperti persamaan :

$$mu'' + \gamma u' + ku = F(t) \quad (17)$$

dimana m adalah massa, u adalah perpindahan lempeng, u'menyatakan kecepatan lempeng, u''menyatakan percepatan lempeng, γ menyatakan viscous damping dan F(t) menyatakan gaya eksternal sebagai fungsi waktu. Selanjutnya, Mohorovi (2009: 9) mengilustrasikan getaran gempabumi dengan sebuah titik dipermukaan bumi yang berosilasi sejauh S dalam selang waktu t seperti ditunjukkan Gambar 14.



Gambar 5. Simpangan getaran gempabumi

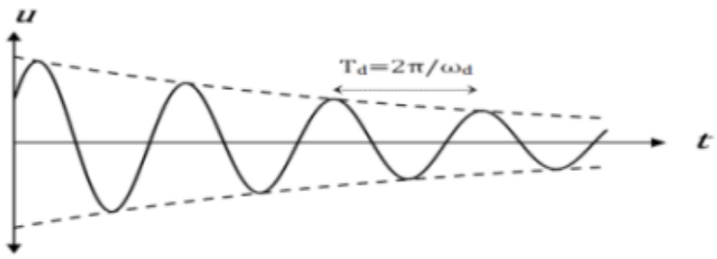
persamaan simpangan getaran gempabumi ini memenuhi persamaan :

$$s = a\ sin\ 2\pi \frac{t}{T} \quad (18)$$

dimana, s adalah jarak (m), T adalah periode getar (s), t adalah waktu getar (s), dan α adalah amplitudo (m/s^2). Sementara itu, Akkar (2011:9) menggambarkan bahwa persamaan simpangan getaran gempabumi dengan redaman dengan faktor redaman ($0<\xi<1$) menggunakan persamaan orde satu ditunjukkan pada persamaan:

$$u(t) = e^{-\xi\omega_n t}\left[u_0 \cos \omega_d t + \frac{v_0 + u_0 \xi\omega_n}{\omega_d} \sin \omega_d t\right] \quad (19)$$

Persamaan diatas dapat dilukiskan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Getaran bebas dengan redaman dari persamaan orde satu

Pada saat terjadi gempabumi, tanah akan mengalami percepatan getaran yang dikenal Peak Ground Acceleration (PGA). Hadi, dkk (2012: 2) menjelaskan bahwa PGA adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat yang diakibatkan oleh getaran gempabumi dalam periode waktu tertentu. Perhitungan percepatan getaran tanah maksimum (PGA) berdasarkan pendekatan rumus empiris MC Guirre R.K memenuhi persamaan :

$$\alpha = \frac{472{,}3\ x\ 10^{\ 0{,}278\,Ms}}{(\mathrm{R}+25).^{1{,}301}} \quad (20)$$

dengan Ms = magnitudo gelombang permukaan dan R = jarak hiposenter (km).

Getaran yang diakibatkan gempabumi merambat dalam bentuk gelombang seismik. Haywick (2008: 5) menjelaskan bahwa transmisi energi pada saat terjadi gempa dapat terjadi melelui media pelapisan di dalam bumi maupun melalui media di permukaan bumi. Transfer energi yang melalui media pelapisan dalam bumi disebut gelombang badan *(body wave)* sementara transfer energi yang melalui media pelapisan permukaan bumi disebut gelombang permukaan*(surface wave).*

Besar energi yang dilepaskan pada saat terjadinya gempabumi menurut Akkar (2011:22) dirumuskan seperti persamaan :

$$E_{s,max} = \frac{1}{2} k \; u_{max}^2 \qquad (21)$$

dimana $E_{s\ max}$ adalah energi gempa maksimum, k adalah konstanta elastisitas lempeng bumi, dan $U_{\ max}$ adalah simpangan maksimum dari lempeng bumi. Charles Francis Richter bersama Beno Guttenberg pada tahun 1935 memberikan sarana untuk mempermudah perhitungan dengan menyatakan bahwa jumlah energi yang dilepaskan oleh gempabumi menurut persamaan Log E = 11,8 + 1,5 M sehingga :

$$E = 10^{(11,8+1,5M)} \qquad (22)$$

dimana, E adalah energi (erg/dyne cm) dan M adalah magnitude.

C. Gelombang Gempabumi

Gempabumi dilihat dari asal usulnya terbagi dua, gempabumi akibat fenomena alami dan gempabumi akibat ulah manusia. Gempabumi akibat fenomena alami meliputi gempa tektonik, gempa vulkanik, longsor dan badai. gempabumi akibat ulah manusia meliputi efek ledakan, efek penambangan,

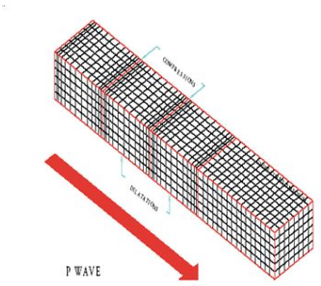
perindustrian dan lain sebagainya. Gelombang utama gempabumi terdiri dari dua tipe yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

1. Gelombang Badan (*Body wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui lapisan dalam bumi dan biasanya disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di lapisan dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari :

Gelombang Primer

Gelombang primer seperti pada Gambar 7, disebut juga gelombang P atau gelombang Compressional. Kecepatannya ±1 - 5 mil/detik (16 - 8 kps), tergantung pada material yang dilalui gelombang pada saat bergerak. Kecepatan ini lebih besar dari kecepatan dari gelombang lain, maka gelombang P tiba pertama pada setiap lokasi permukaan. Gelombang tersebut dapat menjalar sepanjang material padat, cair dan gas, dengan demikian lintasan sepenuhnya melalui tubuh dari bumi.



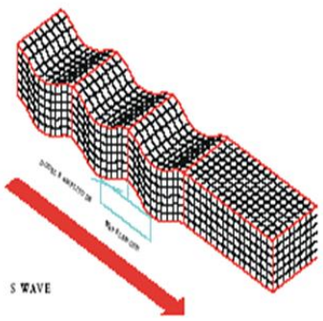
Gambar 7. Gelombang primer

Ketika gelombang bergerak disepanjang batu karang, gelombang menggerakkan partikel-partikel batu karang kecil, bolak-balik dan mendorong partikel-partikel terpisah dan kemudian kembali bersama-sama bergerak searah

gelombang tersebut pada saat pergi. Gelombang ini umumnya sampai di permukaan sebagai satu goncangan (dentuman) yang kasar.

Gelombang Sekunder

Gelombang Sekunder seperti pada Gambar 8, disebut juga gelombang S atau gelombang Shear, tertinggal sedikit di balik gelombang P. Seperti gerakan pada gelombang P, gelombang S memindahkan partikel-partikel batu karang keluar dan mendorong partikel-partikel tersebut tegak-lurus pada jalur dari gelombang S. Hal tersebut mengakibatkan periode pertama goncangan berhubungan dengan gempabumi.



Gambar 8. Gelombang sekunder

Tidak seperti gelombang P, gelombang S tidak bergerak lurus melalui bumi. Gelombang tersebut hanya bergerak sepanjang material padat dan akan dihentikan di lapisan cairan di dalam inti bumi.

2. Gelombang permukaan

Gelombang permukaan (*surface wave*) bergerak di atas permukaan bumi. Gelombang permukaan disebut juga *long waves* atau simply L *waves*, yaitu gelombang yang bertanggung jawab atas kebanyakan dari kerusakan berhubungan dengan gempabumi, karena gelombang terebut menyebabkan vibrasi-vibrasi

paling yang kuat. Gelombang permukaan terdiri dari gelombang Love dan gelombang Railegh

Pengukuran besaran gelombang gempabumi dilakukan dengan menganalisis dan mengidentifikasi parameter-parameter dalam peristiwa gelombang gempabumi, berikut merupakan parameter-parameter gempa yang menunjukan ukuran dan kekuatan sumber gelombang gempabumi :

1. Intensitas Gelombang Gempabumi Makro (Makroseismik)

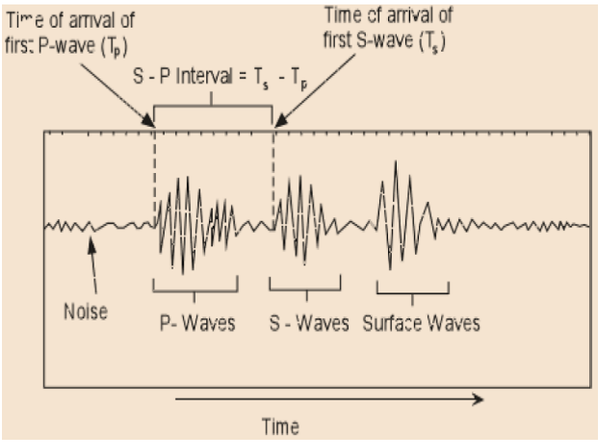
Dampak yang ditimbulkan oleh gelombang gempabumi dapat ditentukan dari intensitas makroseismiknya. Intensitas gelombang gempabumi bergantung pada jarak sumber makroseismik dan kondisi tanah. Intensitas dapat menjelaskan kekuatan gelombang gempabumi yang berkaitan dengan persepsi manusia terhadap kerusakan bangunan dan perubahan lingkungan sekitar. Dari analisis distribusi area tentang pelaporan yang dirasakan dan kerusakan yang tejadi akibat makroseismik, didapat hubungan empiris dari pengukuran intrumental terhadap intensitas sumber getaran dapat diperkirakan intensitas di pusat gempabumi (I_0).

2. Energi dan Magnitudo Gelombang Gempabumi

Magnitudo adalah skala logaritmik kekuatan gempabumi berdasarkan pengukuran instrumental. Konsep magnitudo pertama di usulkan oleh Richter (1935). Mangnitudo suatu getaran adalah logaritma amplitudo jejak maksimum yang dinyatakan dalam mikron. Konsep ini dari pengukuran getaran menggunakan seismometer torsi standar periode pendek dan merekam kejadian getaran gempa pada jarak episenter 100 km.

Energi magnitudo (Me) ditentukan dengan menghubungkan magnitudo-energi secara empiris, dari besar hubungan ini dapat diestimasi besarnya energi getaran. Kebanyakan energi getaran terkosentrasi dalam bagian frekuensi yang lebih tinggi, Me lebih cocok untuk menggukur potensi kerusakan akibat gempabumi.

Ada banyak cara dan presepsi dalam menentukan besarnya magnitudo yang di hasilkan oleh gelombang gempabumi, Gambar 9 merupakan bentuk gejala gelombang gempabumi yang di interprestasikan dalam bemtuk grafik getaran.



Gambar 9. Bentuk gelombang gempabumi

Untuk dapat menghitung besar gelombang gempabumi dibutuhkan parameter-parameter meliputi gelombang primer (*P-wave*), gelombang sekunder (*S-wave*), waktu terjadinya gelombang primer(T_p), waktu terjadinya gelombang sekunder (Ts) serta waktu ahir terjadinya getaran(T_c).

Gelombang primer adalah gelombang pertama tiba di seismograf. Gelombang sekunder adalah gelombang transversal geser setelah gelombang Episentrum jarak (dalam km) dan besarnya gempa (diukur pada skala Richter) dihitung berdasarkan persamaan :

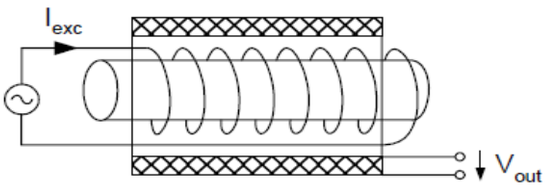
$$Jarak = P_1 \cdot (T_s - T_p)$$

$$Magnitudo = P_2 \cdot log10(T_c - T_p) + (P_3 \cdot Jarak) - P_4$$

P_1, P_2, P_3, P_4 adalah konstanta yang bergantung pada jenis batu yang dilewati oleh gelombang gempabumi. Nilai umum yang digunakan P_1 = 7.6, P_2 = 2.31, P_3 = 0,0012, P_4 = 1.0.

D. Tinjauan Tentang Sensor *Fluxgate*

Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan *flux* magnetik disekitar elemen sensor. Hal ini sesuai dengan yang diutarakan Pavel Ripka dan Alois Tipek, (2007:159) bahwa sensor *fluxgate* dapat menggukur medan magnet hingga resolusi 100pT.

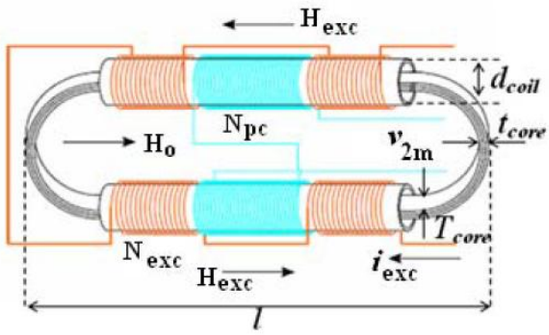


Gambar 10. Prinsip sensor *fluxgate* (Pavel Ripka dan Alois Tipek, 2007).

Pada prinsipnya sensor *fluxgate* bekerja akibat adanya perubahan medan pada inti *coil* sehingga menghasilkan arus (Iexc). Seperti yang telihat pada Gambar 10.

Salah satu bentuk *probe* sensor dalam sensor *fluxgate* adalah berbentuk lurus, *probe* ini terdiri dari inti yang terbuat dari logam khusus, kumparan primer dan kumparan sekunder. Probe yang dirancang di sini adalah probe sensor yang terdiri dua buah inti. Pada masing-masing inti dililitkan *excitation coil* dan *pick-up coil*. Gambar 11 merupakan desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti berbentuk oval elemen sensor *fluxgate* dengan Hexc adalah medan

yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, Ho medan eksternal, Iexc arus yang dialirkan ke kumparan eksitasi, Nexc jumlah lilitan eksitasi, Npc jumlah lilitan pick-up, Tcore lebar inti feromagnetik, tcore tebal inti, *dcoil* diameter kumparan, V_{2m} tegangan keluaran harmonis ke dua dari sensor, dan *l* panjang sensor.



Gambar 11. Desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti berbentuk oval (Yulkifli, 2010)

Kumparan eksitasi berfungsi sebagai pembangkit medan magnet referensi. Pada kumparan eksitasi, medan listrik dialirkan dan diubah menjadi medan magnet Besarnya medan magnet yang timbuI secara matematis dirumuskan pada :

$$B=\mu in \tag{16}$$

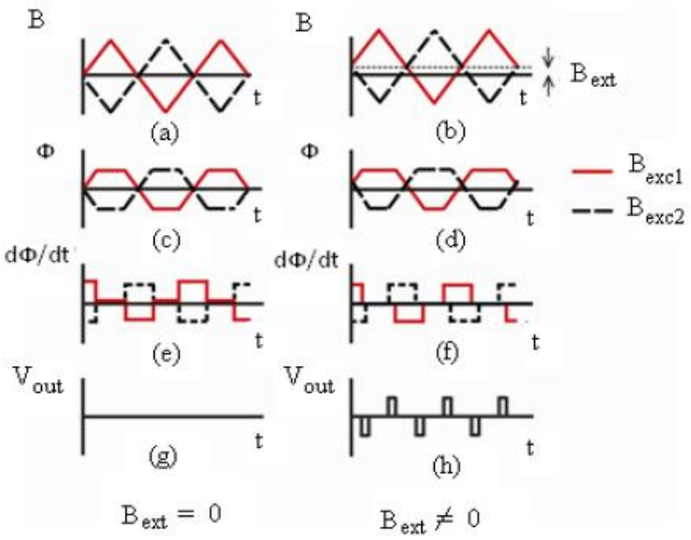
μ adalah nilai permeabilitas bahan, i adalah arus yang mengalir, n adalah jumlah lilitan persatuan panjang. Kumparan sekunder *(pick-up coil)* adalah kumparan yang berfungsi untuk mengubah besarnya perubahan medan magnet yang terjadi menjadi besaran listrik. Besarnya tegangan yang terjadi secara matematika dirumuskan pada persamaan :

$$E = -N\frac{d\Phi}{dl} = N\frac{d(BA)}{dl} \tag{23}$$

Pada kumparan eksitasi, arus yang dialirkan dikendalikan oleh sebuah osilator frekuensi. Frekuensi osilator ditentukan oleh frekuensi dari kristal untuk

fluxgate magnetometer yaitu 1-20 kHz, di sini digunakan osilator dengan frekuensi 4 kHz, dengan frekuensi sebesar ini hasil yang diperoleh lebih optimal. Frekuensi yang digunakan untuk kumparan eksitasi adalah setengah dari frekuensi ini yaitu 2 kHz (f), dan frekuensi 4 kHz (2f) digunakan untuk detektor fasa.

Pada metoda *fluxgate* pengukuran kuat medan magnet didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet yang diberikan dengan *flux* medan magnet induksi.



Gambar 12. Prinsip kerja sensor *fluxgate* (dimodifikasi dari Grueger, 2000)

Jika yang dihasilkan berasal dari masukan berupa gelombang pulsa bolak-balik, maka dalam keadaan saturasi pada keluaran akan timbul gelombang harmonik genap, gelombang harmonik ke dua, yang besarnya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar. Prinsip pengukuran ini dapat ditunjukkan Gambar 12.

Gambar 12. menunjukan prinsip kerja sensor magnetik *fluxgate*. a) Medan eksitasi tanpa medan magnet luar *Bext*=0; b) Medan eksitasi dengan medan magnet luar *Bext*≠0; c) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada *Bext*=0; d)

kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada *Bext*≠0; e) perubahan *flux* terhadap waktu pada *Bext*=0; f) perubahan *flux* terhadap waktu pada *Bext*≠0; g) tegangan keluaran sensor pada *Bext*=0; h) tegangan keluaran sensor pada *Bext*≠0 .

Karakteristik tegangan keluaran sensor *fluxgate* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain : jumlah lilitan eksitasi dan *pick-up,* jumlah lapisan, dimensi geometri elemen sensor, sifat dan jenis material inti, frekuensi dan arus eksitasi.

Untuk mengevaluasi tegangan keluaran sensor *fluxgate* digunakan fungsi transfer. Fungsi transfer suatu sensor magnetik *fluxgate* menggambarkan hubungan antara tegangan keluaran Vo dengan medan magnet yang diukur. Fungsi transfer dapat dihitung menggunakan pendekatan polinomial kemudian mencari komponen frekuensi yang ada di dalam kerapatan *flux* magnetik inti sensor. Penggunaan pendekatan polinomial teknik harmonisa kedua akan memudahkan untuk menyederhanakan fungsi transfer ke dalam komponen frekuensi (Gopel, *et al*., 1989). Dengan asumsi bahwa inti (*core*) sensor bertipe linear dan medan eksitasi berbentuk sinusoida, maka berdasarkan penurunan inti ini akan disaturasikan dengan medan eksitasi sinusoida sebagai :

$$H_{ref} = H_{ref\,\max} \sin \omega t \tag{24}$$

persamaan (18) akan disuperposisikan dengan medan magnet eksternal. Medan magnet di dalam inti sensor kemudian akan menjadi

$$H_{\text{int}} = \frac{H_{ext} + H_{ref\,\max} \sin \omega t}{1 + D(\mu_r - 1)} \tag{25}$$

dengan μ_r adalah permeabilitas relatif dan *D* adalah faktor demagnetisasi untuk inti linear. Untuk mengukur rapat *flux* di dalam inti, ada baiknya menormalisasi

kuat medan magnet internal menjadi H_0^*, dalam bentuk :

$$H_0^* = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{B_{sat}\left[1 + D(\mu_{rn} - 1)\right]}{\mu_{rn}\mu_0} \tag{26}$$

disini kuat medan magnet dalam inti menjadi

$$h_{\text{int}} = \frac{H_{\text{int}}}{H_0^*} = h_{ext} + h_{ref\,\max} \sin \omega t \tag{27}$$

Komponen harmonisasi kedua sebanding dengan kuat medan magnet luar. Tegangan keluaran V_{out} dari kumparan sekunder juga sesuai dengan turunan waktu rapat *flux* di dalam inti, amplitudo tegangan keluran induksi dilukiskan dengan hukum Faraday

$$V_{out} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \tag{28}$$

N adalah jumlah lilitan kumparan sekunder dan *A* adalah luas bidang potong inti sensor. Tengangan keluaran kumparan sekunder ternormalisasi v_{out} adalah :

$$v_{out} = -\frac{V_{out}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \tag{29}$$

Komponen tegangan keluaran harmonisa ke dua V_{out2h} dari kumparan sekunder adalah :

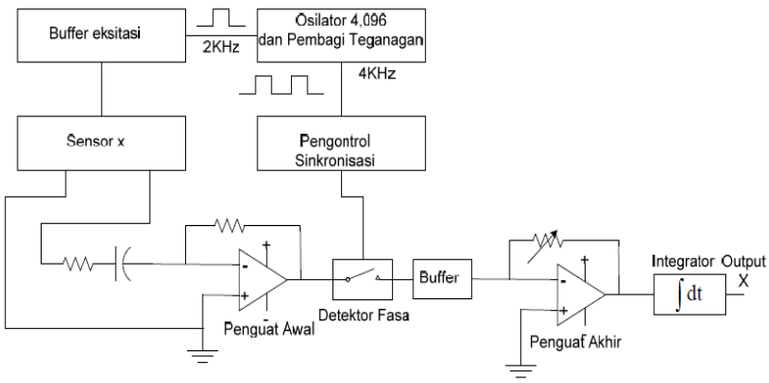
$$U_{out} = -3B_0 NA\omega A_3 h_{ext} h_{ref\,\max}^2 \sin 2\omega t \tag{30}$$

$$V_{out2h} = h_{ext} K \sin 2\omega t \tag{31}$$

dengan *K* adalah tetapan.

E. Pengolahan Sinyal Sensor *Fluxgate*

Sensor *fluxgate* membutuhkan rangkaian pengolahan sinyal dan elemen *fluxgate* yang optimum. Untuk menggolah sinyal sensor dapat terdiri dari beberapa bagian rangkaian, yaitu diffrensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integtrator, dan penguat akhir. Secara skematik diagram pengolah sinyal terlihat pada Gambar 13 :



Gambar 13. Skema diagram pengolahan sinyal (Yulkifli,2010)

Bagian-bagian dari diagram pengolah sinyal tersebut sebagai berikut :

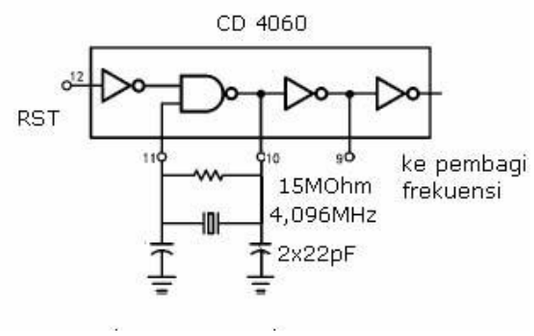
1. Rangkaian Eksitasi Sensor *Fluxgate*

a. Osilator dan Pembagi Frekuensi

Osilator merupakan piranti elektronik yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Osilator digunakan secara luas sebagai sumber isyarat untuk menguji rangkaian elektronik. Osilator seperti ini disebut pembangkit isyarat, atau pembangkit fungsi jika isyarat keluarannya dapat mempunyai berbagai bentuk (Sutrisno,1987).

Osilator dalam pembuatan sensor magnetik *fluxgate* merupakan rangkaian dasar yang sangat penting. Osilator berfungsi sebagai sinyal eksitasi yang akan

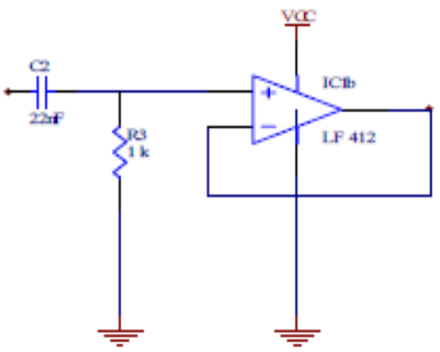
diberikan pada lilitan eksitasi (Wandy, 2008). Hal ini disebabkan karena stabilitas dari frekuensi medan yang dihasilkan tergantung kepada stabilitas osilator. Untuk mendapatkan kestabilan maka digunakan kristal. Rangkaian osilator dengan menggunakan kristal dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian osilator kristal dan IC CD 4060 (Wandy, 2008)

b. Rangkaian Penyangga (*Buffer*)

Rangkaian penyangga atau *buffer* ini berguna untuk menghindari terjadinya jatuh tegangan. Rangkaian *buffer* yang ideal memiliki penguatan satu dengan impedansi masukan yang sangat besar dan impedansi keluaran yang sangat kecil.



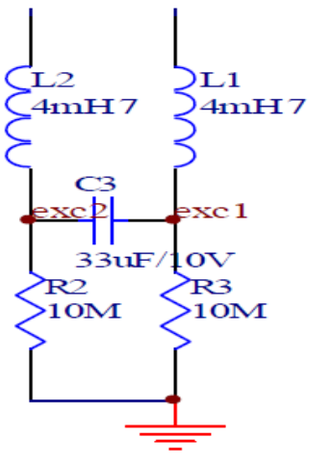
Gambar 15. *Op-amp* yang berfungsi sebagai *buffer* sinyal

Hambatan yang terdapat di dalam detektor fasa tidak akan mengurangi besar tegangan sinyal yang keluar dari detektor tersebut. Pada akhirnya

penambahan *buffer* akan menjadikan keluaran sistem sensor menjadi lebih stabil dari yang sebelumnya. Susunan *buffer* sama seperti Gambar 15.

c. Pembangkit Sinyal Eksitasi

Pembangkit sinyal eksitasi merupakan bagian yang penting dalam rangkaian eksitasi. Sinyal eksitasi harus memiliki tegangan yang cukup untuk menggerakkan lilitan eksitasi, ini diperlukan agar sinyal dapat mensaturasi inti Vitrovac 6025. Bila hal ini tidak dipenuhi maka sensor tidak akan bekerja dengan baik karena memiliki efek memori. Rangkaian generator sinyal eksitasi ini terdiri dari induktor, resistor dan kapasitor, seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Rangkaian generator sinyal eksitasi (Wandy, 2008).

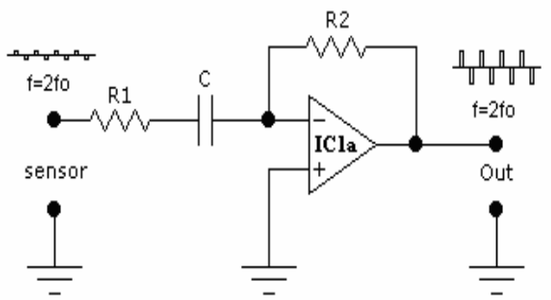
2. Rangkaian Pengolah Sinyal

a. Penguat Awal

Rangkaian penguat yang digunakan adalah penguat differensial. Penguat ini berfungsi sebagai pendiferensial sinyal yang keluar dari elemen sensor. Rangkaian ini mempunyai dua masukan, karena digandeng langsung, sinyal masuknya dapat mempunyai frekuensi sampai nol, artinya sama dengan DC.

Rangkaian ini bersifat simetris, akibatnya tegangan keluar berharga nol bila dua masukkannya sama (Malvino, 1985).

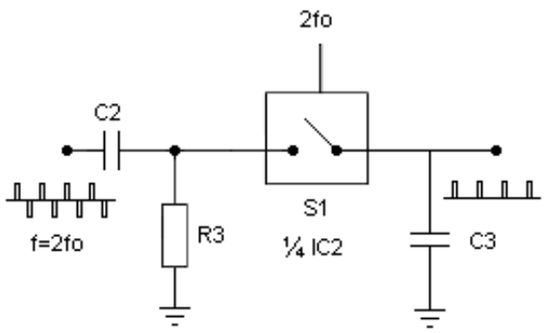
Rangkaian pengolah sinyal sensor *fluxgate* ini, penguat awal berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diterima oleh *pick*-up (Yulkifli,2011). Dalam keadaan tanpa adanya medan magnetik luar, penjumlahan arus yang melewati lilitan *pick-up* sensor akan sama dengan nol. Ketika diganggu dengan medan magnetik luar, maka terdapat perbedaan arus diujung lilitan *pick-up*. Selisih arus pada ujung-ujung kumparan *pick-up* dirubah menjadi tegangan oleh penguat awal yang berbentuk integrator dan sekaligus diperkuat. Blok dasar rangkaian penguat awal seperti Gambar 17.



Gambar 17. Rangkaian penguat awal (Yulkifli, 2011)

b. Detektor Sinkronisasi

Detektor fasa (sinkronisasi), bagian ini berfungsi untuk mendeteksi fasa dari sinyal yang masuk dari penguat awal, detektor ini akan meneruskan sinyal dengan frekuensi harmonisasi ke dua dengan menggunakan frekuensi referensi osilator (fo) sebelum dibagi dua oleh pembagi frekuensi, sementara itu harmonisasi ganjil dan yang lain tidak diteruskan.

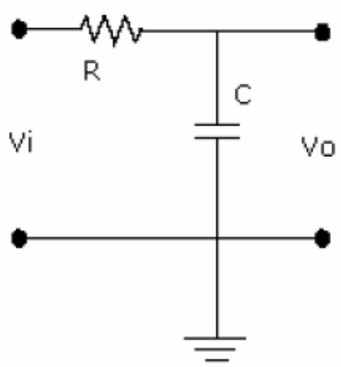


Gambar 18. Rangkaian detektor fasa ketika keluaran sensor positif (Yulkifli, 2011)

3. Integrator

Menurut Malvino (1985), sebuah rangkaian integrator adalah rangkaian yang menyelenggarakan operasi integrasi secara matematik karena dapat menghasilkan tegangan keluar yang sebanding dengan integral masukan.

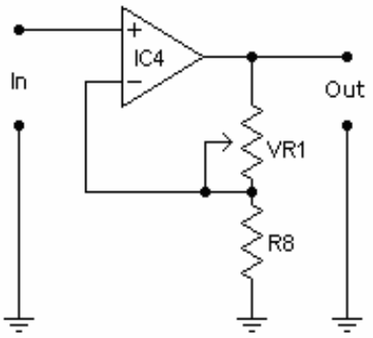
Rangkaian integrator berfungsi sebagai pengintegrasi keluaran sekaligus sebagai tapis lolos rendah. Jika domain yang digunakan adalah domain frekuensi maka ia berfungsi sebagai tapis, namun bila domain waktu yang digunakan maka rangkaian tersebut sebagai integrator. Integrator yang digunakan dalam rangkaian ini adalah integrator pasif (Wandy, 2008). Bentuk rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 19.



Gambar 19. Rangkaian integrator (Wandy, 2008).

4. Penguat Akhir

Sinyal yang keluar dari integrator masih lemah dan perlu diperkuat agar dapat diukur. Ada dua macam penguat yang dapat digunakan yaitu penguat instrumentasi dan penguat *inverting* dan *non*-inverting. Penguat yang digunakan di sini adalah penguat *inverting* atau penguat membalik. Penguat tegangan membalik menghasilkan tegangan keluar yang sefasa dengan tegangan masuk. Rangkaian ini adalah pengubah arus ke tegangan yang digerakkan oleh sumber tegangan dan bukan sumber arus (Malvino, 1985). Blok rangkaian penguat akhir seperti Gambar 20.



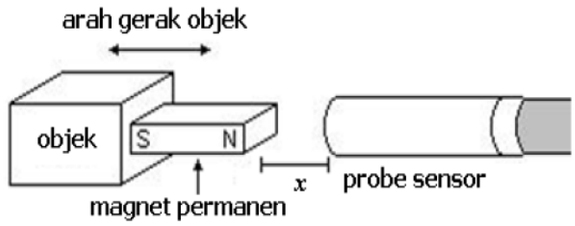
Gambar 20. Blok diagram penguat akhir (Wandy, 2008)

Pada penguat akhir, keluaran dari tapis lolos rendah diatur penguatannya. Rangkaian ini diperlukan untuk mengkalibrasi keluaran sensor magnetik agar sesuai dengan medan magnet yang dideteksi oleh sensor. Penguat ini merupakan penguat tak membalik, dimana penguatanya diatur dengan resistor variabel 1 (VR1). Penguatan minimal dari penguat akhir sama dengan 1.

Keseluruhan bagian yang telah dirangkai ini bekerja secara analog. Keluaran yang diperoleh dari rangkaian ini berupa tegangan analog yang merepresentasikan besar medan magnetik yang dideteksi.

5. Tinjauan Sensor *Fluxgate* yang digunakan

Kemampuan sensor *fluxgate* untuk mengukur medan magnet juga dapat diaplikasikan untuk sensor jarak dengan menempatkan sensor dan material magnet pada posisi tertentu, respon dari sensor terhadap benda dapat mengindikasikan posisi dari benda magnet tersebut. Seperti ditunjukan pada Gambar 21.



Gambar 21. Prinsip pengukuran jarak dengan *fluxgate* (Yulkifli, 2010)

Jika probe sensor digerakan menjauhi atau mendekati material magnet sejauh x, maka medan magnet yang bekerja pada titik probe sensor akan terjadi perubahan, perubahan tersebut disebut fluks magnetik (ϕ). Perubahan fluks magnet tergantung pada posisi sensor terhadap objek magnet. Jika $d\bar{A}$ adalah elemen vektor luas dan $\bar{B}$ adalah elemen vektor medan magnet, maka fluks maknet yang keluar dipermukaan medan adalah :

$$\Phi = \int \bar{B} \cdot d\bar{A} \tag{32}$$

jika magnetik material adalah B, maka medan magnetik yang dideteksi oleh sensor pada jarak x adalah :

$$B_r \propto \frac{B}{x} \tag{33}$$

Berdasarkan persamaan 26 terlihat bahwa penurunan medan magnet sebanding dengan 1/x, sedangkan tegangan keluaran sensor sebanding dengan

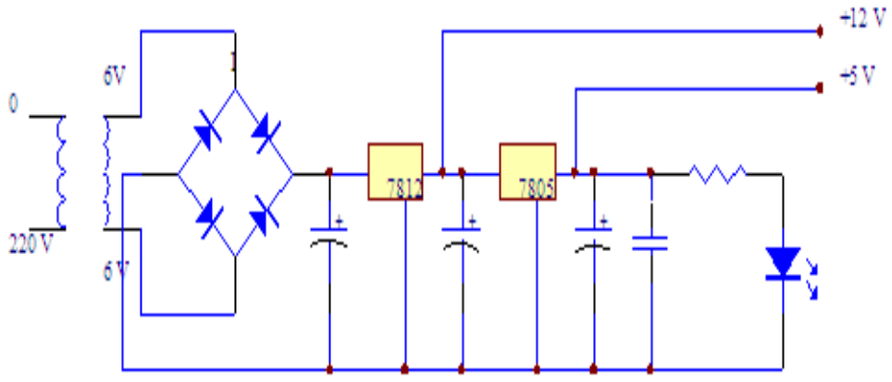
medan external, dengan demikian dapat disimpukan tegangan keluaran sensor dapat dapat dihubungakan dengan medan external dan jarak (Yulkifli,2010)

F. Power Supply

Power supply merupakan suatu peralatan yang sangat penting karena hampir semua peralatan elektronika memerlukan tegangan DC untuk mengoperasikannya. Power supply (catu daya) adalah suatu yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Catu daya teregulasi dapat dibangun dari IC regulator tegangan. IC regulator tegangan ini diantaranya adalah 78xx dan 79xx. Hal ini juga dinyatakan Sutrisno (1999:80) bahwa regulasi tegangan yang tidak terlalu ketat kita dapat gunakan regulator tegangan IC tiga terminal. Regulator ini dikenal dengan 78xx dan 79xx. Regulator IC 78xx adalah adalah regulator tegangan positif untuk xx volt, sedangkan 79xx adalah regulator tegangan negatif untuk xx volt.

Agar mendapatkan tegangan teregulasi dibutuhkan IC reglator yang terdiri dari tiga terminal, sebagai contoh untuk mendapatkan tegangan regulasi +12 Volt dan +5 Volt digunakan IC 7812 dan 7815 yang aplikasinya seperti pada Gambar 22.

Tegangan AC yang diturunkan dengan menggunakan transformator kemudian disearahkan dengan menggunakan empat dioda yang membentuk penyearah sistem jembatan. Keluaran dari penyearah dihubungkan dengan kapasitor sebagai filter, sehingga dihasilkan tegangan keluaran DC tak teregulasi, kemudian digunakan dua IC regulator 12 Volt dan 5 Volt.

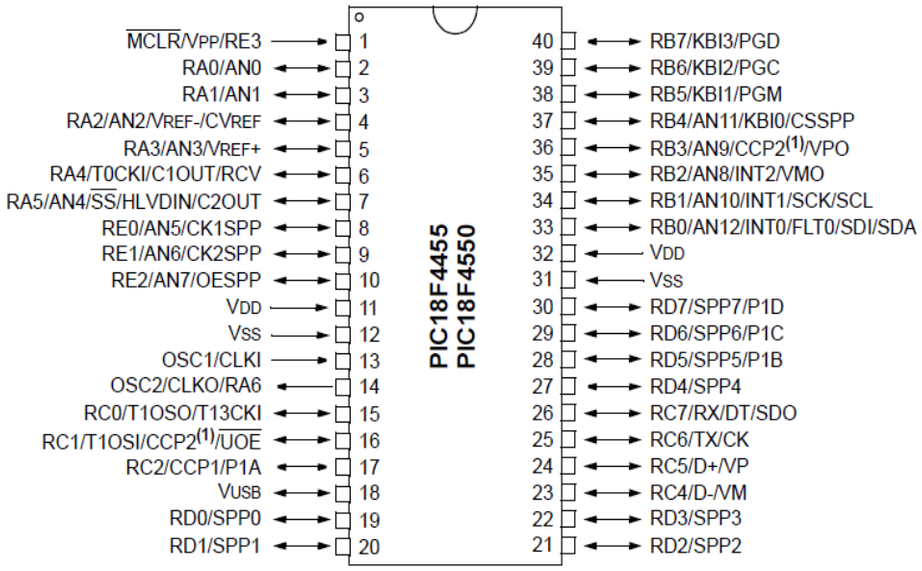


Gambar 22. Rangkaian catu daya teregulasi

Tegangan dua IC regulator akan digunakan dalam sistem alat ukur getaran gempa, misalnya tegangan +5 Volt untuk mengoperasikan mikrokontroler dan tegangan 12 Volt digunakan untuk pengolahan modul pada sensor *fluxgate*.

G. Mikrokontroler PIC 18F4550

Mikrokontroler PIC 18F4550 merupakan mikrokontroler produksi *Microchip* dengan sistem mikrokontroler 8 bit, dikemas dalam bentuk 40 pin dan dirancang dengan teknologi nanoWatt artinya chip 18F4550 bekerja dengan konsumsi daya sangat rendah. Fitur yang dimiliki juga cukup lengkap terdiri dari Flash Memori 32 Kbyte, Memori Data 4096 Byte, ADC (*Analog Digital Converter*) internal ketelitian 10 bit sebanyak 13 saluran, memiliki PWM (*Pulse Wide Modulation*) internal sebanyak 4 saluran, dan portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps, serta fitur USB V2.0 yang mendukung Komunikasi Data Low Speed (1,5 Mbit/s) dan Full Speed (12 Mbit/s). Konfigurasi pin PIC 18F4550 diperlihatkan pada Gambar 23.



Gambar 23. Pin mikrokontroler PIC 18F4550

Dari Gambar 23 dapat dilihat konfigurasi pin mikrokontroler PIC 18F4550. Nama-nama pin mikrokontroler ini adalah :

1) VDD untuk tegangan pencatu daya positif.
2) VSS untuk tegangan pencatu daya negatif.
3) PortA (RA0 – RA5) sebagai port digital Input/Output dan memiliki kemampuan lain yaitu sebagai input untuk ADC
4) PortB (RB0 – RB7) sebagai port Input/Output dan juga memiliki kemampuan yang lain.
5) PortC (RC0 – RC2 dan RC4-RC7) sebagai port digital Input/Output
6) PortD (RD0 – RD3 dan RD4-RD4) sebagai port digital Input/Output dan juga memiliki kemampuan yang lain.
7) PortE (RE0 – RE2) sebagai port digital dan analog Input/Output dan juga memiliki kemampuan yang lain.
8) RESET untuk melakukan reset program dalam mikrokontroler.

9) XTAL1 dan XTAL2 untuk input pembangkit sinyal clock, AREF untuk pin tegangan referensi ADC.

Mikrokontroler PIC 18F4550 juga sudah dilengkapi fitur ADC dengan resolusi 10/8 bit, 8 chanel input yang terletak di PortA dan PortB, input yang berupa tegangan 0 sampai 5 volt dapat langsung dihubungkan ke mikrokontroler ini melaui salah satu Port ADC.

Sinyal input yang berupa tegangan tersebut kemudian dikonversi menjadi data digital oleh mikrokontroler PIC 18F4550. Dalam aplikasi ini mengunakan internal ADC dengan resolusi 10 bit jadi jika sinyal input berupa tegangan 0 volt maka data digital yang dihasilkan adalah 00 sedangkan jika sinyal input berupa tegangan 5 volt maka data digital yang dihasilkan adalah FF Hexa. Ketika menggunakan internal ADC dengan resolusi 10 bit maka internal ADC tersebut mempunyai ketelitian sebesar 0.02 volt atau 20 milivolt. Nilai ketelitian didapat dengan perhitungan berikut ini :

$$Ketelitian = \frac{Vref}{jumlah} bit$$

Dengan mendapatkan nilai ketelitian, maka akan dapat diketahui berapa volt tegangan yang tegangan yang diukur.

$$Tegangan = data\ ADC * ketelitian$$

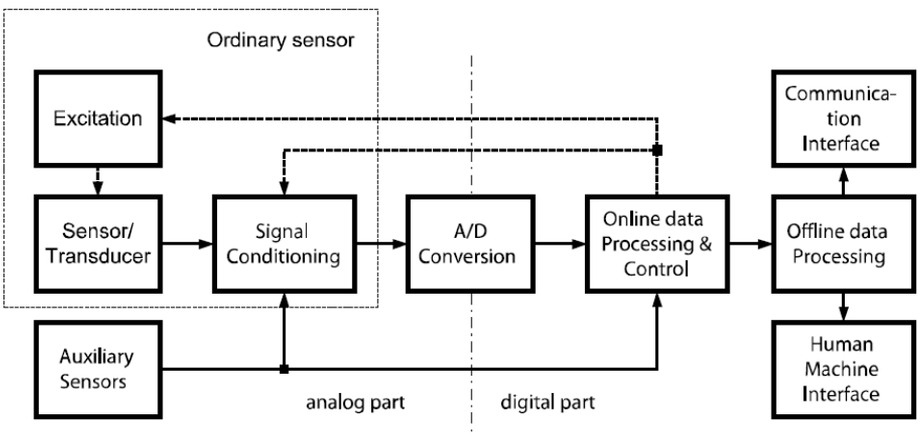
H. Interfacing kontrol

Untuk dapat membuat alat ukur yang bekerja secara optimal dibutuhkan pengontrolan komunikasi antara komponen lektronika maupun operator yang sistematis. Pengontrolan meliputi pengukuran dan sistem akuisisi data secara luas

didasarkan pada pembagian tugas sebuah sistem antara sejumlah node (misalnya sensor, aktuator, pengontrolan), dengan saling berhubungan menggunakan jaringan komunikasi yang tepat.

1. Sensor interface

Sebuah interface adalah sistem yang terdiri dari blok rantai analog dan digital, masing-masing menyediakan fungsi tertentu. Gambar 24 menunjukkan struktur dari sebuah inteligen sensor. Tentu saja, tidak semua intelligent sensor berisi bentuk blok yang sama, itu tergantung pada jenis sensor dan fungsionalnya.



Gambar 24. Struktur interface intelligent sensor

Sensor atau transduser biasanya menyediakan beberapa kuantitas output listrik (misalnya tegangan, arus atau impedansi), tergantung pada nilai diukur fisik "kuantitas" (baik listrik atau bukan listrik). Banyak jenis sensor memerlukan eksternal eksitasi, biasanya listrik, terkadang juga berupa output mekanik. Sebuah blok pengkondisi sinyal dapat memberikan amplifikasi, penyaringan, non-linear koreksi dan fungsi yang sama. Biasanya mereka diimplementasikan menggunakan sirkuit analog, dapat juga berupa implementasi digital (terutama fungsi tertentu seperti koreksi nonlinier atau kompensasi pengaruh lingkungan). Sebuah blok

A/D converter mengubah sinyal analog menjadi nilai digital, cocok untuk diproses oleh mikroprosesor atau perangkat digital lainnya. Blok berikut diterapkan baik pada perangkat keras digital (ASIC, PLD) atau dalam perangkat lunak terproses pada mikrokontroler. Pengolahan data online dan blok kontrol menyediakan bagian dari pengkondisian sinyal, dan untuk beberapa jenis sensor ini mengontrol parameter eksitasi atau proses pengkondisian sinyal analog(deteksi sinkron misalnya). Pada data offline blok pengolahan menerima nilai-nilai sesaat dari jumlah yang diukur. Hal ini lebih berfokus pada penyimpanan data, pembuatan laporan, evaluasi, dll.

Dua blok yang terakhir dikenal bagi pengguna sebagai HMI (Human Machine Interface) yang memungkinkan kontrol sensor lokal, data keluaran, dan blok komunikasi memberikan interkoneksi kepada sistem kontroler yang terdistribusi. Beberapa intelligent biasa juga mengandung sensor tambahan yang mengukur bentuk fisik lain dari perubahan output sensor utama.

2. Sensor dan transduser

Sejumlah listrik pada output sensor yang digunakan untuk diproses lebih lanjut dalam blok sinyal A/D dapat dibagi menjadi beberapa kelompok terlepas dari besaran fisik asli yang diukur. Cara sinyal keluaran sensor diproses di blok sinyal A/D seringkali mirip dalam suatu kelompok tertentu.

3. Pengkondisian sinyal

Sebuah blok sinyal A/D terutama digunakan untuk mengekstrak informasi tentang kuantitas yang diukur dari sinyal output sensor dan mencocokkannya dengan input dari blok – dengan sebuah A/D converter. Ini biasanya menerapkan

beberapa fungsi - amplifikasi dan konversi sinyal, isolasi sensor, filtrasi, deteksi, non-linearitas koreksi, dan koreksi pengaruh lingkungan

4. A/D Converter

Inteligen sensor biasanya menggunakan salah satu dari tiga jenis A/D converter. SAR(*Successive Approximation Register)* konverter, modulasi Sigma/ Delta konverter, dan Flash (pipelined flash) converter.

5. Pengolahan data

Diagram blok pada Gambar 24, pengolahan data terdiri dari dua bagian. Data Online lebih dapat dianggap sebagai bagian dari pengolahan sinyal AC, biasanya sebuah fungsi yang dimiliki blok itu dalam domain digital. Kadang-kadang digunakan untuk mengontrol pengkondisian signal sirkuit analog atau eksitasi sensor. Karena bekerja secara *real-time*, pelaksanaannya harus cukup cepat untuk dapat memproses data dan untuk mengontrol proses pengukuran keseluruhan.

Data *Offline*, pengolahan data kemudian menyediakan lebih banyak fungsi yang berguna untuk pengguna, seperti penyimpanan data, rata-rata, nilai, batas persimpangan deteksi, evaluasi dan sebagainya. Fungsi-fungsi ini biasanya hanya termasuk dalam sensor dengan interface komunikasi baik itu manusia atau digital.

6. Interface “Manusia-Machine”

Inteligen sensor modern hampir selalu dilengkapi dengan komunikasi interface interface pengguna lokal memungkinkan sensor untuk dibaca bahkan dalam kasus kerusakan sistem komunikasi dan juga menjamin bahwa operator manusia dapat memonitor output.

Biasanya hanya informasi dasar yang tersedia tentang besaran fisik yang diukur pada suatu nilai. Kadang-kadang pengguna dapat memilih nilai yang ingin ditampilkan (misalnya maksimum, minimum, rata-rata) atau mengatur beberapa parameter pengukuran (misalnya batas darurat). Pengaturan kritis sering dilindungi oleh password atau dapat dikunci dan dibuka pada jarak jauh.

7. Komunikasi interfacing

Interfacing komunikasi tidak hanya titik (konektor) dimana sistem terdistribusi (misalnya jaringan sensor) terhubung. Hal ini juga terdiri dari kompleks tumpukan hardware dan lapisan *software* yang memastikan interoperabilitas dengan seluruh sistem. Ada standar yang berbeda dari jaringan sensor, aplikasi masing-masing setelan kelas tertentu dan berfokus pada cabang tertentu dari industri.

I. Bahasa C# (Dibaca "See-Sharp")

Dalam pembuatan alat ukur getaran *display personal computer* (PC) yang dapat ditampilkan secara *real time* dibutuhkan *interfacing* antara manusia-mesin dengan mggunakan bahasa pemograman. Bahasa pemograman yang digunakan pada pembuatan alat ini menggunakan bahasa C#. C# adalah bahasa pemograman baru yang diciptakan oleh Microsoft seperti halnya bahasa pemograman yang lain, C# bisa digunakan untuk membangun berbagai macam jenis aplikasi, seperti aplikasi berbasis *windows* (desktop) dan aplikasi berbasis web serta aplikasi berbasis web services.

1. Feature dalam C#

Sebagai bahasa pemograman baru C# banyak mengadopsi feature dari

beberapa bahasa perogrmaan terkenal dan banyak komunitasnya tetapi yang paling dominan adalah Java adapun komposisinya adalah sebagai berikut 70% Java, 10% C++, 5% Visual Basic, 15% baru.

2. Key word C#

C# adalah bahasa pemograman yang menggunakan jumlah kata-kata yang tidak terlalu banyak. C# hanya berisi kata-kata yang biasa disebut dengan keywords. Keywords ini digunakan untuk menjelaskan berbagai macam informasi. Berikut daftar keywords yang ada dalam bahasa C# : bstract, as, base, bool, break, byte, case catch, char, checked, class, const, continue, decimal, default, delegate, do, double else, enum, event, explicit, extern, false, finally, fixed, float, for, foreach, goto, if, implicit, in, int, interface, internal, is, lock, long, namespace, new, null, object, operator, out, override, params, private, protected, public, readonly, ref, return sbyte, sealed, short, sizeof, stackalloc, static, stringstruct, switch this, throw, true, try typeof, uint, ulong, unchecked, unsafeushort, using, virtual, void, while.

3. Penulisan Kode C#

Langkah-langkah penulisan kode C#

a. Kode program diawali dengan mendeklarasikan nama Class atau namespace
b. Aplikasi dibuka dengan tanda “{“ dan pada akhir kode ditutup dengan tanda “}”.
c. Aplikasi C# dibangun oleh satu atau beberapa fungsi yang diletakan di dalam sebuah Class dengan ketentuan sebagai berikut.
    a) Nama suatu fungsi pada C# harus diawali dengan huruf, atau garis bawah “_” yang kemudian bisa diikuti oleh huruf, angka atau garis bawah.

b) Pada bagian akhir nama fungsi digunakan tanda kurung buka dan kurung tutup “()”.

c) Penamaan fungsi tidak boleh mengandung spasi. Awal dan akhir suatu fungsi di mulai dengan tanda “{“ dan diakhiri dengan tanda “}”.

d) Penulisan komentar (tulisan yang tidak di eksekusi) dapat dibuat sebagai berikut

e) Komentar satu baris dengan menggunakan tanda “//”

f) Komentar yang lebih dari satu baris dengan di awali tanda “/*” dan diakhiri oleh “*/”

Contoh program yang paling sederhana untuk file Hallo.cs class HelloWorld

```
{
// Bagian utama program C# x ini adalah contoh komentar 1 baris
public static void Main()
{
System.Console.WriteLine(“Hello, World”);
}
```

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari pembuatan alat ukur getaran berbasis sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Hasil spesifikasi performansi alat ukur

Alat ukur getaran berbasis sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi ini, terdiri dari sistem yang dibangun oleh sistem mekanik getaran dan sensor *fluxgate*, pada saat digunakan perlu diperhatikan penempatan mekanik sensor karena sensitif terhadap material yang memiliki medan magnet. Modul pengolahan sinyal yang didalamnya terdapat blok komponen elektronika meliputi blok power supply, pengolahan sinyal sensor *fluxgate*, pengkondisian output tegangan sinyal sensor dan mikrokontroler. *Sofware* aplikasi untuk menjalankan alat ukur yakni Tool Driver Seismograf Sofware 12755, untuk pengambilan data dari alat dan logloader untuk membuka data yang telah tersipan.

2. Hasil Spesifikasi Desain Alat Ukur.

Rancangan pada sistem antarmuka pada alat ukur getaran ini menggunakan beberapa buah bahasa pemograman yaitu MPLAB X IDE untuk memogram mikrokontroler dan Visual Basic kususnya C# untuk pembuatan aplikasi *window*. Untuk resolusi sensitifitas sensor *fluxgate* terhadap simpanganya hingga ukuran :

$$2{,}19 \cdot 10^{-3}\ cm$$

Hasil analisa grafik yang terekam oleh alat ukur getaran menggunakan sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC) untuk aplikasi gempabumi ini berupa gelombang permukaan.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dibahas maka sebagai saran untuk tindak lanjut dan pengembangan penelitian ini yaitu :

1. Perlu dilakukan pengembangan terhadap penelitian ini untuk mendapatkan resolusi sensitifitas yang lebih baik serta desain mekanik dan elektronik alat ukur agar alat ukut ini mampu merespon gelombang gempabumi yang lebih baik lagi.
2. Perlu dilakukan pengembangan program aplikasi untuk menjalankan alat ukur getaran ini agar dalam proses analisa grafik getaran dapat dilakukan dengan lebih mudah.

Daftar Pustaka

Colmar Hinnrichs, et al. 2001. *Dependence of Sensitivity and Noise of Fluxgate Sensor on Racetrack Geometry*. Germany

Djamal, M., Yulkifli, A.Setiadi, R.N. Setiadi. 2010. "*Development of a Low Cost Vibration Sensor Based on Fluxgate Element*." International conference of institute for Environtment, Engineering, Economics, and Applied Mathematics (IEEEAM): Itali.

Dorman, Scott. 2010. *Sam Teach Yourself Visual C# 2010 Complete Stater Kit in 24 Hours*. Pearson Education:USA

Goldman, Steve. 1999. *Vibration Spectrum Analysis Second Edition.* New York : Industrial Press Inc.

H. Grueger. 2000. *CMOS Integrated Two Axes Magnetic Field Sensors-Miniaturized Low Cost Systems With Large Temperature Range*. Germany

Hadi, dkk. 2012. "*Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Kerentanan Seismik Akibat Gempa Bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*". Simetri, 2 (1): 81-86

Haywick. 2008. *Geophysics and Earthquakes*. GY 111 Lecture Note Series.

Kirkup, L. 1994. *Experimental Method An Introduction to The Analysis and Presentation of Data*. John Willey & Sons: Singapore

Malvino, Barmawi. 1985. *Prinsip – prinsip Elektronika (Edisi Ketiga)*. Erlangga: Jakarta

Marchand, Rich. 1999. "*Exploring Earthquake Induced Structural Vibrations*" Int. J. Engng Ed. 6 (15) : 477-485

Mohorovicic, Andrija. 2009. " *Effects of earthquakes on buildings*". Geofizika, 26 (1).

Pavel Ripka dan Alois Tipek. 2007. *Modern Sensors Handbook.* ISTE: United States.

Prasetio, Lea. 1992. *Teori Getaran Dengan Aplikasinya*. Jakarta: Erlangga.

Purwana, Ibnu. 2010. *Manual Baru Praktik Stasiun Pengamatan Seismologi [MBPS^2] jilid 1A.* Jakarta: P.D.Hobie Karya.

Soedojo, Peter. 2011. *Dasar-Dasar Getaran Mekanis.* Yogyakarta: ANDI.

Sutrisno. 1987. Elektronika Teori dan Penerapan 2. ITB : Bandung.

Sutrisno. 1999. *Elektronika Teori dan Penerapan*. ITB: Bandung.

Suyatno, et al. 2008. "*Desain dan Pengembangan Fluxgate Magnetometer dan Beberapa aplikasinya.*" Jurnal Fisika Dan Aplikasinya (volume 4, nomor. 1 Januari 2008). Hlm. 1-4.

W.Gopel, et al. 1989. *Sensors, A Comprehensive Survey Magnetic Sensors*. VCH Publihers Inc. Suite.

Wandy, Praginda. 2008. "*Desain Awal Fluxgate Magnetometer menggunakan Kumparan Sekunder (Pick-Up Coil) Ganda Sebagai Penentu Posisi Benda (Tracking Position) Dalam Tiga Dimensi."* Tesis, ITB: Bandung.

Yulkifli. 2010. "*Pengembangan Elemen Fluxgate Dan Penggunaannya Untuk Sensor-Sensor Berbasis Magnetik Dan Proksimiti."* Disertasi, ITB: Bandung.

Yulkifli. 2011. *Sensor Fluxgate dan Aplikasinya* . STAIN : Batusangkar.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Devi Sidiq

NIM : 12755

Tempat/Tanggal lahir : Muara Labuh/24 Januari 2014

Judul Skripsi : Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor *Fluxgate* dengan *Display Personal Computer* (*PC*) untuk Aplikasi Gempabumi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Strategis Nasional yang berjudul "Desain dan Pembuatan Sistem Pendeteksi Gempa Bumi Berbasis Sensor *Fluxgate*", dengan Ketua Dr. Yulkifli, S.Pd., M.Si., sehingga isi dari skripsi ini baik sebahagian maupun seluruhnya dapat di publikasikan secara bersama dengan izin ketua peneliti.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan saya bersedia dituntut dimuka pengadilan serta menerima segala tindakan yang diambil oleh pemerintah, apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar.

Mengetahui,
Ketua Peneliti

Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si
NIP. 19730702 200312 1 002

Yang membuat Pernyataan,

Devi Sidiq
NIM.12755