

**PERANCANGAN SISTEM TELEMETRI *WIRELESS* UNTUK
MENGUKUR GETARAN SATU DIMENSI MENGGUNAKAN SENSOR
FLUXGATE BERBASIS *PERSONAL COMPUTER***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

ZURIAN AFFANDI

NIM :1201443

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2016

PERSETUJUAN SKRIPSI

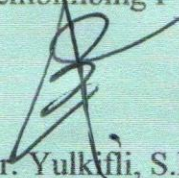
PERANCANGAN SISTEM TELEMETRI *WIRELESS* UNTUK MENGUKUR GETARAN SATU DIMENSI MENGGUNAKAN SENSOR *FLUXGATE* BERBASIS *PERSONAL COMPUTER*

Nama : Zurian Affandi
NIM : 1201443
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 9 Februari 2016

Disetujui oleh

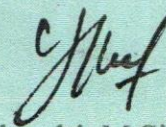
Pembimbing I



Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si

NIP. 19730702 200312 1 002

Pembimbing II



Yohandri, M.Si, Ph.D

NIP. 19780725 200604 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Zurian Affandi
NIM : 1201443
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

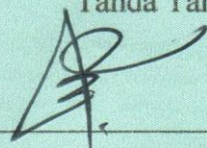
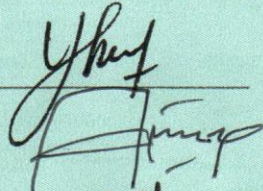
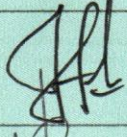
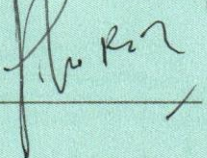
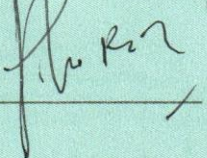
dengan judul

**PERANCANGAN SISTEM TELEMETRI *WIRELESS* UNTUK
MENGUKUR GETARAN SATU DIMENSI MENGGUNAKAN SENSOR
FLUXGATE BERBASIS *PERSONAL COMPUTER***

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 9 Februari 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Yohandri, M.Si., Ph.D	2. 
3. Anggota	: Drs. H. Asrizal, M.Si	3. 
4. Anggota	: Drs. Hufri, M.Si	4. 
5. Anggota	: Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si	5. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Perancangan Sistem Telemetry *Wireless* Untuk Mengukur Getaran Satu Dimensi Menggunakan Sensor *Fluxgate* Berbasis *Personal Computer*”, adalah hasil karya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 9 Februari 2016
Yang membuat pernyataan




Zurian Afandi
NIM. 1201443

ABSTRAK

ZURIAN AFFANDI: **Perancangan Sistem Telemetry *Wireless* Untuk Mengukur Getaran Satu Dimensi Menggunakan Sensor *Fluxgate* Berbasis *Personal Computer***

Telah berhasil dibuat desain alat deteksi getaran satu dimensi (1D) menggunakan sensor fluxgate yang mampu mendeteksi getaran arah vertikal berbasis personal komputer (PC) serta telemetry *wireless* sebagai transmisi data. Alat ini adalah pengembangan alat deteksi getaran berbasis PC yang sudah dibuat sebelumnya namun masih menggunakan kabel sebagai transmisi data. Alat deteksi getaran ini terdiri dari perangkat keras, telemetry *wireless*, dan perangkat lunak. Perangkat keras merupakan perangkat mekanik untuk mendeteksi getaran 1D yang terdiri dari rangkian sensor *fluxgate* dan *interfacing*. Telemetry *wireless* digunakan sebagai media transmisi data untuk mengirim data sensor ke mikrokontroler secara *wireless*. Perangkat lunak merupakan *software* yang digunakan untuk memproses data getaran menggunakan *Megunolink*. Hasil pengolahan data ditampilkan di layar monitor personal komputer dalam bentuk grafik getaran 1D sebagai fungsi waktu.

KATA KUNCI: *Desain, telemetry wireless, getaran, sensor fluxgate, personal komputer*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran 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 “Perancangan Sistem Telemetry *Wireless* Untuk Mengukur Getaran Satu Dimensi Menggunakan Sensor *Fluxgate* Berbasis *Personal Computer*”.

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 Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D, sebagai Pembimbing II dan penasehat akademik atas segala bantuannya yang tulus ikhlas memberikan bimbingan, arahan, saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si, Bapak Drs. Hufri, M.Si, Bapak Pakhrur Razi, S.Pd, M.Si, sebagai dosen penguji pada Tugas Akhir.
3. Bapak Prof. H. Dr. Lufri, M.S, sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
4. Bapak Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si, sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si, sebagai Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNP.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP.

7. Staf administrasi dan Laboran di Laboratorium Elektronika, Geofisika dan Komputasi Fisika FMIPA UNP.
8. 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 2014 dengan judul “Desain dan Pembuatan Sistem Pendeteksi Gempabumi Berbasis Sensor Fluxgate”. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, Bapak Yohandri, M.Si, Ph.D, selaku tim peneliti yang telah mengikutsertakan, mem-bimbing 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, 2 Februari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Pembatasan Masalah	3
C. Perumusan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Tinjauan Tentang Getaran	6
B. Sensor Fluxgate	8
C. Pengolahan Sinyal Sensor Fluxgate	13
D. Sistem telemetri wireless.....	20
E. Modul <i>Wireless</i> Radio Frekuensi 2.4 GHz XBee PRO.....	21
F. Mikrokontroler Atmega 328.....	24
G. <i>Power Supply</i>	29
H. Komputer.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	32
A. Tempat dan waktu penelitian.....	32
B. Jenis Penelitian	32
C. Alat dan bahan	33
D. Desain Penelitian	33
E. Prosedur Penelitian	36
F. Teknik Pengumpulan Data	38
G. Teknik Analisis Data	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41

A. Hasil Penelitian.....	41
B. Pembahasan	63
BAB V PENUTUP.....	65
A. Kesimpulan.....	65
B. Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a)Sistem derajat kebebasan tunggal dengan peredam. (b) gaya yang bekerja pada benda (Goldman, 1999).	6
Gambar 2. Bentuk garis getaran (Goldman, 1999)	7
Gambar 3. Prinsip kerja sensor <i>fluxgate</i> (Pavel Ripka dan Alois Tipek, 2007).....	8
Gambar 4. Desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti berbentuk oval (Yulkifli, 2010).....	9
Gambar 5. Prinsip kerja sensor <i>fluxgate</i> (dimodifikasi dari Grueger, 2000)	10
Gambar 6. Skema diagram pengolahan sinyal (Yulkifli,2010).....	13
Gambar 7. Rangkaian osilator kristal dan IC CD 4060 (Wandy, 2008)	14
Gambar 8. <i>Op-amp</i> yang berfungsi sebagai <i>buffer</i> sinyal.....	15
Gambar 9. Rangkaian generator sinyal eksitasi (Wandy, 2008).	15
Gambar 10. Rangkaian penguat awal (Yulkifli, 2011)	16
Gambar 11. Rangkaian detektor fasa ketika keluaran sensor positif (Yulkifli, 2011).....	17
Gambar 12. Rangkaian integrator (Wandy, 2008).	18
Gambar 13. Blok diagram penguat akhir (Wandy, 2008).....	18
Gambar 14. Prinsip pengukuran jarak dengan <i>fluxgate</i> (Yulkifli, 2010).....	19
Gambar 15. Koordinat tiga dimensi percepatan benda	21
Gambar 16. Modul XBee PRO (Sumber: Heri,2011).....	22
Gambar 17. Diagram data flow internal (Sumber: Faludi,2008)	23
Gambar 18. Topologi pada jaringan <i>Xbee Pro</i> (Sumber: Heri,2011)	24
Gambar 19. Konfigurasi pin mikrokontroler Atmega 328	25
Gambar 20. Bentuk fisik Arduino Uno	27
Gambar 21. Rangkaian catu daya teregulasi	30
Gambar 22. Blok diagram sistem.....	34
Gambar 23. <i>Caching transmitter</i>	35
Gambar 24. <i>Caching receiver</i>	35
Gambar 25. Sistem mekanik <i>transmitter</i>	42
Gambar 26. Sirkuit elektronika modul pengolah sinyal.....	43

Gambar 27. Sistem mekanik <i>receiver</i>	44
Gambar 28. Modul pengolahan sinyal	44
Gambar 30. (a) Data pengamat accelerometer (b) Data alat ukur.....	46
Gambar 31. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran pertama.....	47
Gambar 32. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran kedua	48
Gambar 33. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran ketiga.....	48
Gambar 34. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran keempat	49
Gambar 35. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran kelima.....	50
Gambar 36. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran keenam	50
Gambar 37. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran ketujuh.....	51
Gambar 38. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran kedelapan	52
Gambar 39. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran kesembilan	52
Gambar 40. Pola grafik pada jarak 10 m pengukuran kesepuluh	53
Gambar 41. Pola grafik pada jarak 10 m.....	55
Gambar 42. Pola grafik pada jarak 20 m.....	56
Gambar 43. Pola grafik pada jarak 30 m.....	56
Gambar 44. Pola grafik pada jarak 10 m.....	57
Gambar 45. Pola grafik pada jarak 20 m.....	58
Gambar 46. Pola grafik pada jarak 30 m.....	58
Gambar 47. Pola grafik pada jarak 40 m.....	59
Gambar 48. Pola grafik pada jarak 50 m.....	60
Gambar 49. Pola grafik pada jarak 10 m.....	61
Gambar 50. Pola grafik pada jarak 20 m.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bangunan merupakan salah satu infrastruktur yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Namun infrastuktur ini merupakan sasaran utama bagi bencana alam yang sering terjadi terutama gempa bumi, sehingga dapat menimbulkan kerusakan dengan cara yang tidak terduga. Kondisi ini membutuhkan waktu perbaikan cukup lama dan biaya yang mahal. Pengukuran getaran merupakan kegiatan yang bisa dilakukan dalam perawatan prediktif.

Untuk mengukur getaran dikembangkan berbagai alat sensor getaran. Banyak teknik yang dapat digunakan untuk mengukur getaran, seperti teknik perubahan kapasitansi, perubahan muatan listrik dari material *piezoelectric* dan perubahan posisi dalam *Linear Variable Displacement Transformer* (LVDT). Pada umumnya sensor-sensor tersebut harus kontak langsung dengan objek yang akan diukur getarannya. Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan *flux* magnetik disekitar elemen sensor dan dapat mengukur getaran tanpa harus kontak langsung dengan objek.

Sensor *fluxgate* mampu mendeteksi respon yang sangat kecil hingga berorde nano tesla. Berdasarkan karakterisasi, sensor *fluxgate* dapat mengukur medan magnet $\pm 20 \mu\text{T}$ dengan resolusi 7,6 nT, sensitifitas 4,08 mV/ μT dan kesalahan relatif 0,021%. Semakin banyak lilitan *pick-up* dibuat maka tingkat sensitivitas semakin tinggi. Pembuatan lilitan dapat dilakukan sebanyak mungkin

dengan cara lilitan berlapis. Lilitan berlapis digunakan untuk mendapatkan ukuran sensor tetap pendek (19,25 mm) dan daya eksitasi rendah (11,85 mW) (Yulkifli 2010:23).

Alat ukur getaran frekuensi rendah saat ini sangat dibutuhkan, seperti mengukur getaran pada bangunan. Penelitian tentang alat ukur getaran satu dimensi telah dilakukan oleh Sidik (2014). Alat ukur getaran yang sudah ada masih belum dapat mencukupi kebutuhan penggunaan alat getaran secara global. Hal ini disebabkan oleh penggunaan kabel sebagai media transmisi data. Penggunaan kabel mempunyai beberapa kekurangan, diantaranya adalah butuh biaya besar untuk instalasi pemasangan, perawatan, dan keamanan. Pada penelitian ini akan dibuat sistem telemetri secara nirkabel (*wireless*).

Telemetri secara *wireless* mempunyai beberapa keunggulan salah satunya adalah tidak membutuhkan biaya besar jika dibandingkan dengan menggunakan kabel. Pengukuran getaran menggunakan sistem *wireless* lebih mudah dan efisien. Pada lingkungan pengukuran yang sulit menjadi kendala dalam pengukuran tersebut. Jika dilakukan pengukuran getaran menggunakan kabel, seringkali memerlukan penanganan dan perawatan yang tidak mudah dikarenakan kondisi lingkungan yang seringkali tidak bersahabat. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan ini adalah menggunakan sistem *wireless* sebagai transmisi data agar pengukuran dapat dilakukan tanpa menggunakan kabel.

Komponen telemetri yang mendukung penelitian ini adalah antena. Antena berfungsi sebagai media yang mengirimkan data secara *wireless*. Antena yang digunakan mempunyai frekuensi kerja 2,4 GHz. Untuk mengubah sinyal yang

dikirimkan secara *wireless* membutuhkan rangkaian modulator. Modulator yang digunakan juga menyesuaikan dengan frekuensi kerja antena.

Berdasarkan pemikiran di atas maka dibuatlah alat yang dapat digunakan untuk mengukur besarnya getaran tanpa menggunakan kabel. Pembuatan alat ini tidak hanya secara mekanik dalam mengukur besarnya getaran, melainkan data yang didapat dikirim dengan sistem *wireless* dan diolah dengan mikrokontroler serta ditampilkan pada personal komputer secara *real time*. Berdasarkan permasalahan di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang alat deteksi getaran dengan judul **“Perancangan sistem telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer”**.

B. Pembatasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah maka peneliti merasa perlu membatasi masalah dalam penelitian ini. Sebagai pembatasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Besaran yang terukur hanya tegangan keluaran sensor fluxgate yang dikirim dengan telemetri *wireless*, diolah dengan Arduino serta ditampilkan pada komputer.
2. Spesifikasi performansi meliputi identifikasi fungsi setiap bagian pembentuk sistem alat ukur.
3. Spesifikasi desain yang diteliti meliputi ketepatan dan ketelitian sistem.

C. Perumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana spesifikasi performansi dan desain sistem telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer?”

D. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu alat ukur getaran menggunakan sensor *fluxgate* dengan transmisi data menggunakan sistem telemetri *wireless* serta *display* pada PC. Namun secara khusus tujuan penelitian ini adalah :

1. Menjelaskan spesifikasi desain sistem telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer.
2. Menjelaskan spesifikasi performansi sistem telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer.

E. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada :

1. Peneliti lain, sebagai acuan dalam pengembangan alat deteksi getaran menggunakan sensor *fluxgate*.

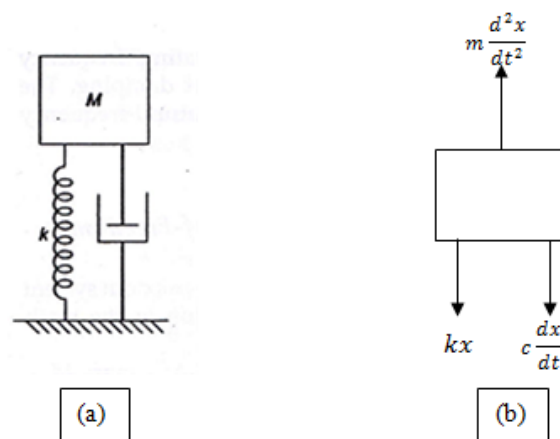
2. Jurusan fisika, sebagai instrumen alternatif yang dapat digunakan pada laboratorium fisika khususnya laboratorium elektronika dan instrumentasi.
3. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian elektronika.
4. Peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang penelitian fisika.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan tentang getaran

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 konstanta k , dan sebuah peredam dengan konstanta redaman. Goldman (1999:104). mengemukakan Resultan gaya dari masa ini adalah :

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

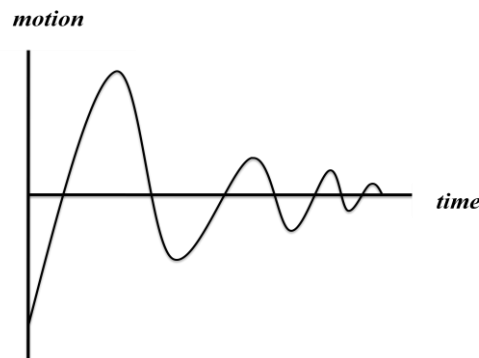
Gaya-gaya yang bekerja pada benda ditunjukkan pada Gambar 1(b), dimana gaya pegas adalah kx dan gaya redaman adalah $cv = c \frac{dx}{dt}$. Dengan menggunakan hukum Newton-II diperoleh persamaan umum getaran, yaitu :

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

Berdasarkan komponen gaya yang bekerja seperti pada gambar 1(b), maka resultan gaya dapat dirumuskan dengan persamaan

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (3)$$

Dari persamaan (2) didapatkan bentuk garis getaran yang terjadi akibat adanya peredaman pada gerak osilasi pegas seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk garis getaran (Goldman, 1999)

Solusi klasik untuk persamaan diferensial didapatkan dengan mensubstitusi $x = e^{st}$ Sehingga diperoleh :

$$e^{st} (ms^2 + Bs + k) = 0 \quad (4)$$

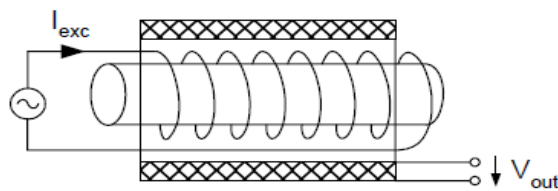
Persamaan ini benar hanya jika $(ms^2 + Bs + k)$ sama dengan nol. Sehingga dihasilkan persamaan kuadrat pada s dengan dua kemungkinan akar-akar s .

$$s_{1,2} = \frac{-B}{2m} \pm \left(\left(\frac{B}{2m} \right)^2 - \frac{k}{m} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Persamaan (5) merupakan persamaan gerak dari sistem derajat kebebasan tunggal yang dapat diaplikasikan untuk fungsi sebuah getaran pada suatu sistem.

B. Sensor *Fluxgate*

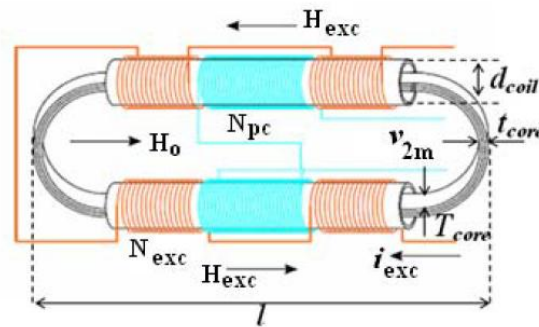
Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan *flux* magnetik disekitar elemen sensor. Hal ini sesuai dengan yang diutarakan Pavel Ripka dan Alois Tipek, (2007:159) bahwa sensor *fluxgate* dapat mengukur medan magnet hingga resolusi 100pT. Prinsip kerja sensor *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Prinsip kerja sensor *fluxgate*
(Pavel Ripka dan Alois Tipek, 2007).

Pada prinsipnya sensor *fluxgate* bekerja akibat adanya perubahan medan pada inti *coil* sehingga menghasilkan arus (I_{exc}). Seperti yang terlihat pada Gambar 3. 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 4 merupakan desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti berbentuk oval elemen sensor *fluxgate* dengan H_{exc} adalah medan yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, H_o medan eksternal, I_{exc} arus yang

dialirkan ke kumparan eksitasi, N_{exc} jumlah lilitan eksitasi, N_{pc} jumlah lilitan pick-up, T_{core} lebar inti feromagnetik, t_{core} tebal inti, d_{coil} diameter kumparan, V_{2m} tegangan keluaran harmonis ke dua dari sensor, dan l panjang sensor. Desain elemen sensor kumparan pick-up ganda dengan inti berbentuk oval dapat ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. 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 timbul secara matematis dirumuskan pada :

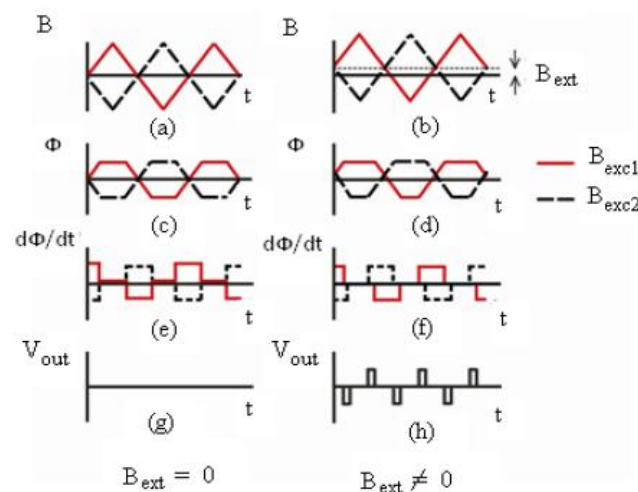
$$B = \mu i n \quad (6)$$

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 :

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = N \frac{d(BA)}{dt} \quad (7)$$

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. 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 5.



Gambar 5. Prinsip kerja sensor *fluxgate* (dimodifikasi dari Grueger, 2000)

Gambar 5. Menunjukkan prinsip kerja sensor magnetik *fluxgate*. a) Medan eksitasi tanpa medan magnet luar $B_{ext}=0$; b) Medan eksitasi dengan medan magnet luar $B_{ext}\neq 0$; c) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext}=0$; d) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext}\neq 0$; e) perubahan *flux* terhadap waktu pada $B_{ext}=0$; f) perubahan *flux* terhadap waktu pada $B_{ext}\neq 0$; g) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext}=0$; h) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext}\neq 0$.

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 V_o 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 :

$$H_{ref} = H_{ref\ max} \sin \omega t \quad (8)$$

Persamaan (8) akan disuperposisikan dengan medan magnet eksternal. Medan magnet di dalam inti sensor kemudian akan menjadi

$$H_{\text{int}} = \frac{H_{\text{ext}} + H_{\text{ref max}} \sin \omega t}{1 + D(\mu_r - 1)} \quad (9)$$

disini 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 :

$$H_0^* = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{B_{\text{sat}} [1 + D(\mu_{rn} - 1)]}{\mu_{rn} \mu_0} \quad (10)$$

sebagai kuat medan magnet dalam inti menjadi

$$h_{\text{int}} = \frac{H_{\text{int}}}{H_0^*} = h_{\text{ext}} + h_{\text{ref max}} \sin \omega t \quad (11)$$

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

$$V_{\text{out}} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (12)$$

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

$$v_{\text{out}} = -\frac{V_{\text{out}}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \quad (13)$$

Komponen tegangan keluaran harmonisa ke dua $V_{\text{out}2h}$ dari kumparan sekunder adalah :

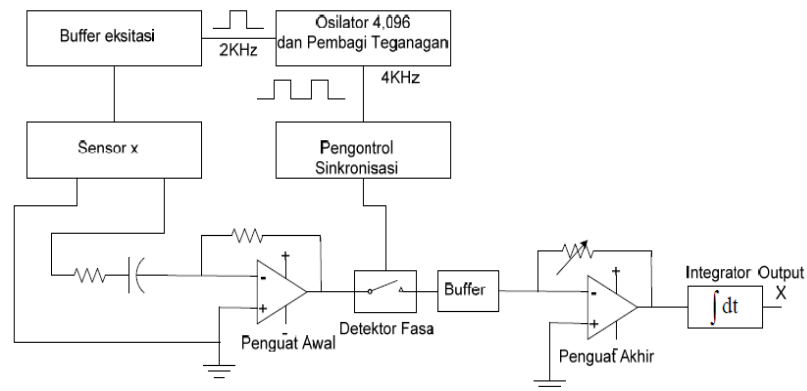
$$U_{\text{out}} = -3B_0 NA \omega A_3 h_{\text{ext}} h_{\text{ref max}}^2 \sin 2\omega t \quad (14)$$

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

dengan K adalah tetapan.

C. Pengolahan Sinyal Sensor *Fluxgate*

Sensor *fluxgate* membutuhkan rangkaian pengolahan sinyal dan elemen *fluxgate* yang optimum. Untuk mengolah sinyal sensor dapat terdiri dari beberapa bagian rangkaian, yaitu diffrensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik diagram pengolah sinyal terlihat pada Gambar 6 :



Gambar 6. Skema diagram pengolahan sinyal (Yulkifli,2010)

Bagian-bagian dari diagram pengolah sinyal tersebut sebagai berikut :

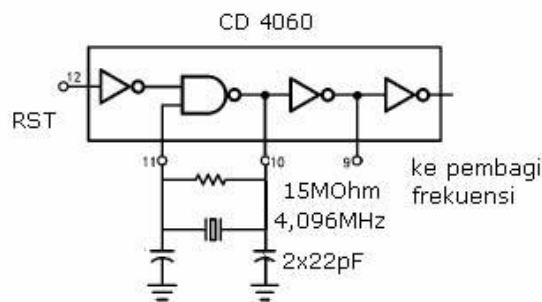
1. Rangkaian Eksitasi Sensor *Fluxgate*

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 7.

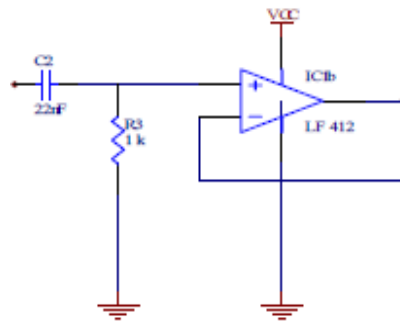


Gambar 7. Rangkaian osilator kristal dan IC CD 4060 (Wandy, 2008)

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

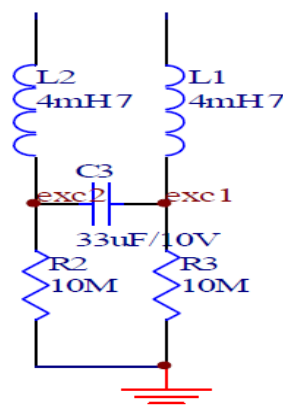
akhirnya penambahan *buffer* akan menjadikan keluaran sistem sensor menjadi lebih stabil dari yang sebelumnya. Susunan *buffer* sama seperti Gambar 8.



Gambar 8. *Op-amp* yang berfungsi sebagai *buffer* sinyal

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 9.



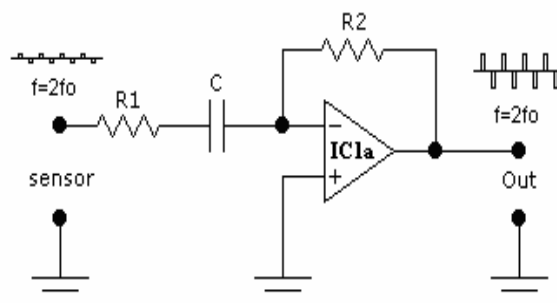
Gambar 9. Rangkaian generator sinyal eksitasi (Wandy, 2008).

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 masukannya sama (Malvino, 1985).

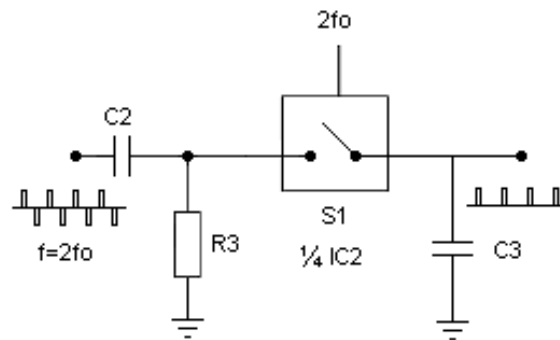
Rangkaian pengolah sinyal sensor *fluxgate* ini, penguat awal berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diterima oleh *pick-up* (Yulkifli, 2011). Dalam keadaan tanpa adanya medan magnetik luar, penjumlahan arus yang melewati lilitan *pick-up* sensor akan sama dengan nol. Ketika diganggu dengan medan magnetik 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 10.



Gambar 10. 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 (f_o) sebelum dibagi dua oleh pembagi frekuensi, sementara itu harmonisasi ganjil dan yang lain tidak diteruskan.

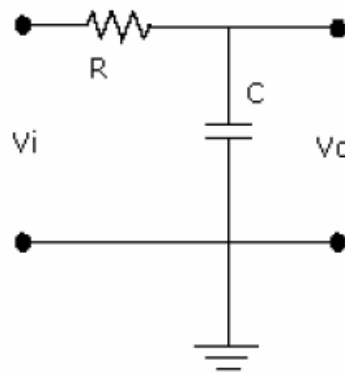


Gambar 11. Rangkaian detektor fasa ketika keluaran sensor positif (Yulkifli, 2011)

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

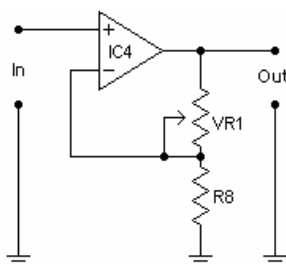
ini adalah integrator pasif (Wandy, 2008). Bentuk rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. 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 13.

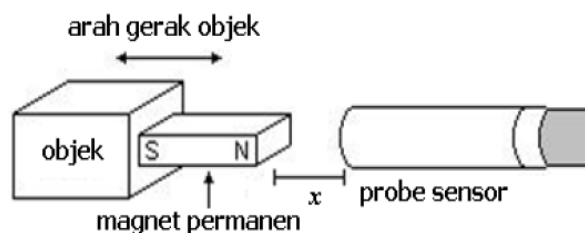


Gambar 13. Blok diagram penguat akhir (Wandy, 2008)

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 penguatannya 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 ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. 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 $d\vec{A}$ adalah elemen vektor luas dan $\vec{B}$ adalah elemen vektor medan magnet, maka fluks magnet yang keluar dipermukaan medan adalah :

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (15)$$

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

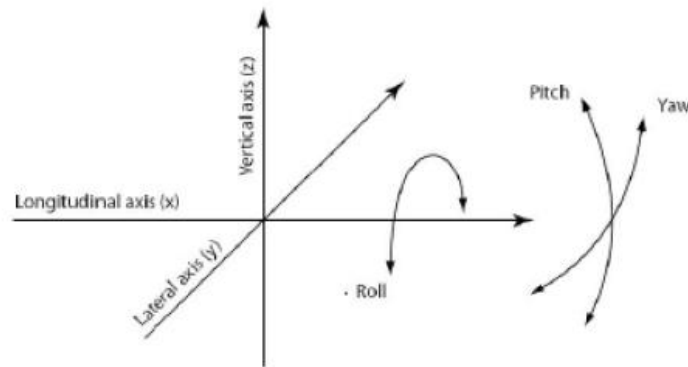
$$B_r \propto \frac{B}{x} \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan (16) terlihat bahwa penurunan medan magnet sebanding dengan $1/x$, sedangkan tegangan keluaran sensor sebanding dengan medan external, dengan demikian dapat disimpulkan tegangan keluaran sensor dapat dapat dihubungkan dengan medan external dan jarak (Yulkifli,2010).

D. Sistem Telemetry Wireless

Telemetry adalah sebuah teknologi pengukuran dilakukan dari jarak jauh dan melaporkan informasi kepada perancang atau operator sistem. Kata telemetry berasal dari bahasa Yunani yaitu *tele* artinya jarak jauh sedangkan *metron* artinya pengukuran (Evrita,2010). Secara istilah telemetry diartikan sebagai suatu bidang keteknikan yang memanfaatkan instrumen untuk mengukur panas, radiasi, kecepatan atau *property* lainnya dan mengirimkan data hasil pengukuran ke penerima yang letaknya jauh secara fisik, berada diluar dari jangkauan pengamat atau *user*.

Bergeraknya suatu benda dapat terjadi pada beberapa kondisi. Pergerakan benda dapat diasumsikan pada sumbu x , y , dan z . Masing-masing sumbu mempunyai definisi, x adalah *longitudinal axis*, y adalah *lateral axis*, dan z adalah *vertical axis*. Tabel 1 menunjukkan pengukuran hubungan axis dan arah pengukuran. Dalam hal ini, arah percepatan benda adalah pada sumbu x , jika membelok maka bergerak pada sumbu y , dan jika mengalami naik atau penurunan akan bergerak pada sumbu z .



Gambar 15. Koordinat tiga dimensi percepatan benda

Tabel 1. Arah Gaya Akselerasi dan Sumbu Koordinat

Axis	Cartesian	Rotation	Arah Gaya
Longitudinal	X	Roll	Acceleration force
Lateral	Y	Pitch	Concerning force
Vertikal	Z	Yaw	Gravitational

E. Modul *Wireless* Radio Frekuensi 2.4 GHz XBee PRO

Radio Frequency Tranciever atau pengirim dan penerima frekuensi radio ini berfungsi untuk komunikasi secara nirkabel (*wireless*). Salah satu modul

komunikasi wireless dengan frekuensi 2.4GHz adalah XBee-PRO ZB ZigBee/IEEE 802.15.4 2.4GHz. *Radio frequency transceiver* ini merupakan sebuah modul yang terdiri dari *RF receiver* dan *RF transmitter* (Luis, 2014). Modul RF interface XBee/XBee-PRO ZB ini berhubungan dengan melalui logic-level asynchronous serial port. Melalui serial port ini, modul dapat berkomunikasi dengan logic dan voltage kompatibel *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) atau melalui level translator ke semua serial device contohnya pada RS-232 atau *USB interface board*.

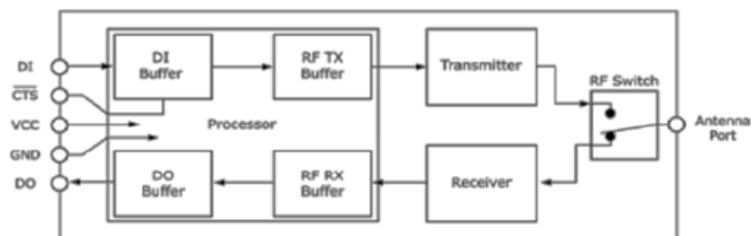
UART adalah bagian perangkat keras komputer yang menerjemahkan bit-bit paralel dan bit-bit serial data. UART biasanya berupa sirkuit terintegrasi yang digunakan untuk komunikasi serial pada komputer atau port serial perangkat peripheral. Perangkat yang memiliki interface UART dapat terhubung langsung pada pin modul RF.



Gambar 16. Modul XBee PRO
(Sumber: Heri, 2011)

Pada dasarnya, XBee memiliki 2 mode beroperasi yakni mode Transparent dan API. Akan tetapi, apabila mode API digunakan, dibutuhkan pemaketan data RF. Untuk itu, data akan di-buffer terlebih dahulu sebelum dikirim atau diterima. Flow data serial menjadi paket RF. Pada XBee apabila ada data input (DI), data akan masuk ke DI buffer. Setelah itu, input data akan diteruskan ke *RF TX buffer*,

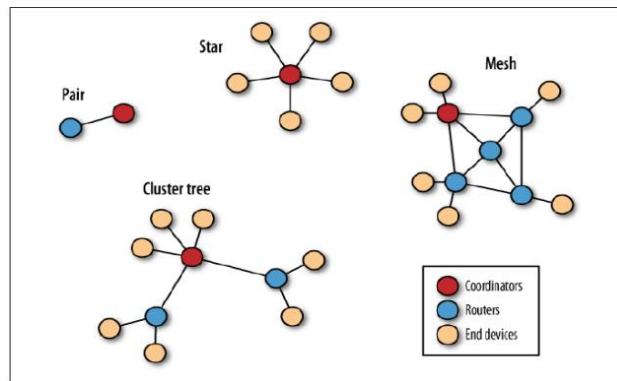
kemudian untuk mentransmisikan input data, posisi *RF switch* menjadi *transmitter*. Begitu juga sebaliknya, apabila ada data yang diterima, posisi *RF switch* menjadi *receiver* lalu data akan masuk *RF RX buffer*, kemudian data diteruskan ke *DO buffer* lalu menjadi data output (*DO*), kemudian *DO* diteruskan dari XBee ke host. Diagram data flow internal XBee dapat dilihat pada Gambar 17



Gambar 17. Diagram data flow internal (Sumber: Faludi,2008)

Dalam hal ini, *API frame* yang digunakan adalah tiga jenis yaitu *Zigbee Receive Packet*, *AT Command* dan *AT Command Response*. *API frame* ini digunakan pada *local node*, sedangkan *remote node* menggunakan *transparent mode*.

Sistem pemantauan dan pengukuran jarak jauh terdiri dari 2 buah modul *Xbee Pro* yang sama yang sebelumnya telah diprogram sebagai sebuah *receiver-transmitter* maupun *transmitter-receiver*. Ada beberapa bentuk topologi yang biasa digunakan antara lain topologi *mesh*, *peer*, *star*, dan *cluster Tree*.



Gambar 18. Topologi pada jaringan *Xbee Pro*
(Sumber: Heri,2011)

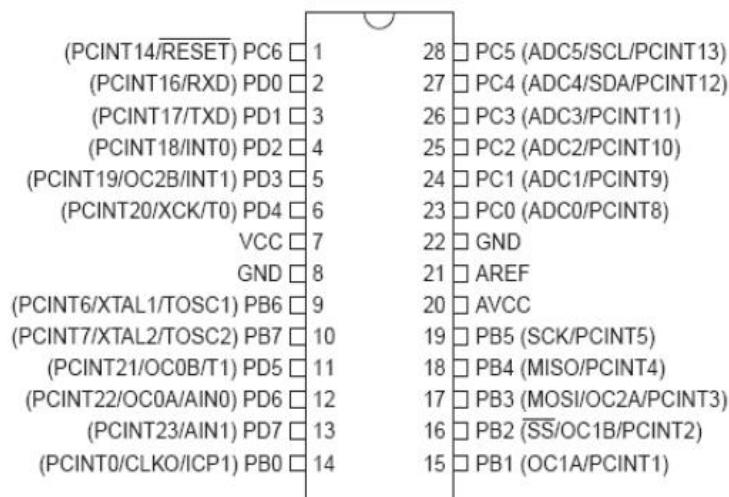
Topologi pair merupakan jaringan yang sederhana dengan hanya menggunakan dua buah *xbee* atau node. Satu node harus menjadi *coordinator* sehingga jaringan dapat dibentuk. Dan yang lain dikonfigurasi sebagai *router* atau perangkat akhir.

F. Mikrokontroler Atmega 328

Mikrokontroler adalah suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram (Agfianto, 2002). Secara keseluruhan mikrokontroler memiliki fungsi sebagai otak dari suatu sistem elektronika. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terdapat berbagai jenis mikrokontroler yang memiliki berbagai kelebihan. Salah satu jenis mikrokontroler tersebut adalah mikrokontroler Atmega 328 yang terintegrasi pada *board* mikrokontroler Arduino Uno .

Menurut (Guntoro, 2013:40) “Arduino Uno merupakan *board* mikrokontroler berbasis atmega 328”. Mikrokontroler ATmega 328 memiliki

arsitektur *Harvard*, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*. Instruksi – instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konfigurasi dari pin mikrokontroler Atmega 328 dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 . Konfigurasi pin mikrokontroler Atmega 328
(Sumber: Heri,2011)

Fitur-fitur yang dimiliki Atmega 328 sebagai berikut:

1. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi, dengan daya rendah.
2. Arsitektur RISC dengan *throughput* mencapai 20 MIPS pada frekuensi 20 MHz.
3. Memiliki kapasitas Flash memori 32 KByte, EEPROM 1 KByte dan SRAM 2KByte.
4. Saluran I/O sebanyak 23 buah, yaitu *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
5. CPU yang terdiri atas 32 register.

6. Unit interupsi internal dan eksternal.
7. *Port* USART untuk komunikasi serial.
8. Fitur Periperal

Atmega 328 memiliki beberapa fitur periperal diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan pembandingan.yang terdiri dari Dua buah *Timer/Counter* 8 bit dengan *Prescaler* terpisah dan *Mode Compare*. Satu buah *Timer/ Counter* 16 bit dengan *Prescaler* terpisah, *Mode Compare*, dan *Mode Capture*.
2. *Real Time Counter* dengan *Oscillator* tersendiri.
3. 6 channel PWM.
4. 8 *channel*, 10-bit ADC

Mikrokontroler Atmega 328 merupakan komponen utama dari kit mikrokontroler arduino. Arduino uno memiliki 14 pin input/output digital, USB, 16 MHz osilator kristal, ICSP, sambungan SV1, 6 pin input analog, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan *board* Arduino Unoke komputer dengan menggunakan kabel USB. Bentuk dari papan arduino dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Bentuk fisik Arduino Uno
(Sumber: www.arduino.cc)

Berdasarkan Gambar 20, papan arduino terdiri dari :

1. 14 pin input/output digital (0-13)
2. Berfungsi sebagai input atau output yang dapat diatur melalui program.
3. USB
4. USB berfungsi untuk komunikasi antara *board* mikrokontroler dengan komputer dan untuk memuat program dari komputer ke *board* mikrokontroler.
5. Sambungan SV1
6. Berfungsi untuk memilih sumber daya untuk *board* mikrokontroler.
7. Q1 – Kristal (*quartz crystal oscillator*)
8. Q1 kristal menghasilkan clock yang akan dikirim ke mikrokontroler agar melakukan operasi untuk setiap clocknya. Mikrokontroler arduino uno menggunakan Q1 16 MHz.
9. Tombol *reset* S1
10. Berfungsi untuk mereset *board* sehingga program akan dimulai dari awal.
11. IC 1- Mikrokontroler ATmega 328

12. Merupakan komponen utama dari arduino uno. Didalamnya terdapat CPU, RAM dan ROM.

13. Jack untuk sumber daya eksternal

14. Berfungsi jika arduino ingin diberikan sumber daya eksternal, maka dapat menggunakan sumber daya DC sebesar 9- 12 Volt.

15. 6 pin input analog (0-5)

Berfungsi untuk membaca tegangan dari sensor analog seperti sensor suhu.

Daya untuk mengoperasikan arduino diberikan melalui kabel USB atau *power supply*. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan mencolokan jack adaptor pada koneksi port input *supply*. Regulasi *powersupply* digunakan untuk memberikan tegangan pada mikrokontroler dan komponen lainnya pada board. Tegangan 5V dapat diinput melalui Vin menggunakan regulator pada *board*. Dalam pemrogramannya bahasa pemrograman yang digunakan arduino adalah bahasa C yang sudah disederhanakan *syntax* bahasa pemrogramannya. *Software* yang digunakan adalah software IDE.

Menurut Guntoro (2013: 40) arduino memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

1. Arduino telah dilengkapi dengan *bootloader* didalamnya sehingga tidak perlu menggunakan *chip* programmer karena *bootloader* akan menangani *upload* program dari komputer.
2. Arduino memiliki sarana komunikasi USB, sehingga untuk laptop yang tidak memiliki port komunikasi serial bisa menggunakannya.

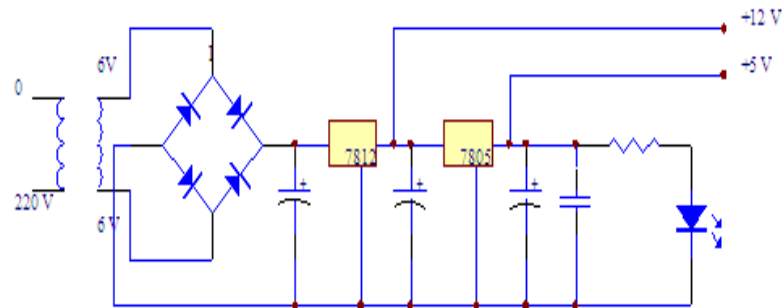
3. *Software* arduino telah dilengkapi dengan *library* yang cukup lengkap sehingga pemogramannya relatif mudah.
4. Arduino memiliki modul siap pakai seperti ethernet, SD card, dll yang dapat ditancapkan pada *board* Arduino.

G. 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 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 21. 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 21. 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*.

H. Komputer

Komputer merupakan sekumpulan peralatan elektronik yang berfungsi sebagai alat bantu manusia dalam hal pengolahan data. Suatu system computer dapat dilihat dari beberapa sudut pandang. Organisasi computer memandang system computer dari berbagai cara yakni jenis komponen penyusunnya, fungsi dan cara kerja masing-masing komponen serta hubungan antar komponen tersebut. Komponen yang dimaksud disini adalah perangkat keras penyusun sebuah system computer. Perangkat keras computer merupakan satu bagian yang mendukung kerja system secara keseluruhan, bermacam-macam perangkat kerasterus dikembangkan dalam meningkatkan kinerja system computer.

Secara umum system computer terdiri dari *Central Processing Unit (CPU)*, memori input/output, dan system antar koneksi yang menghubungkan komponen-komponen lainnya. Berdasarkan struktur di atas maka komponen-komponen dasar yang wajib dimiliki oleh sebuah computer adalah mikroprosesor, memori, motherboard, keyboard, monitor. Dengan komponen di atas sebuah computer sudah dapat digunakan tetapi untuk mengoptimalkan penggunaannya perlu ditambahkan perangkat yang lainnya seperti hardisk dan mouse atau aksesoris pendukung lainnya seperti FDD dan CDROM.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari pembuatan alat telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Hasil spesifikasi performansi alat ukur

Alat telemetri *wireless* untuk mengukur getaran satu dimensi menggunakan sensor *Fluxgate* berbasis personal komputer 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*, sistem pengiriman data secara *wireless* menggunakan modul XBee PRO, pengolahan sinyal sensor *fluxgate*, pengkondisian output tegangan sinyal sensor dan mikrokontroler.

2. Hasil Spesifikasi Desain Alat Ukur

Rancangan pada sistem antarmuka pada alat ukur getaran ini menggunakan Arduino untuk memogram mikrokontroler dan Megunolink untuk pembuatan aplikasi grafik. Hasil analisa grafik yang terekam oleh alat ukur getaran menggunakan sensor *fluxgate* dengan *display personal computer* (PC).

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 ukur ini mampu merespon getaran bangunan 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 PURTAKA

- Bonanto Eko, dkk. 2011. *Perancangan Sistem Monitoring Kecepatan dan Arah Angin Menggunakan Komunikasi Zigbee 2,4 Ghz*. Universitas Diponegoro.
- 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
- Evrita Lusiana Utari. 2010. *Telemetri Suhu Berbasis Komputer*. Universitas Respati Yogyakarta.
- Goldman, Steve. 1999. *Vibration Spectrum Analysis Second Edition*. New York : Industrial Press Inc.
- Guntoro, Helmi dkk. 2013. *Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad dan Solenoid Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno*. Jurnal Electrans, Vol.12, No.1, Maret 2013, 39-48.
- 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.
- Heri Susanto, dkk. 2011. *Perancangan Sistem Telemetri Wireless Untuk Mengukur Suhu Dan Kelembaban Berbasis Arduino Uno R3 Atmega328p Dan Xbee Pr*. Universitas Maritim Raja Ali Haji.
- Kirkup, L. 1994. *Experimental Method An Introduction to The Analysis and Presentation of Data*. John Willey & Sons: Singapore
- Luis Sanabria dan Jaume Barcelo. 2014. *A course on Wireless Sensor Networks*.

- 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
- Mitra, dkk. 2007. *Development of a Low Cost Vibration Sensor Based on Fluxgate Element*. International conference of institute for Environment, Engineering, Economics, and Applied Mathematics (IEEEAM): Itali.
- Mohorovicic, Andrija. 2009. ” *Effects of earthquakes on buildings*”. Geofisika, 26 (1).
- Pavel Ripka dan Alois Tipek. 2007. *Modern Sensors Handbook*. ISTE: United States.
- Sidik,devi. 2014. *Pembuatan Alat Ukur Getaran Berbasis Sensor Fluxgate dengan Display Personal Computer (PC) Untuk Aplikasi* . Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negri Padang(UNP): Padang
- Wandy. 2008. *Desain awal fluxgate magnetometer menggunakan kumparan sekunder (pick-up coil) ganda sebagai penentu posisi benda*. ITB: Bandung
- Yulkifli. 2010. *Pengembangan Elemen Fluxgate Dan Penggunaannya Untuk Sensor-Sensor Berbasis Magnetik Dan Proksimiti*. Disertasi, ITB: Bandung.

Lamiran 1. Program alat ukur getaran

```
#include <Wire.h>
#include <Time.h>
#include <DS1307RTC.h>
const int analogInPin = A0;
float sensorValue = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) ; // wait for serial
  Serial.println("DS1307RTC Read Test");
  Serial.println("-----");
}

void loop() {
  tmElements_t tm;

  if (RTC.read(tm)) {
    if(Serial.available() >=21) {
      if(Serial.read() == 0x7E) {
        for (int i = 0; i<18; i++) {
          byte discard = Serial.read();
        }
      }
      int analogMSB = Serial.read();
      int analogLSB = Serial.read();
      sensorValue = ((analogLSB + (analogMSB*256))-776)*(-0.154);

      Serial.print("// ");
      Serial.print(sensorValue);
      Serial.print(" Gal // ");
      Serial.print("Time = ");
      print2digits(tm.Hour);
      Serial.write(':');
      print2digits(tm.Minute);
      Serial.write(':');
      print2digits(tm.Second);
      Serial.print(", Date (D/M/Y) = ");
      Serial.print(tm.Day);
      Serial.write('/');
      Serial.print(tm.Month);
      Serial.write('/');
      Serial.print(tmYearToCalendar(tm.Year));
      Serial.print (" {A,t,");
      Serial.print(sensorValue);
      Serial.print("}");
      Serial.println();}}}
```

```

    } else {
        if (RTC.chipPresent()) {
            Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");
            Serial.println("example to initialize the time and begin running.");
            Serial.println();
        } else {
            Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");
            Serial.println();
        }
    }
}

void print2digits(int number) {
    if (number >= 0 && number < 10) {
        Serial.write('0');
    }
    Serial.print(number);
}

```

Lamiran 2. Data alat ukur getaran

```
// -0.15 Gal // Time = 18:06:03{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:04{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:05{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:06{A,t,0.00}
// -0.62 Gal // Time = 18:06:07{A,t,-0.62}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:08{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:09{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:10{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:11{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:12{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:13{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:14{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:15{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:16{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:17{A,t,0.00}
// -0.62 Gal // Time = 18:06:18{A,t,-0.62}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:19{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:20{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:21{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:22{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:23{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:24{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:25{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:26{A,t,0.00}
// -0.31 Gal // Time = 18:06:27{A,t,-0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:06:28{A,t,0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:29{A,t,-0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:06:30{A,t,0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:31{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:32{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:33{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:34{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:35{A,t,0.00}
// -0.31 Gal // Time = 18:06:36{A,t,-0.31}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:37{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:38{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:39{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:40{A,t,0.00}
// -0.31 Gal // Time = 18:06:41{A,t,-0.31}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:42{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:43{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:44{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:45{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:46{A,t,-0.15}
```

```

// 0.15 Gal // Time = 18:06:47{A,t,0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:48{A,t,0.00}
// 0.15 Gal // Time = 18:06:49{A,t,0.15}
// -0.62 Gal // Time = 18:06:50{A,t,-0.62}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:51{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:52{A,t,-0.15}
// -0.31 Gal // Time = 18:06:53{A,t,-0.31}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:54{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:55{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:56{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:57{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:06:58{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:06:59{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:00{A,t,0.00}
// -0.31 Gal // Time = 18:07:01{A,t,-0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:07:02{A,t,0.15}
// -0.62 Gal // Time = 18:07:03{A,t,-0.62}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:04{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:05{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:06{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:07{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:08{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:09{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:10{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:11{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:12{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:13{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:14{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:15{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:16{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:17{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:18{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:19{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:20{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:21{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:22{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:23{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:24{A,t,0.00}
// 0.15 Gal // Time = 18:07:25{A,t,0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:27{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:28{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:29{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:30{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:31{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:32{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:33{A,t,0.00}

```

```

// 0.00 Gal // Time = 18:07:34{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:35{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:36{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:37{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:38{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:39{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:40{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:41{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:42{A,t,0.00}
// -0.31 Gal // Time = 18:07:43{A,t,-0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:07:44{A,t,0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:45{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:46{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:47{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:48{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:49{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:50{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:51{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:52{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:53{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:54{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:55{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:56{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:07:57{A,t,-0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:07:58{A,t,0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:07:59{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:00{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:01{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:02{A,t,-0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:03{A,t,0.15}
// -0.31 Gal // Time = 18:08:04{A,t,-0.31}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:05{A,t,-0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:06{A,t,-0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:07{A,t,0.00}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:08{A,t,-0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:09{A,t,0.15}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:10{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:11{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:12{A,t,0.00}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:13{A,t,0.00}
// -0.46 Gal // Time = 18:08:14{A,t,-0.46}
// 0.00 Gal // Time = 18:08:15{A,t,0.00}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:16{A,t,0.15}
// 0.31 Gal // Time = 18:08:17{A,t,0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:18{A,t,0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:19{A,t,0.15}

```


// 0.31 Gal // Time = 18:08:20{A,t,0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:21{A,t,0.15}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:22{A,t,-0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:23{A,t,0.15}
// 0.46 Gal // Time = 18:08:24{A,t,0.46}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:25{A,t,-0.15}
// 0.31 Gal // Time = 18:08:26{A,t,0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:27{A,t,0.15}
// 0.31 Gal // Time = 18:08:28{A,t,0.31}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:29{A,t,0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:30{A,t,0.15}
// 0.15 Gal // Time = 18:08:31{A,t,0.15}
// -0.31 Gal // Time = 18:08:32{A,t,-0.31}
// 0.31 Gal // Time = 18:08:33{A,t,0.31}
// -0.15 Gal // Time = 18:08:34{A,t,-0.15}
// 0.31 Gal // Time = 18:08:35{A,t,0.31}
// -0.31 Gal // Time = 18:08:36{A,t,-0.31}

Lamiran 3. Data alat ukur standar (Accelerometer)

Z (Gal)	Y (Gal)	X (Gal)
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0.125	-0.125	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.125
-0.125	-0.125	0.25
-0.125	-0.375	0.25
0.125	-0.125	0.125
0	-0.125	0
0	-0.125	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.125	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.25	0.25
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.25	0.25
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.125	0.125
0	-0.125	0
0	-0.125	0.125
0	-0.25	0.125
0.125	-0.25	0
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.125
0	-0.25	0
0	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0.25

0	-0.25	0.125
-0.25	-0.375	0.125
0	-0.125	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.375	0.125
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0
-0.25	-0.25	0
0	-0.125	0
-0.25	-0.25	0
-0.125	-0.375	0
-0.375	-0.625	0.125
-0.125	-0.375	0.125
0	-0.25	0.25
0	-0.125	0
0	-0.25	0
0	-0.125	0
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0.125
0	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.125
-0.125	-0.375	0
0	-0.125	0
0.125	-0.125	0
0	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125
0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
-0.25	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.125	0.125
0	-0.25	0.25
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0

-0.375	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0
0	-0.125	0
-0.125	-0.25	0
-0.25	-0.25	0
-0.375	-0.25	0
-0.375	-0.125	0
-0.25	-0.125	0.125
-0.375	-0.25	0
-0.5	-0.375	0
-0.375	-0.375	0
-0.5	-0.125	0
-0.5	-0.25	0
-0.25	-0.25	-0.125
-0.375	-0.25	0
-0.25	-0.125	0.125
-0.375	-0.125	0
-0.375	-0.125	0
-0.375	0	-0.125
-0.375	-0.125	0
-0.375	-0.125	-0.125
-0.25	-0.125	0
-0.125	-0.125	0
-0.125	-0.125	0.125
-0.375	-0.375	0
-0.375	-0.25	0
-0.25	-0.25	0.25
-0.25	-0.125	0
-0.25	-0.25	0
-0.375	-0.125	-0.125
-0.375	-0.25	0
-0.5	-0.375	0
-0.5	-0.375	0
-0.5	-0.375	0.125
-0.375	-0.375	-0.125
-0.5	-0.25	0
-0.375	-0.375	0
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.25
0	-0.25	0
-0.25	-0.375	0.125
-0.125	-0.125	0

-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.25
-0.25	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0.125	-0.125	0.125
0.125	-0.125	0
0	-0.125	-0.125
-0.25	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.125	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.125	0
0	-0.125	0
-0.375	-0.375	0.125
-0.375	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0.125
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.375	0.25
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
0.125	-0.125	0.25
0	-0.25	0.375
-0.125	-0.125	0.125
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.25	-0.25	0.25
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125

0	-0.25	0
0	-0.125	-0.125
0	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125
-0.375	-0.625	0.125
-0.25	-0.375	0
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.25	0.125
0	-0.125	0
0	-0.125	0
0	-0.125	0
-0.125	-0.125	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.25	0.125
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.25	-0.375	0.125
0	-0.375	0.125
0.125	-0.125	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.375	0.25
0	-0.125	0
-0.125	-0.25	0
0	-0.125	0.25
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.25	-0.125
-0.125	-0.125	0
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.125	0.125
0	-0.25	0.125
0.125	-0.125	0

-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0.125
0	-0.125	0
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.125	0.125
0	-0.125	0
0	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
0	-0.25	0.125
0	-0.125	0.125
0	-0.125	0
-0.125	-0.125	0.125
-0.25	-0.375	0
0.125	-0.375	0.125
0	-0.375	0.125
0.125	-0.375	0.25
0.125	-0.375	0.25
0	-0.375	0.25
0.125	-0.25	0.125
0.125	-0.25	0
0.25	-0.25	0.125
0.125	-0.25	0
0	-0.25	0
0.125	-0.125	0
0	-0.25	0
0.125	-0.25	0.25
0.25	-0.375	0.125
0.25	-0.25	0
-0.125	-0.25	0
-0.25	-0.25	0
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.375	0.125
-0.125	-0.25	0
-0.125	-0.125	0
0	-0.125	0
-0.125	-0.125	0
0	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0.125
-0.125	-0.25	0