



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM PENGUKURAN MOMEN INERSIA BENDA PEJAL
DENGAN METODE OSILASI HARMONIK BERBASIS
MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

HENDRA BANJARNAHOR

0906602042

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA EKSTENSI
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM PENGUKURAN MOMEN INERSIA BENDA PEJAL
DENGAN METODE OSILASI HARMONIK BERBASIS
MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

HENDRA BANJARNAHOR

0906602042

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA EKSTENSI
KEKHUSUSAN INSTRUMENTASI
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : HENDRA BANJARNAHOR

NPM : 0906602042

Tanda Tangan : 

Tanggal : 20 JUNI 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan ini diajukan oleh :

Nama : Hendra Banjarnahor

NPM : 0906602042

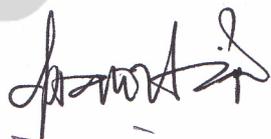
Program studi : Ekstensi Fisika

Judul Skripsi : Sistem Pengukuran Momen Inersia Benda Pejal Dengan Metode Osilasi Harmonik Berbasis Mikrokontroler

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ekstensi Fisika Instrumentasi Elektronika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Prawito

()

Pembimbing : Drs. Lingga Hermanto MSi

()

Penguji 1 : Dr. Santoso Soekirno

()

Penguji 2 : Dr. BEF Da Silva

()

Ditetapkan di : Ruang Seminar Fakultas MIPA, Kampus UI Depok

Tanggal : 21 Juni 2012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hendra Banjarnahor

NPM : 0906602042

Program Studi : Instrumentasi

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam

Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

SISTEM PENGUKURAN MOMEN INERSIA BENDA PEJAL DENGAN METODE OSILASI HARMONIK BERBASIS MIKROKONTROLER

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal :

Yang menyatakan



(Hendra Banjarnahor)

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia-NYA sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana Fisika Jurusan Instrumentasi Elektronika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sejak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan rahmatNya yang selalu menyertai penulis
- 2) Bapak Dr. Prawito dan Bapak Drs. Lingga Hermanto Msi selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktunya untuk memberikan pengarahan dan solusi selama berlangsungnya pembuatan skripsi ini.
- 3) Keluarga saya yaitu alm ayah saya, ibu saya tercinta beserta abang dan kedua kakak saya yang sangat saya sayangi terimakasih buat semua dorongan dan motivasi yang diberikan agar penulis bisa mencapai segala impian serta restu dan doanya yang tak henti-hentinya dipanjatkan demi terselesaikannya skripsi ini.
- 4) Seluruh Dosen Fisika FMIPA yang telah memberikan ilmunya serta seluruh staf dan karyawan yang telah membantu penulis.
- 5) Teman seperjuangan : Banu, Ryan, Ina, Tia, Sulas, Mameto, Rahmat Gozali, Janata Sabil, Diana.
- 6) Teman Ekstensi 2009 yang telah duluan lulus, Lindra, Fachrudin dan Irpan
- 7) Buat Lao de dan Fauzi terimakasih buat dukungan, waktu dan semangat yang telah diberikan

- 8) Rekan-rekan Fisika Ektensi 09 yang seperjuangan dalam yang membantu dalam dukungan semangat dan motivasinya khususnya buat
- 9) Seluruh karyawan di Departemen Fisika yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Mahakuasa yang membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu yang tidak disebutkan satu persatu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Mei 2012

Penulis

ABSTRAK

Banyaknya benda berosilasi yang gerak bolak baliknya tidak dapat sama karena gaya gesekan melepaskan tenaga geraknya. Untuk menentukan nilai momen inersia pada benda pejal yang beraturan dapat dengan mudah dihitung akan tetapi untuk menghitung nilai momen inersia pada benda pejal yang tidak beraturan sangatlah susah sehingga penelitian ini dilakukan. Pengukuran ini menghubungkan persamaan osilasi dengan persamaan momen inersia yang dialami benda pejal. Besarnya redaman dihitung dari data osilasi percepatan yang diperoleh melalui rangkaian mikrokontroler dengan *accelerometer* sebagai sensornya. Data osilasi percepatan kemudian ditampilkan melalui komputer dengan pemrograman LabView sebagai *Graphical User Interface* nya.

Kata Kunci : osilasi, accelerometer, momen inersia

ABSTRACT

The oscillating motion of many objects beyond cannot be the same pace because of the friction force releases its motion. To determine the value of moment of inertia of a rigid body can be calculated but irregular to calculate the value of moment of inertia in rigid body are very difficult irregular so that the research was done. Measurement of oscillation equation connects the Newton's law equation with moment of inertia disc-shaped objects going round and square-shaped disc. Relation from these equation shows that the damping coefficient will influence by viscosity coefficient from fluid that measured. The damping coefficient calculates from acceleration oscillation data which get from microcontroller circuit with accelerometer as a sensor. The acceleration oscillation data then displayed on computer with LabView programming as the Graphical User Interface.

Keyword : oscillation, accelerometer, moment of inertia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTARi

ABSTRAKiii

DAFTAR ISIv

DAFTAR GAMBAR.....vii

DAFTAR TABELix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metode Penelitian	3

BAB 2 PENDAHULUAN

2.1 Gerak Harmonik	4
2.2 Gerak Harmonik Sederhana Pada Pegas	5
2.2.1 Beberapa Contoh Gerak Harmonik	6
2.3 Gerak Harmonik Tereadam	7
2.4 Momen Gaya	8
2.5 Momen Inersia	9
2.5.1 Momen Inersia Benda Pejal Berbentuk Lingkaran	11
2.5.2 Momen Inersia Benda Pejal Berbentuk Persegi	11
2.5.3 Momen Inersia Pada Sudut Kecil	12

2.6 Sensor Accelerometer	13
2.7 Mikrokontroler ATmega8	15
2.8 Komunikasi Serial	16

BAB 3 PERANCANGAN ALAT

3.1 Spesifikasi Rancangan Alat	19
3.1.1 Mencari Nilai Konstanta Pegas	20
3.1.2 Benda Pejal	21
3.2 Sensor Accelerometer	21
3.3 Mikrokontroler ATmega8	25
3.4 Rangkaian Minimum Mikrokontroler ATmega8	26
3.5 Komunikasi Serial	28
3.6 Pemrograman Mikrokontroler	31
3.7 Pemrograman LabVIEW	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Regulator	33
4.2 Pengujian Rangkaian Mikrokontroler	35
4.3 Pengukuran Sensor Accelerometer	35
4.4 Perhitungan Nilai Momen Inersia Secara Eksperimen	37
4.4.1 Benda Pejal Berbentuk Persegi	38
4.4.2 Benda Pejal Berbentuk Lingkaran	42

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan	48
----------------------	----

REFERENSI

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Gerak Harmonik	5
Gambar 2.2	Gerak Harmonik Tereadam	8
Gambar 2.3	Struktur Multi Axis Capacitive Accelerometer	14
Gambar 2.4	Blok Diagram ATmega8	15
Gambar 2.5	Konfigurasi Pin Konektor DB 9	17
Gambar 2.6	Konfigurasi Pin IC MAX 232	18
Gambar 3.1	Perancangan Alat	19
Gambar 3.2	Blok Diagram	20
Gambar 3.3	Capacitive Accelerometer	23
Gambar 3.4	Sensor Accelerometer	23
Gambar 3.5	Rangkaian Minimum ATmega8	26
Gambar 3.6	Konfigurasi Pin ATmega8	27
Gambar 3.7	Koneksi Pin IC MAX 232	30
Gambar 3.8	Diagram Alur Program Mikrokontroler	31
Gambar 3.9	Diagram Alur Program LabVIEW	32
Gambar 4.1	Pengujian Regulator	33
Gambar 4.2	Grafik Pengujian Regulator	34
Gambar 4.3	Pengujian power supply	35

Gambar 4.4	Pengujian supply sensor	36
Gambar 4.5	Pengujian accelerometer terhadap perubahan posisi	36
Gambar 4.6	Grafik pengukuran sensor accelerometer pada sumbu X	38
Gambar 4.7	Grafik pengukuran sensor accelerometer pada sumbu Y	39
Gambar 4.8	Perancangan Alat	39
Gambar 4.9	Perubahan Sudut Terhadap Waktu	40
Gambar 4.10	Grafik Perubahan Sudut Terhadap Waktu	41
Gambar 4.11	Grafik Perubahan Sudut Terhadap Waktu	42
Gambar 4.12	Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu	43
Gambar 4.13	Grafik Perubahan Sudut Terhadap Waktu	44
Gambar 4.14	Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu	45
Gambar 4.15	Grafik Perubahan Sudut Terhadap Waktu	46
Gambar 4.16	Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Momen inersia untuk beberapa benda tegar	10
Tabel 3.1	Dimensi dan nilai konstanta pegas	21
Tabel 3.2	Keterangan Benda Pejal yang Digunakan	21
Tabel 3.3	Deskripsi Tingkat Sensitivitas Accelerometer MMA7260Q	24
Tabel 3.4	Deskripsi Pin Accelerometer MMA 7260Q	24
Tabel 4.1	Pengujian Nilai Regulator	34
Tabel 4.2	Hasil pengukuran sensor accelerometer terhadap sumbu X	37
Tabel 4.3	Hasil pengukuran sensor accelerometer terhadap sumbu Y	38
Tabel 4.4	Hasil uji nilai momen inersia benda pejal berbentuk persegi	41
Tabel 4.5	Hasil uji nilai momen inersia benda pejal berbentuk persegi.....	43
Tabel 4.6	Hasil uji nilai momen inersia pada benda pejal berbentuk lingkaran..	45
Tabel 4.7	Hasil uji nilai momen inersia pada benda pejal berbentuk lingkaran..	47

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Momen inersia pada dasarnya dapat dihitung apabila memiliki massa dan bentuk yang beraturan dimana semakin besar momen inersia suatu benda semakin sulit membuat benda itu berputar atau berotasi, sebaliknya benda yang berputar juga sulit dihentikan jika momen inersianya besar. Besaran pada gerak rotasi yang analog dengan massa pada gerak translasi dikenal sebagai momen inersia (I). Perbedaan nilai antara massa dan momen inersia adalah besar massa suatu benda hanya bergantung pada kandungan zat dalam benda tersebut tetapi besar momen inersia tidak hanya tergantung pada jumlah zat tetapi juga dipengaruhi oleh bagaimana zat tersebut terdistribusi dan dipengaruhi juga oleh sumbu porosnya. Dengan metode osilasi harmonik momen inersia benda yang memiliki bentuk beraturan dapat dihitung, dari osilasi yang dihasilkan dengan membuat sistem pengukuran yang dapat mengukur benda yang bentuknya tidak beraturan dan sulit untuk diukur dilihat dari sisi geometrinya. Pada penelitian ini mikroprosesor digunakan untuk melakukan akuisisi data rotasi dan translasi momen inersia benda pejal dengan memanfaatkan sensor accelerometer. *Accelerometer* dapat mengukur percepatan dinamik dan statik. Pengukuran percepatan dynamic adalah pengukuran percepatan pada obyek bergerak, sedangkan percepatan statik adalah pengukuran percepatan terhadap gravitasi bumi. Mikrokontroler diterapkan sebagai pusat pengolahan data untuk mendeteksi besaran sudut rotasi dan translasi. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki fitur-fitur yang cukup lengkap dan harga yang relatif terjangkau. Selain itu pemrograman mikrokontroler ini lebih fleksibel, yaitu dapat menggunakan bahasa tingkat rendah (*Assembly*) maupun bahasa tingkat tinggi (Bahasa Basic). Dengan fitur yang lengkap dan bahasa pemrograman yang mudah maka waktu implementasi akan lebih singkat dan penelusuran kesalahan akan menjadi lebih mudah, sehingga pengembangan lebih lanjut akan sangat mungkin dilakukan. Mikrokontroler ATmega8 digunakan sebagai pengolah data untuk mendeteksi besaran sudut dan posisi. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki fitur-fitur yang cukup lengkap dan harga yang relatif terjangkau. Selain ukuran yang kecil untuk pemrograman, tipe ini cukup fleksibel, yaitu dapat menggunakan bahasa tingkat rendah (*Assembly*) maupun bahasa tingkat tinggi (Bahasa Basic).

Dengan fitur yang lengkap dan bahasa pemrograman yang mudah maka waktu implementasi akan lebih singkat dan penelusuran kesalahan akan menjadi lebih mudah, sehingga pengembangan lebih lanjut akan sangat mungkin dilakukan.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan metode osilasi harmonik dapat dihitung nilai momen inersia benda yang bentuknya beraturan dan dengan cara metode osilasi harmonik dapat digunakan juga untuk mengukur momen inersia benda yang bentuknya tidak beraturan.

1.3 Tujuan Penelitian

- Membuat alat sistem pengukuran momen inersia benda pejal
- Membuat piranti elektronika yang mampu mendeteksi posisi dan sudut pada alat dan mengirimnya ke komputer.
- Dapat diketahuinya hubungan pendekatan antara nilai osilasi secara teori dan secara eksperimen.

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini masalah dibatasi pada pembuatan mekanik, perancangan rangkaian mikrokontroller dan pemrogramannya serta pengolahan data hasil percobaan berdasarkan persamaan-persamaan fisika tentang gerak harmonik.

1.5 Metode

Metode yang dilakukan untuk membantu dalam pelaksanaan dan penganalisaan alat ini:

1. Studi Literatur

Penulis menggunakan metode ini untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan pengukuran yang penulis buat. Studi literatur ini mengacu pada buku-buku pegangan, *datasheet* dari berbagai macam komponen yang di pergunakan, data yang didapat dari internet, dan makalah-makalah yang membahas tentang proyek yang penulis buat.

2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Berisi tentang proses perencanaan alat berupa sistem pengukuran berbasis mikrokontroler dan mekanik. Pada bagian mekanik akan membahas desain dan cara kerjanya. Pada bagian

sistem pengukuran akan membahas masalah penggunaan sensor, pembuatan *minimum system microcontroller* serta pengolahan data.

3. Uji Sistem dan Pengambilan Data

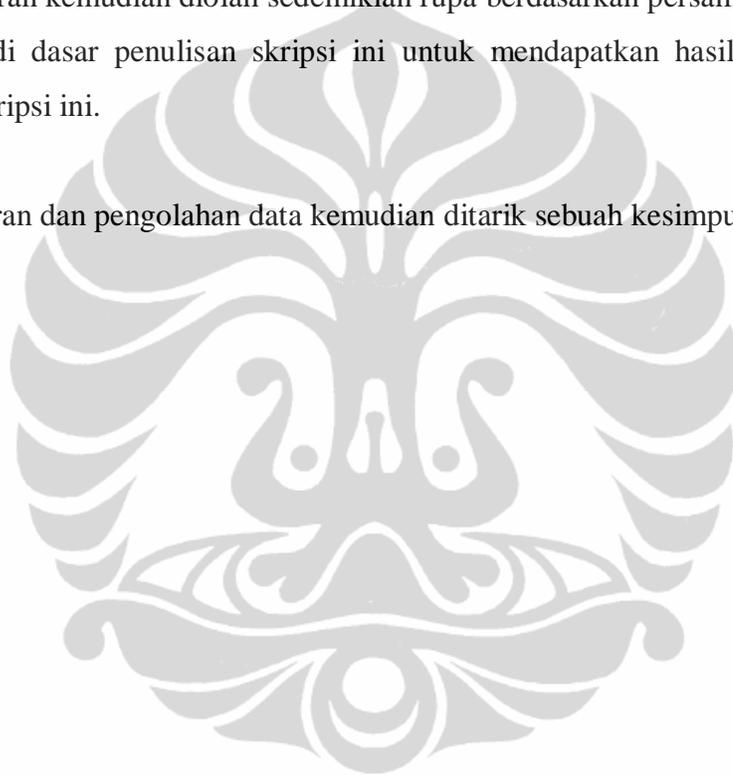
Uji sistem ini berkaitan dengan pengujian sistem yang telah dibuat apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan. Selanjutnya dilakukan pengambilan data-data yang dibutuhkan untuk diolah lebih lanjut guna memperoleh hasil perhitungan.

4. Analisa Data

Data hasil pengukuran kemudian diolah sedemikian rupa berdasarkan persamaan-persamaan fisika yang menjadi dasar penulisan skripsi ini untuk mendapatkan hasil yang menjadi tujuan penulisan skripsi ini.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data kemudian ditarik sebuah kesimpulan



BAB 2

TEORI DASAR

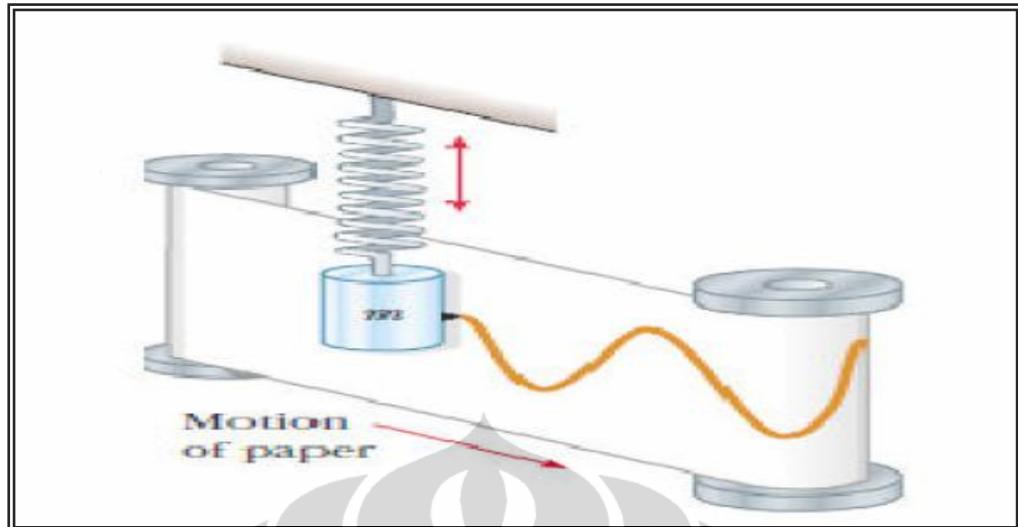
2.1 Gerak Harmonik

Jika sebuah benda diberikan gaya yang menyebabkan benda tersebut bergeser atau menyimpang pada jarak tertentu dari titik awal maka besar simpangannya akan sebanding dengan gaya yang diberikan. Jika kemudian gaya ini dihilangkan dan benda tersebut kembali ke posisi semula (titik kesetimbangan) dan kemudian bergerak ke arah berlawanan dan kembali lagi ke titik kesetimbangan dan seterusnya maka akan terjadi gerakan periodik yang biasa disebut juga gerakan harmonik, osilasi atau getaran. Dengan kata lain setiap gerak yang terjadi secara berulang melalui titik kesetimbangan dalam lintasan yang sama disebut gerak periodik dan karena gerakan ini terjadi secara teratur dalam interval waktu tertentu maka disebut osilasi³.

Beberapa besaran pada gerak harmonik ini adalah Amplitudo (A) yaitu simpangan terbesar yang dihitung dari titik kesetimbangan dari sebuah gerak harmonik. Periode (T) yaitu waktu yang digunakan untuk satu kali getaran (disebut satu getaran jika benda bergerak dari titik di mana benda tersebut mulai bergerak dan kembali lagi ke titik tersebut), satuan periode adalah sekon atau detik dan Frekuensi (f) adalah banyaknya getaran yang terjadi dalam satu sekon. Satuan frekuensi adalah 1/sekon atau s⁻¹. 1/sekon atau s⁻¹ disebut juga Hertz. Sebuah sistem pegas yang berosilasi akan membentuk grafik seperti pada gambar di atas. Jika ujung pena yang membentuk grafik dimisalkan sebagai sebuah partikel yang bergerak maka posisi partikel tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$y = A \sin(\omega t + \Phi) \quad (2.1)$$

Dimana y adalah posisi dari partikel, A adalah amplitudo yang menunjukkan pergeseran maksimum dari partikel dan ω adalah frekuensi angular dengan satuan radian per detik.



Gambar 2.1 Ilustrasi Gerak Harmonis [6]

Persamaan y di atas akan berulang secara periodik dengan interval ωt atau $\omega t + 2\pi$ rad. Periode T dari gerakan tersebut adalah ketika partikel bergerak dalam satu siklus penuh. Sehingga dapat dikatakan bahwa partikel tersebut telah membuat satu osilasi. Dari sini dapat disimpulkan bahwa nilai x pada waktu t sama dengan nilai x pada waktu $t + T$, sehingga³ :

$$\omega t + 2\pi = \omega (t + T) \quad (2.2)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.3)$$

Sedangkan frekuensinya

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.4)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.5)$$

dimana ω adalah frekuensi sudut

2.2 Gerak Harmonik Sederhana pada Pegas

Gerak Harmonik Sederhana (GHS) adalah gerak periodik dengan lintasan yang ditempuh selalu sama (tetap). Gerak Harmonik Sederhana mempunyai persamaan gerak dalam bentuk sinusoidal dan digunakan untuk menganalisis suatu

gerak periodik tertentu. Gerak periodik adalah gerak berulang atau berosilasi melalui titik setimbang dalam interval waktu tetap. Gerak Harmonik Sederhana dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu :

- Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Linier, misalnya penghisap dalam silinder gas, gerak osilasi air raksa / air dalam pipa U, gerak horizontal / vertikal dari pegas, dan sebagainya.
- Gerak Harmonik Sederhana (GHS) Angular, misalnya gerak bandul/ bandul fisis, osilasi ayunan torsi, dan sebagainya.

2.2.1 Beberapa Contoh Gerak Harmonik

- Gerak harmonik pada bandul: Sebuah bandul adalah massa (m) yang digantungkan pada salah satu ujung tali dengan panjang l dan membuat simpangan dengan sudut kecil. Gaya yang menyebabkan bandul ke posisi kesetimbangan dinamakan gaya pemulih yaitu dan panjang busur adalah Kesetimbangan gayanya. Bila amplitudo getaran tidak kecil namun tidak harmonik sederhana sehingga periode mengalami ketergantungan pada amplitudo dan dinyatakan dalam amplitudo sudut
- Gerak harmonik pada pegas: Sistem pegas adalah sebuah pegas dengan konstanta pegas (k) dan diberi massa pada ujungnya dan diberi simpangan sehingga membentuk gerak harmonik. Gaya yang berpengaruh pada sistem pegas adalah gaya Hooke.

Salah satu contoh gerak harmonik sederhana adalah gerakan pegas dalam posisi horizontal yang diujungnya diikat beban m dimana gaya gesek dengan udara diabaikan. Ketika pegas diberikan gaya dengan ditarik maka pada pegas akan timbul gaya pemulih (*restoring force*) F_s yang besarnya berbanding lurus dengan simpangan y dan berlawanan arah dengan arah gaya pada pegas. Jika dituliskan dalam bentuk matematis :

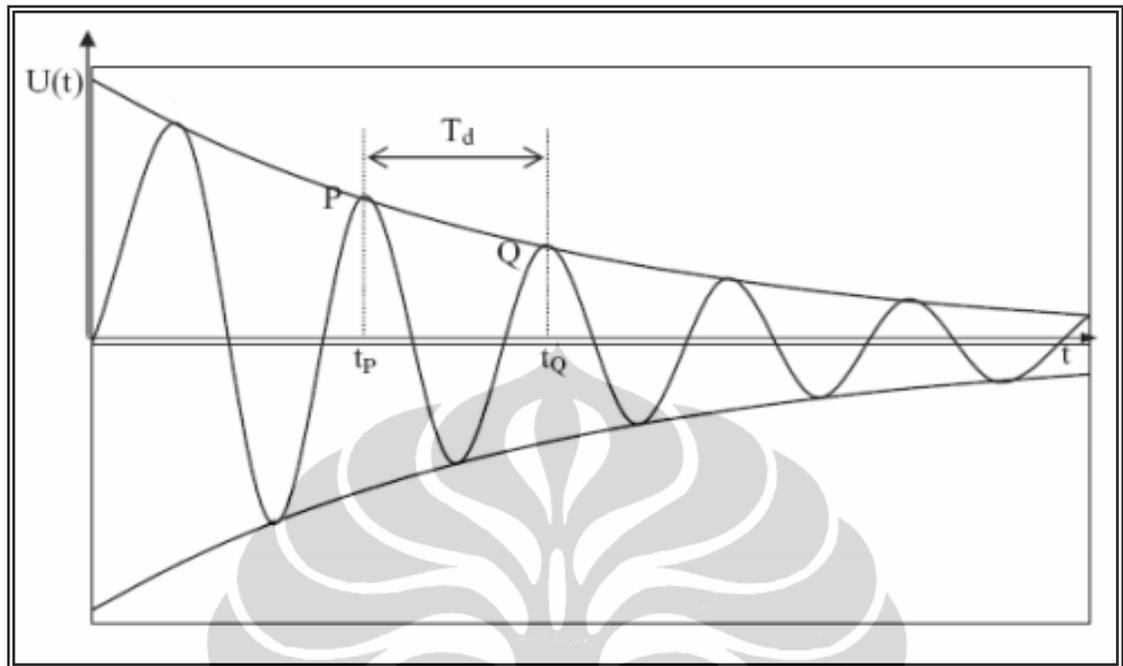
$$F = - k y \quad (2.6)$$

Persamaan di atas sebagai persamaan pegas dan merupakan hukum Hooke dimana k adalah konstanta pegas dan y adalah simpangan. Tanda negatif menunjukkan bahwa gaya pemulih F_s mempunyai arah berlawanan dengan simpangan y . Ketika pegas di tarik ke bawah maka y bernilai positif, tetapi arah F_s ke kanan (berlawanan arah dengan simpangan y) sehingga gaya F_s selalu bekeja berlawanan arah dengan arah simpangan y . Konstanta pegas k berkaitan dengan elastisitas sebuah pegas. Semakin besar konstanta pegas, semakin besar gaya yang diperlukan untuk menekan atau meregangkan pegas. Semakin kecil konstanta pegas, semakin kecil gaya yang diperlukan untuk meregangkan pegas.

2.3 Gerak Harmonik Teredam

Gerak harmonik teredam terjadi ketika energi mekanik yang ada pada gerak harmonik lama kelamaan menghilang sehingga akhirnya gerakan tersebut berhenti. Hal ini terjadi karena adanya gaya hambat (*retarding force*) yang terjadi pada sistem yang bergerak. Gaya ini bisa berupa gaya gesek dengan udara atau dengan medium lain. Gaya hambat ini arahnya berlawanan dengan arah gerakan benda³.

Secara umum gerak osilasi sebenarnya teredam. Energi mekanik terdisipasi (berkurang) karena adanya gaya gesek. Maka jika dibiarkan, osilasi akan berhenti, yang artinya gaya harmoniknya teredam. Gaya gesekan biasanya dinyatakan sebagai arah berlawanan dan b adalah konstanta menyatakan besarnya redaman. Sebuah struktur bergetar dengan redaman kurang dari redaman kritis akan melakukan gerak getar.



Gambar 2.2 Gerak Harmonis Teredam [3]

2.4 Momen Gaya

Pada gerak rotasi, sebuah benda hanya dapat berubah gerakannya dari diam menjadi berputar jika pada benda itu diterapkan sebuah gaya. Perubahan gerak pada gerak rotasi berupa perubahan kecepatan sudut. Perubahan gerak rotasi terjadi karena adanya gaya pemutar yang disebut dengan momen gaya (torsi). Besar torsi didefinisikan sebagai hasil gaya dengan gaya dengan lengan gaya. Jika r_{\perp} adalah lengan gaya dan tanda tegak lurus (\perp) mengingatkan bahwa kita harus menggunakan jarak dari sumbu rotasi yang tegak lurus terhadap garis kerja gaya. Maka secara umum torsi dapat dituliskan :

$$\tau = r F \text{ atau } \tau = r_{\perp} F \quad (2.8)$$

$F_{\perp} = F \sin \theta$ dan $r_{\perp} = r \sin \theta$ sehingga :

$$\tau = r F \sin \theta \quad (2.9)$$

dimana : τ = torsi

r = jarak

F = gaya (Newton)

Θ = sudut antara arah F dan r

2.5 Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Momen inersia ini berperan dalam dinamika rotasi seperti massa dalam dinamika dasar, dan menentukan hubungan antara momentum sudut dan kecepatan sudut, momen gaya dan percepatan sudut, dan beberapa besaran lain. Pada saat mempelajari hukum Newton telah diketahui bahwa ukuran kelembaman benda pada gerak translasi adalah massa atau inersia linear. Seperti halnya pada planet-planet yang terus berputar pada sumbunya tanpa henti akan selalu mempertahankan keadaan untuk terus berotasi. Dengan demikian pada gerak rotasi dikenal istilah kelembaman. Dalam gerak rotasi, “massa” benda tegar dikenal dengan istilah Momen Inersia alias MI. Momen Inersia dalam Gerak Rotasi mirip dengan massa dalam gerak lurus. Jika massa dalam gerak lurus menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan linear (kecepatan linear = kecepatan gerak benda pada lintasan lurus), maka Momen Inersia dalam gerak rotasi menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan sudut (kecepatan sudut = kecepatan gerak benda ketika melakukan gerak rotasi. Disebut sudut karena dalam gerak rotasi, benda bergerak mengitari sudut).

Makin besar momen inersia suatu benda, semakin sulit membuat benda itu berputar atau berotasi. sebaliknya, benda yang berputar juga sulit dihentikan jika momen inersianya besar. Besaran pada gerak rotasi yang analog dengan massa pada gerak translasi dikenal sebagai momen inersia (I). Perbedaan nilai antara massa dan momen inersia adalah besar massa suatu benda hanya bergantung pada kandungan zat

dalam benda tersebut, tetapi besar momen inersia tidak hanya tergantung pada jumlah zat tetapi juga dipengaruhi oleh bagaimana zat tersebut terdistribusi pada benda tersebut.

Momen inersia suatu benda yang berotasi dapat dituliskan sebagai berikut ³:

$$I = m r^2 \quad (2.10)$$

dimana :

I = momen inersia benda (kg m²)

m = massa benda (kg)

r = jarak ke sumbu rotasi (m)

Momen inersia untuk suatu partikel atau elemen massa (dm) dapat ditentukan dengan cara yang sama. Elemen momen inersia (dI) dapat ditulis sebagai berikut:

$$dI = r^2 dm \quad (2.11)$$

Jika sumbu putar benda tegar berjarak d dari pusat massa maka momen inersia dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = I_{pm} + md^2 \quad (2.12)$$

dengan I_{pm} = momen inersia jika sumbu putar melalui pusat massa, d = jarak sumbu putar ke pusat massa benda.

Tabel 2.1 Momen inersia untuk beberapa benda tegar [3]

Benda	Momen Inersia	Keterangan
Batang	$I_{pm} = \frac{1}{12} ml^2$	l = panjang batang
Segitiga sama sisi	$I_{pm} = \frac{1}{12} ma^2$	a = panjang sisi segitiga

Segiempat	$I_{pm} = \frac{1}{12} m(a^2+b^2)$	a = panjang sisi segiempat
Segienam beraturan	$I_{pm} = \frac{5}{12} ml^2$	a = panjang sisi segienam
Silinder pejal	$I_{pm} = \frac{1}{2} mR^2$	R = jari-jari silinder
Bola tipis	$I_{pm} = \frac{2}{3} mR^2$	R = jari-jari bola
Bola pejal	$I_{pm} = \frac{2}{5} mR^2$	R = jari-jari bola

2.5.1 Momen Inersia Pada Benda Pejal Berbentuk Lingkaran

$$dm = \sigma dA = \sigma 2 \pi r dr \quad (2.13)$$

$$I = \int r^2 dm = \sigma 2 \pi \int_0^R r^3 dr \quad (2.14)$$

$$I = 2 \pi \sigma \frac{1}{2} r^4 = 2 \pi (m/\pi R^2) \frac{1}{4} R^4 \quad (2.15)$$

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad (2.16)$$

2.5.2 Momen Inersia Pada Benda Bejal Berbentuk Persegi

$$dm = \sigma dA = \sigma b dx \quad (2.17)$$

$$I = \int dm x^2 = \int_{-\frac{1}{2}a}^{\frac{1}{2}a} \sigma x^2 dx \quad (2.18)$$

$$I = 2 \sigma b \int_0^{\frac{1}{2}a} x^2 dx \quad (2.28)$$

$$I = 2 \sigma b \frac{1}{3} x^3 = \frac{2}{3} \frac{m}{ab} b \frac{1}{2} a^3 \quad (2.19)$$

$$I = \frac{1}{12} m a^2 \quad (2.20)$$

Apabila sumbu melalui pusat massa tegak lurus pada bidang maka :

$$I_z = I_x + I_y \quad (2.21)$$

$$I_z = \frac{1}{12} m a^2 + \frac{1}{12} m b^2$$

$$I_z = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$$

$$I_x = \frac{1}{12} m (a^2 + c^2)$$

$$I_y = \frac{1}{12} m (b^2 + c^2)$$

2.5.3 Mencari nilai momen inersia pada sudut θ kecil :

Jika θ kecil maka besar torsi

$$\sum \tau = l \sum F = -kl^2 \theta - bl^2 \frac{d\theta}{dt} = I \frac{d^2 \theta}{dt^2} \quad (2.22)$$

Dengan b konstanta redaman, k konstanta pegas gabungan, dan I lengan torsi, maka :

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + bl^2 \frac{d\theta}{dt} + kl^2 \theta = 0 \quad (2.23)$$

kedua ruas dibagi dengan I , maka :

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{bl^2}{I} \frac{d\theta}{dt} + \frac{kl^2}{I} \theta = 0 \quad (2.24)$$

Maka solusi dari persamaan differensial orde dua nya yaitu $Ae^{\beta t}$ dengan ζ (bilangan kompleks) = $f + i\omega$, sehingga

$$b^2 + \frac{bl^2}{I} b + \frac{kl^2}{I} = 0 \quad (2.25)$$

Dengan menggunakan rumus abc, maka

$$b = -\frac{bl^2}{2I} \pm i \sqrt{\frac{kl^2}{I} - \frac{b^2 l^4}{4I^2}} \quad (2.26)$$

jadi diperoleh solusi real

$$\theta = Ae^{-\frac{bl^2}{2I}t} \cos(\omega t) \quad (2.27)$$

dengan

$$\omega = \sqrt{\frac{kl^2}{I} - \frac{b^2l^4}{4I^2}} \quad (2.28)$$

untuk persegi $l = \frac{1}{2} d \sqrt{2}$, lingkaran $l = r$ dengan $d =$ panjang sisi persegi, $r =$ jari-jari piringan

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{kl^2}{I} - \frac{b^2l^4}{4I^2}} \quad (2.29)$$

untuk mencari faktor redaman

$$\theta = Ae^{-\frac{bl^2}{2I}t} \quad (2.30)$$

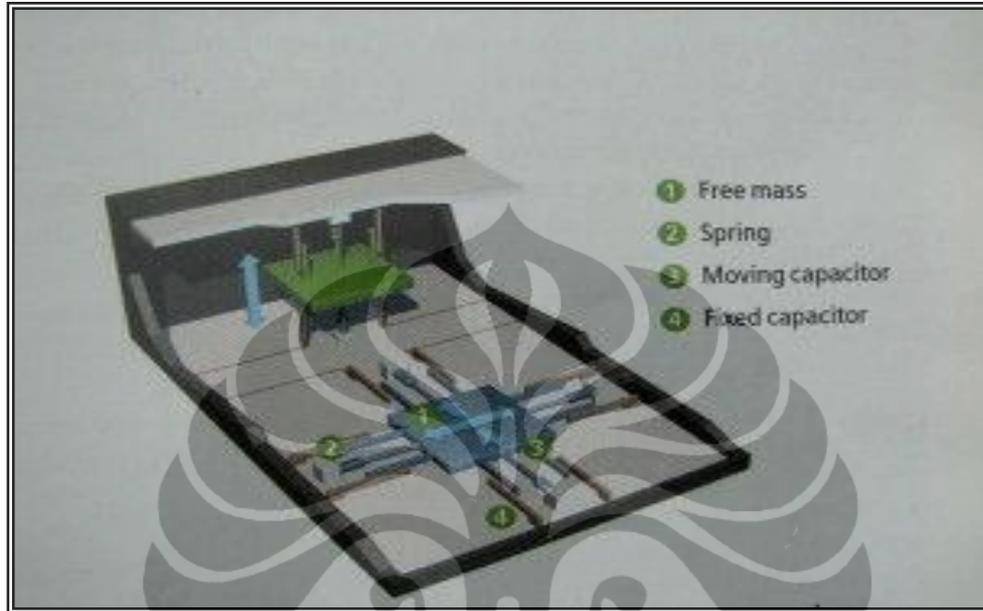
$$\ln \theta = -\frac{bl^2}{2I}t + \ln A \quad (2.31)$$

maka $-\frac{bl^2}{2I}$ merupakan gradient dari $\ln \theta$ dengan t .

2.6 Sensor Accelerometer

Sensor *accelerometer* adalah piranti yang dapat mengukur perubahan percepatan yang terjadi, juga bisa digunakan untuk mendeteksi dan mengukur getaran. *Accelerometer* juga dapat membandingkan percepatan yang terjadi terhadap percepatan gravitasi. *Accelerometer* mampu mendeteksi gerakan walau gerakan tersebut terjadi sangat sedikit, mengukur kemiringan sampai mendeteksi terjadinya getaran terkecil dari alat musik. Di dalam struktur sensor accelerometer terdapat rangkaian yang terintegrasi yang dapat mengakibatkan perubahan muatan listrik jika sensor digerakan. Rangkaian ini bisa dibangun dengan prinsip perubahan resistansi

bahan, perubahan kapasitansi bahan atau perubahan suhu akibat terjadinya percepatan tergantung jenisnya dan pabrikan masing-masing produk.



Gambar 2.3 Struktur Multi Axis *Capasitive Accelerometer* [10]

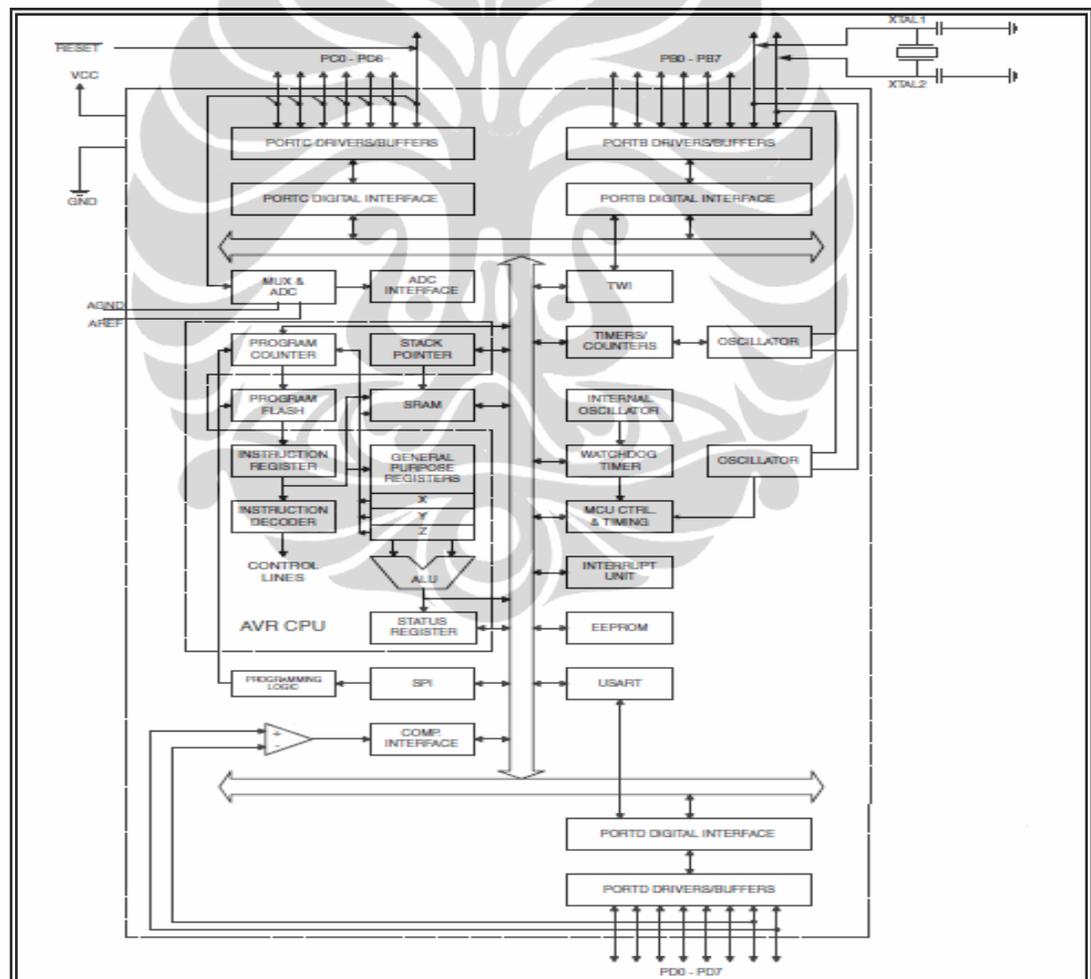
Output dari sensor *accelerometer* ada yang berupa tegangan analog ada pula yang berupa data digital. Besarnya percepatan yang dapat diukur juga bervariasi tergantung dari tipe dan pabrikan pembuatnya. Beberapa hal yang biasanya dijadikan pertimbangan dalam memilih sensor *accelerometer* adalah *dynamic range* yaitu batas pengukuran dari *accelerometer* tersebut. Sensitivitas yaitu respon perubahan output terhadap perubahan input. Sensitivitas akan menunjukkan kemampuan *accelerometer* mendeteksi perubahan gerakan atau percepatan. Hal lainnya adalah sumbu ukur (*sensitive axis*) yaitu berapa banyak sumbu atau bidang pengukuran yang dapat dideteksi perubahannya.

Accelerometer dengan 2 axis hanya dapat mengukur perubahan pada sumbu x dan y sementara *accelerometer* dengan 3 axis dapat mengukur sumbu x, y dan z. Massa dari *accelerometer* juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis

accelerometer yang digunakan. Percepatan di ukur dalam unit satuan g , dimana notasi g menunjukkan besarnya percepatan untuk gravitasi di bumi yaitu $9,81 \text{ m/s}^2$.

2.7 Mikrokontroler ATmega8

ATmega8 adalah mikrokontroler 8 bit CMOS daya rendah berbasis arsitektur AVR buatan Atmel. ATmega8 mampu mengeksekusi 1MIPS sehingga memungkinkan penggunaannya mengoptimalkan konsumsi daya dan kecepatan proses instruksi. AVR memiliki banyak instruksi set dan 32 general purpose register.



Gambar 2.4 Blok Diagram ATmega8 [10]

Semua register terhubung langsung dengan Arithmetic Logic Unit (ALU) sehingga memungkinkan dua buah register yang berlainan di akses dengan menggunakan satu instruksi yang di eksekusi dengan satu clock pulsa. ATmega8 menyediakan beberapa fasilitas diantaranya 8Kbyte In-System Programmable Flash dengan kemampuan *read while write*, 512 byte EEPROM, 1 Kbyte SRAM, 23 line general purpose I/O, 32 general purpose register, tiga buah lexible timer/counter dengan compare modes, internal dan eksternal interup, serial programmable USART, 6 chanel ADC dengan akurasi 10 bit dan programmable watchdog timer dengan internal oscillator. Mikrokontroller ini dibuat dengan menggunakan tehnologi high density non-volatile memory. Flash program memory dapat di program secara In-System melalui SPI serial interface.

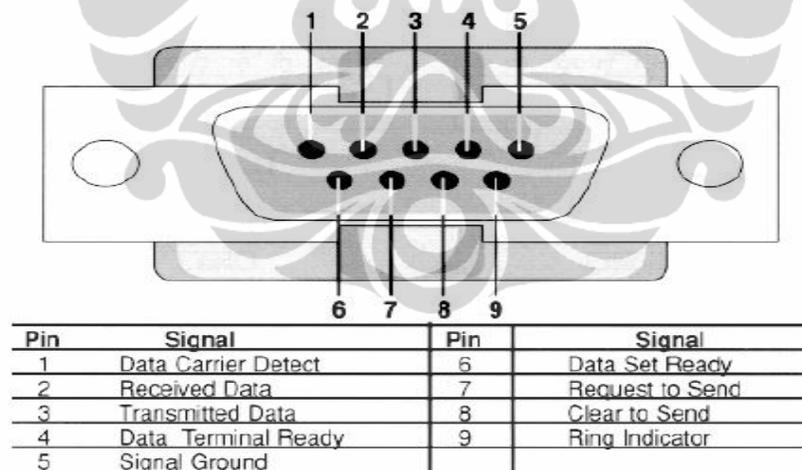
2.8 Komunikasi Serial

Dalam komunikasi data serial data dikirim dalam bentuk pulsa listrik kontinyu yang disebut bit. Pengiriman bit data ini dilakukan bit per bit melalui suatu kanal komunikasi. Ada tiga metode yang di jumpai pada komunikasi data serial yaitu *simplex*, *half duplex* dan *full duplex*. Pada transmisi data *simplex*, data dikirimkan hanya dalam satu arah saja. Pada *half duplex* data dapat dikirim dalam dua arah secara bergantian. Sedangkan pada *full duplex* data dapat dikirim dalam dua arah secara bersamaan.

Dalam komunikasi data serial ada dua metode dasar yang digunakan yaitu komunikasi serial sinkron dan komunikasi serial asinkron. Komunikasi serial sinkron adalah komunikasi dimana hanya ada satu pihak yaitu pengirim atau penerima yang menghasilkan clock dan data mengirimkan clock tersebut bersama-sama dengan data. Sedangkan pada komunikasi serial asinkron antara pengirim dan penerima keduanya menghasilkan clock dan hanya data yang ditransmisikan. Agar data yang dikirim sama dengan data yang diterima maka kedua frekuensi clock harus sama dan harus terdapat sinkronisasi. Setelah ada sinkronisasi pengirim akan mengirimkan datanya sesuai dengan frekuensi clock penerima.

Perangkat komunikasi serial dibagi menjadi dua bagian yaitu *Data Communication Equipment (DCE)* dan *Data Terminal Equipment (DTE)*. Kecepatan transfer data harus sama antara pengirim dan penerima karena jika tidak sama akan terjadi over flow. Kecepatan transmisi transfer data sering disebut *baudrate*. Port komunikasi serial menggunakan level RS-232, RS (*Recommended Standard*) dikeluarkan oleh EIA (*Electronics Industry Association*) dengan ketentuan level tegangan sebagai berikut :

1. “*Space*” (logika 0) ialah tegangan antara + 3 hingga +25 V.
2. “*Mark*” (logika 1) ialah tegangan antara –3 hingga –25 V.
3. Daerah tegangan antara -3 Volt sampai +3 Volt adalah invalid level, yaitu daerah tegangan yang tidak memiliki level logika pasti sehingga harus dihindari. Demikian juga level tegangan dibawah -25 Volt dan diatas +25 Volt juga harus dihindari karena bisa merusak line driver pada saluran RS232
4. Arus hubungan singkat tidak boleh melebihi 500mA.

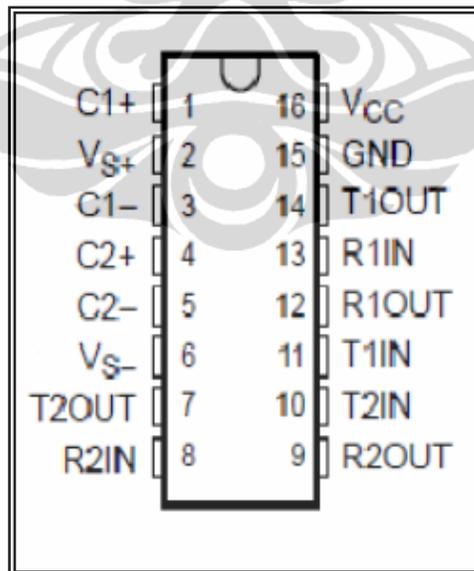


Gambar 2.5 Konfigurasi Pin konektor DB9 [9]

Untuk melakukan komunikasi serial antara mikrokontroller dengan PC dibutuhkan port atau konektor sebagai saluran data. Port yang digunakan untuk komunikasi ini adalah DB9. (Gambar 2.8) memperlihatkan konfigurasi pin dari

konektor DB9. Keterangan mengenai fungsi saluran RS232 pada konektor DB-9 adalah sebagai berikut :

1. *Received Line Signal Detect/Data Carrier Detect*, dengan saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa pada terminal masukan ada data masuk.
2. *Receive Data*, digunakan DTE menerima data dari DCE.
3. *Transmit Data*, digunakan DTE mengirimkan data ke DCE.
4. *Data Terminal Ready*, pada saluran ini DTE memberitahukan kesiapan terminalnya.
5. *Signal Ground*, saluran ground
6. *DCE Ready / Data Set Ready*, sinyal aktif pada saluran ini menunjukkan bahwa DCE sudah siap.
7. *Request to Send*, dengan saluran ini DCE diminta mengirim data oleh DTE.
8. *Clear to Send*, dengan saluran ini DCE memberitahukan bahwa DTE boleh mulai mengirim data.
9. *Ring Indicator*, pada saluran ini DCE memberitahukan ke DTE bahwa sebuah stasiun menghendaki hubungannya



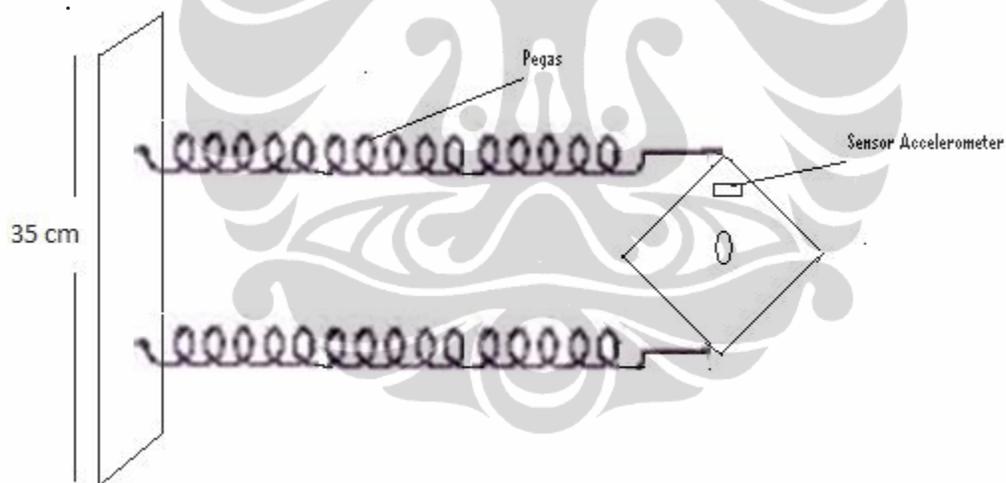
Gambar 2.6 Konfigurasi Pin IC MAX232 [9]

BAB 3

PERANCANGAN ALAT

Pada eksperimen ini diuraikan tentang pembuatan alat eksperimen sederhana untuk penentuan momen inersia benda pejal. Alat yang dibuat, kemudian diujicobakan untuk penentuan momen inersia benda pejal. Rancangan alat eksperimen sederhana ini bekerja ketika alat berotasi yang dipengaruhi oleh gerak translasi benda dimana sebagai pembandingnya diperoleh dari perhitungan matematis benda yang digunakan.

3.1 Spesifikasi Perancangan Alat



Gambar 3.1 Perancangan Alat

Untuk mendapatkan data hasil pengukuran maka harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya pegas dan beban yang digunakan seperti ditunjukkan pada (Gambar 3.1).



Gambar 3.2 Blok Diagram

Terdapat dua buah pegas yang salah satu ujungnya dijepit pada benda dan ujung yang lainnya dijepit pada tiang penyangga yang berdiri secara vertikal (gambar 3.1). Pada benda diletakkan sebuah sensor *accelerometer* yang berfungsi untuk mengukur percepatan, benda diberi simpangan awal sehingga pegas yang satu mengalami kerenggangan dan pegas yang lain mengalami ketegangan. Setelah benda diberi simpangan awal lalu benda dilepaskan sehingga benda akan bergerak searah dengan arah pegas dimana percepatan pada benda akan dihitung oleh sensor accelerometer (gambar 3.2). Sensor accelerometer akan menghasilkan nilai percepatan yang terjadi pada benda dalam bentuk tegangan analog yang akan dikonversi melalui ADC pada mikrokontroler, data yang dihasilkan dalam bentuk bilangan desimal akan dikirim ke komputer melalui komunikasi serial dan ditampilkan dalam bentuk gambar pada labview.

3.1.1 Mencari Dimensi dan Nilai Konstanta Pegas

Untuk menentukan nilai konstanta dari pegas kita dapat melakukannya dengan mencari simpangan pada pegas tersebut. Simpangan dapat kita dapatkan dengan memberikan beban pada pegas tersebut, lalu kita ukur panjangnya kemudian dikurangi dengan panjang mula-mula pegas pada keadaan tanpa beban. Hal tersebut sesuai dengan hukum Hooke $F = k\Delta y$ dimana $\Delta y = L_t - L_0$ dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Dimensi dan nilai konstanta pegas

No	Konstanta	Tebal	Lebar diameter tengah
1.	71.72 N/m	1.2 mm	2.5 cm
2.	47.54 N/m	1 mm	2.5 cm

3.1.2 Benda Pejal

Beban yang digunakan adalah sebuah benda pejal yang terbuat dari besi dengan berat yang disesuaikan dengan konstanta pegas yang digunakan, dapat dilihat pada table 3.2

Tabel 3.2 Keterangan benda pejal yang digunakan

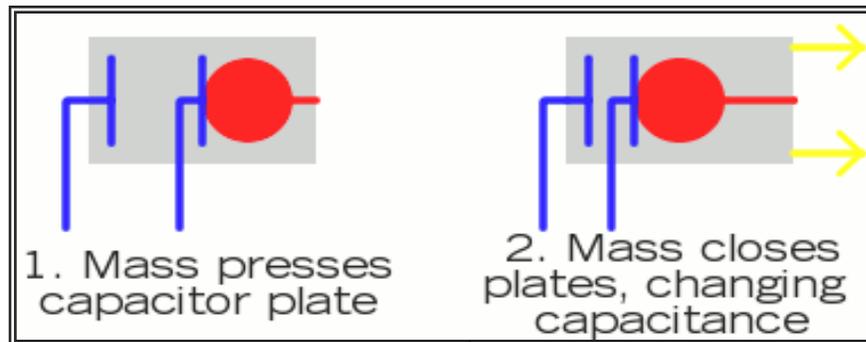
Benda Pejal	Berat	Ukuran	Tebal	Lebar poros as tengah
Persegi	983.8 gram	12.5 cm x 12.5 cm	0.8 mm	1 cm
Lingkar	758.4 gram	12.5 cm (diameter)	0.8 mm	1 cm

3.2 Sensor Accelerometer

Gerakan yang bergerak secara relatif dan berulang sendiri dalam interval waktu tertentu dikenal sebagai getaran (*vibration*). Pada umumnya, getaran merupakan bentuk energi sisa dan pada berbagai kasus tidak diinginkan. Getaran umumnya terjadi karena adanya efek-efek dinamis dari toleransi pembuatan, perenggangan, kontak-kontak berputar dan bergesek antara bagian serta gaya-gaya yang menimbulkan ketidaksetimbangan pada bagian yang turun naik. Secara umum alat penangkap untuk pengukur getaran adalah *accelerometer piezoelectric*, karena

alat ini mempunyai daerah frekuensi dan daerah dinamik yang sangat lebar serta linier. Sensor *accelerometer* adalah perangkat yang mampu mengukur sebuah kekuatan akselerasi. Kekuatan ini mungkin statis (diam) atau bisa juga bersifat dinamis karena gerakan atau getaran dari sebuah alat akselerometer. Kegunaan dari akselerometer adalah untuk mengukur sejumlah akselerasi statis dari gravitasi, kita dapat menemukan kemiringan sudut sebuah perangkat terhadap bumi. Dengan merasakan jumlah akselerasi dinamis, kita dapat menganalisa bagaimana sebuah perangkat berpindah atau bergerak. Beberapa akselerometer menggunakan efek piezoelektrik – berisi struktur mikroskopik yang mengukur tekanan akselerasi tenaga sehingga tegangan digeneralisasi. *Piezoelektrik* adalah suatu kemampuan yang dimiliki sebagian kristal maupun bahan-bahan tertentu lainnya yang dapat menghasilkan suatu arus listrik jika mendapatkan perlakuan tekanan.

Cara lain adalah dengan adanya perubahan kapasitas. Jika sebuah tekanan akselerasi pada sebuah struktur berubah, kapasitansinya juga berubah. Perubahan ini mengakibatkan perubahan kapasitas menjadi tegangan, selain itu masih banyak lagi metode yang dapat digunakan. Dengan terjadinya perubahan akselerasi yang dialami chip maka akan berakibat pada perubahan kapasitansi didalam chip sehingga memberikan beda tegangan keluaran analog yang bervariasi dimana proses ini terjadi pada setiap axis. Prinsip kerja dari transduser ini berdasarkan hukum fisika bahwa apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor, maka akan timbul suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. Accelerometer yang diletakan di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikal-nya, untuk percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horizontal maka accelerometer akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horizontal. Tipe dari accelerometer bermacam-macam berdasarkan perubahan suatu bahan dari sensor tersebut seperti perubahan resistansi bahan, perubahan kapasitansi bahan atau perubahan suhu akibat terjadinya percepatan tergantung jenisnya dan pabrikan masing-masing produk.



Gambar 3.3 Capacitive accelerometer [8]

Sensor *accelerometer* dapat mengukur percepatan dari 1,5 g sampai 6 g. Sensor *accelerometer* MMA7260 dengan konfigurasi pin nya dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut

Ketika sensor dalam keadaan diam, keluaran sensor pada sumbu x akan menghasilkan tegangan *offset* yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor (V_{dd}). Tegangan *offset accelerometer* dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Untuk percepatan positif maka sinyal keluaran akan meningkat di atas tegangan *offset*, sedangkan untuk percepatan negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan *offset*.



Gambar 3.4 Sensor Accelerometer [10]

Pada sensor akselerometer MMA7260Q ini memiliki fasilitas *g-select* yang memungkinkan sensor bekerja pada tingkat sensitivitas yang berbeda-beda, dapat dilihat pada table 3.3

Tabel 3.3 Diskripsi tingkat sensitivitas *accelerometer* MMA7260Q [10]

g-select 1	g-select 2	g-range	Sensitivitas
0	0	1.5 g	800 mV/g
0	1	2 g	600 mV/g
1	0	4 g	300 mV/g
1	1	6 g	200 mV/g

Tabel 3.4 Deskripsi pin *accelerometer* MMA7260Q [10]

No Pin	Pin Name	Description
1	g-Select 1	Logic input pin to select g level
2	g-Select 2	Logic input pin to select g level
3	V _{DD}	Power Supply Input
4	V _{SS}	Power Supply Ground
5-7	N/C	No internal connection. Leave unconnected
8-11	N/C	Unused for factory trim. Leave unconnected
12	Sleep Mode	Logic input pin to enable pruct or sleep mode
13	Z _{Out}	Z direction ouput voltage
14	Y _{out}	Y direction output voltage
15	X _{out}	X direction output voltage
16	N/C	No internal connection. Leave unconnected

3.3 Mikrokontroler ATmega8

Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang paling sederhana yang dapat digunakan sebagai pengolah data. ATmega8 merupakan satu jenis mikrokontroler AVR dengan 18 jalur input/output yang dapat diprogram dalam kemasan 20 pin memiliki arsitektur RISC 8 bit, semua instruksi pada Mikrokontroler ATmega8 dikemas dalam kode 16-bit (*16-bits word*) dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam satu siklus *clock*, berbeda dengan instruksi MCS51 yang membutuhkan 12 siklus *clock*⁹.

Hal ini disebabkan mikrokontroler ATmega8 memiliki teknologi AVR RISC (*Reduce Instruction Set Computing*), sedangkan seri MCS51 berteknologi CISC (*Complex Instruction Set Computing*). Mikrokontroler ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a. ISP (*In-System Programmable*) Flash Memory sebesar 8 kByte. Dengan menggunakan *flash chip* ini, mengizinkan program memori dapat diprogram ulang dalam sistem. Sehingga mikrokontroler ini tidak membutuhkan mikrokontroler lain sebagai master untuk proses *download* program.
- b. Memiliki RAM (*Random Access Memory*) sebesar 1 kByte.
- c. 23 jalur atau bit input dan output .
- d. Memiliki komparator analog.
- e. Memiliki 3 buah *timer* dan *counter* yang dapat difungsikan sebagai PWM (*Pulse Width Modulation*).
- f. Memiliki *Full Duplex Serial Port* sehingga memungkinkan pengiriman dan penerimaan data secara serial dapat berlangsung bersamaan.

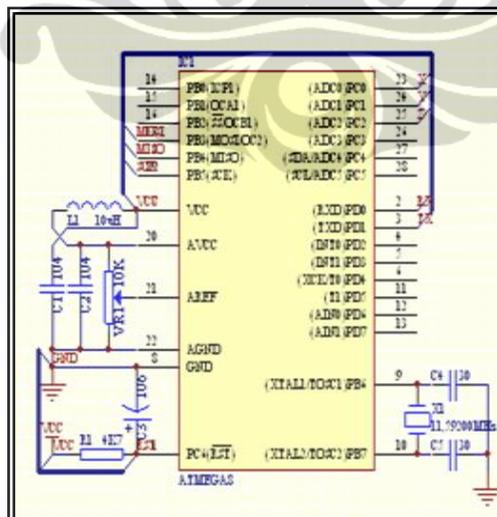
Komunikasi serial pada ATmega 8 sama persis dengan komunikasi serial pada ATmega16 sebagai standar komunikasi serial dengan mikrokontroler jenis AVR. Universal synchronous dan asynchronous pemancar dan penerima serial adalah suatu alat komunikasi serial sangat fleksibel. Jenis yang utama adalah :

- Operasi full duplex dan asynchronous atau synchronous
- Master atau slave mendapat clock dengan operasi synchronous
- Pembangkit baud rate dengan resolusi tinggi

- Dukung frames serial dengan 5, 6, 7, 8 atau 9 Data bit dan 1 atau 2 Stop bit
- Tahap odd atau even parity dan parity check didukung oleh hardware
- Pendeteksian data overrun dan framing error
- Pemfilteran gangguan (noise) meliputi pendeteksian bit false start dan pendeteksian low pass filter digital
- Tiga interrupt terdiri dari TX complete, TX data register empty dan RX complete.
- Mode komunikasi multi-processor dan double speed asynchronous.

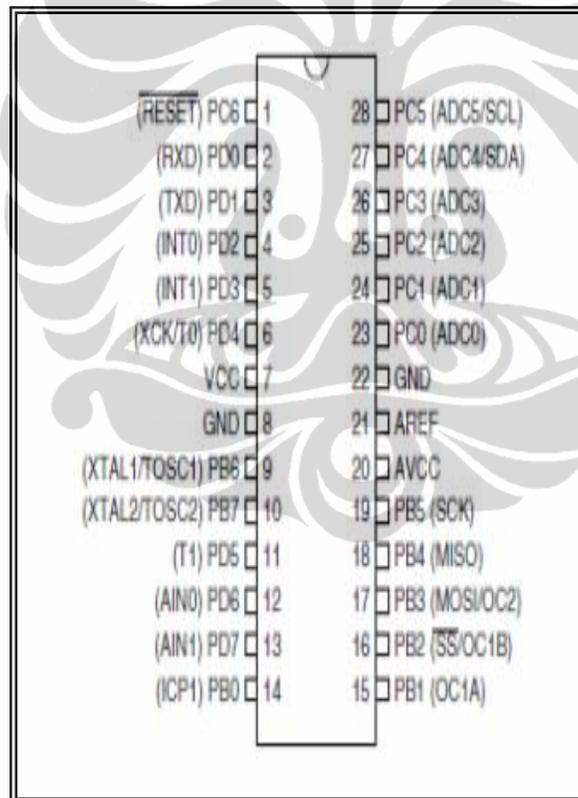
3.4 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATmega 8

Data perubahan percepatan yang dialami oleh sistem pegas yang dideteksi oleh accelerometer dikirim ke mikrokontroler yang akan membaca data tersebut dan mengolahnya lebih lanjut. Mikrokontroler yang digunakan pada penelitian ini adalah ATmega8 produksi Atmel. Pemilihan mikrokontroler jenis ini disamping karena ukurannya yang kecil dengan 28 pin, mikrokontroler ini juga sudah memiliki fitur yang mencukupi untuk melakukan proses pembacaan dan pengolahan data dari sensor accelerometer.



Gambar 3.5 Rangkaian Minimum ATmega8 [9]

ATmega8 memiliki 32 general purpose register dan instruksi set yang cukup banyak. Semua register terhubung langsung dengan Arithmetic Logic Unit (ALU) sehingga memungkinkan dua buah register yang berlainan diakses dengan menggunakan satu instruksi yang dieksekusi dengan satu clock pulsa. ATmega8 juga menyediakan 8Kbyte In-System Programmable Flash memory, 512 byte EEPROM, 1 Kbyte SRAM, 23 line general purpose I/O, 32 general purpose register, tiga buah flexible timer/counter dengan compare modes, internal dan eksternal interup, serial programmable USART, 6 chanel ADC dengan akurasi 10 bit dan programmable watchdog timer dengan internal oscillator. Gambar konfigurasi pin dari ATmega8 dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Konfigurasi pin ATmega8 [9]

Data dari sensor accelerator berupa tegangan analog yang besarnya tergantung dari besarnya percepatan yang diukur. Karena accelerator yang digunakan adalah

jenis tiga sumbu x, y dan z maka percepatan yang akan terukur adalah percepatan pada tiga sumbu x, y dan z. Akan tetapi dalam hal ini data yang akan diambil adalah data pengukuran percepatan pada sumbu y. Signal tegangan dari accelerometer dimasukkan ke mikrokontroller melalui pin ADC untuk dikonversi dan dikuantisasi menjadi signal digital. ADC yang terintegrasi pada IC mikrokontroller ATmega 8 adalah ADC 10 bit yang berarti bahwa *full scale* output ADC dalam bentuk desimal adalah 1023. Pin AREF pada mikrokontroller digunakan sebagai tegangan referensi bagi ADC untuk mengkonversi tegangan analog yang terbaca. Tegangan referensi ini didapat dengan menambahkan variabel resistor yang dihubungkan dengan VCC. Variabel resistor ini akan bertindak sebagai pembagi tegangan untuk mengatur besarnya tegangan referensi.

Berdasarkan data sheet sensor accelerometer untuk pemilihan range pengukuran 1,5g output tegangan analog dari accelerometer pada kondisi 1g adalah 2,45 V. Besarnya tegangan referensi yang akan diberikan pada perancangan system ini sebesar 3.29 V, maka pemberian tegangan referensi bagi ADC sebesar 3.29 V sudah mencukupi untuk membaca data digital yang ditampilkan dalam bentuk grafik bilangan desimal pada LabView. Untuk memprogram mikrokontroller dilakukan secara *In-System Programming* (ISP) sehingga pin MOSI, MISO, SCK pada mikrokontroller dihubungkan dengan konektor ISP programmer. Pembangkit clock untuk mikrokontroller berasal dari kristal 11,592 Mhz yang terhubung dengan pin XTAL1 dan XTAL2 pada mikrokontroller.

3.5 Komunikasi Serial

Komunikasi serial adalah komunikasi dimana pengiriman data dilakukan per bit, sehingga lebih lambat dibandingkan komunikasi parallel seperti pada port printer yang mampu mengirim 8bit sekaligus dalam sekali detak. Beberapa contoh komunikasi serial adalah mouse, scanner dan system akuisisi data yang terhubung ke port COM1 / COM2. Pada prinsipnya, komunikasi serial adalah komunikasi dimana transmisi data dilakukan per bit. Interface serial hanya membutuhkan jalur yang

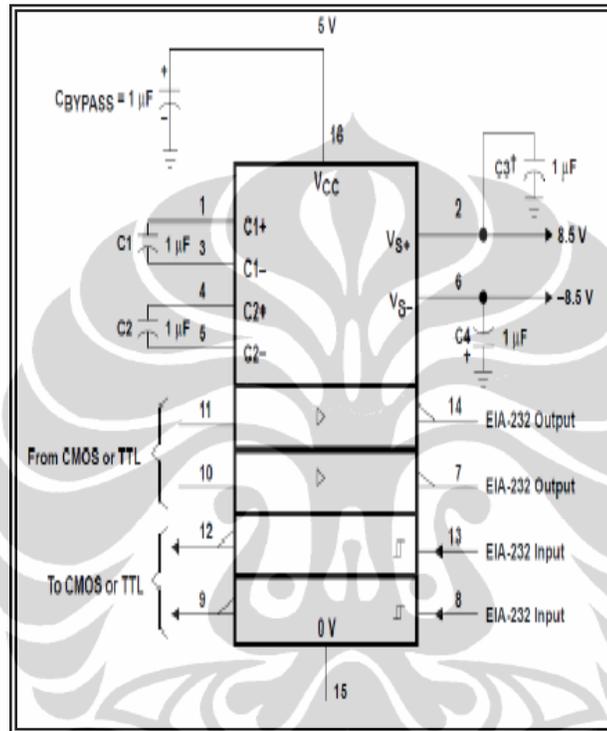
sedikit (umumnya hanya 2 jalur), sehingga lebih menghemat pin jika dibandungkan dengan interface parallel.

Komunikasi serial ada dua macam, *asynchronous* serial dan *synchronous* serial :

- *Synchronous* serial (berdasarkan timing) adalah komunikasi dimana hanya ada satu pihak (pengirim dan penerima) yang menghasilkan clock dan mengirimkan clock tersebut bersama-sama dengan data. Contoh penggunaan *synchronous* serial terdapat pada transmisi data keyboard.
- *Asynchronous* serial adalah komunikasi dimana kedua pihak (pengirim dan penerima) masing-masing menghasilkan clock namun hanya data yang ditransmisikan, tanpa clock. Agar data yang dikirim sama dengan data yang diterima, maka kedua frekuensi clock harus sama dan harus terdapat sinkronisasi. Setelah ada sinkronisasi, pengirim akan mengirimkan datanya sesuai dengan frekuensi clock penerima. Contoh penggunaan *asynchronous* serial adalah pada *Universal Asynchronous Receiver Transmitter* (UART) yang digunakan pada serial port (COM) computer. MCS-51 mendukung komunikasi secara asinkron, bahkan 3 dari 4 serial mode yang dimiliki MCS-51 kompatibel dengan UART.

Komunikasi serial RS232 adalah suatu protocol komunikasi serial yang mode pengoperasiannya *single ended* artinya Signal RS232 di representasikan dengan level tegangan +3V sampai +12V sebagai ON atau stat 0 atau disebut sebagai kondisi SPACE, sedangkan tegangan -3V sampai -12V direpresentasikan sebagai OFF atau stat 1 atau disebut sebagai kondisi MARK. Komunikasi data pada RS232 dilakukan dengan satu transmitter dan satu receiver, Sistem komunikasinya terdiri antara 2 device saja. RS232 dirancang untuk data rate maximum 20 kb/s dan dengan jarak maksimum sekitar 20 Ft. Signal RS232 di representasikan dengan level tegangan +3V sampai +12V sebagai ON atau stat 0 atau disebut sebagai kondisi SPACE, sedangkan tegangan -3V sampai -12V direpresentasikan sebagai OFF atau stat 1 atau disebut sebagai kondisi MARK. Komunikasi serial dengan RS232 ini dipasaran sudah tersedia IC yang dapat digunakan dan sudah compatible mikrokontroler yaitu IC 232

seperti MAX232, dll. IC ini banyak di gunakan dalam aplikasi-aplikasi komunikasi data dengan RS232. Komunikasi antara mikrokontroler dengan PC dilakukan secara serial menggunakan IC MAX232 sebagai pengubah level tegangan dari level tegangan TTL ke level tegangan PC.

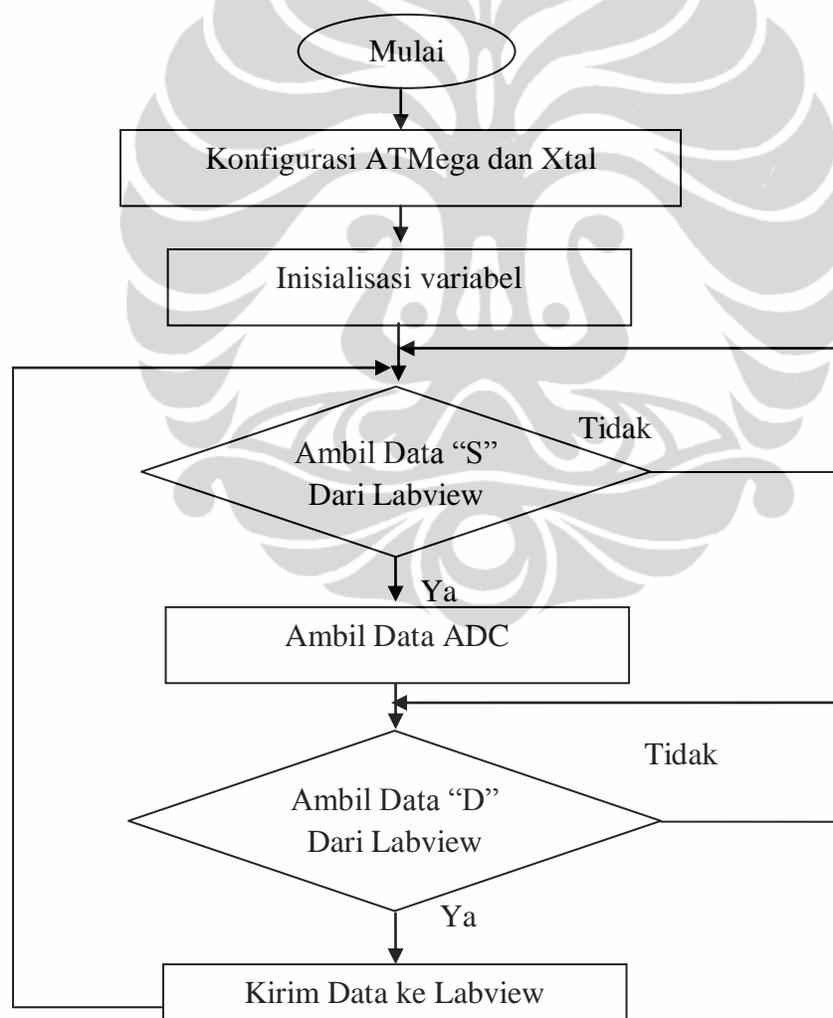


Gambar 3.7 Koneksi pin IC MAX232 [9]

Dalam perancangan ini pin yang digunakan adalah pin Rx, Tx dan GND. Pin Rx digunakan untuk menerima data dari mikrokontroler ke PC dan sebaliknya pin Tx digunakan untuk mengirim data dari PC ke mikrokontroler. Pada PC agar dapat melakukan komunikasi secara serial maka harus diketahui terlebih dahulu port dari PC yang digunakan. Port ini dinyatakan dengan COM yang harus disesuaikan antar COM pada PC dengan COM pada software sehingga komunikasi dapat berjalan.

3.6 Pemrograman Mikrokontroler

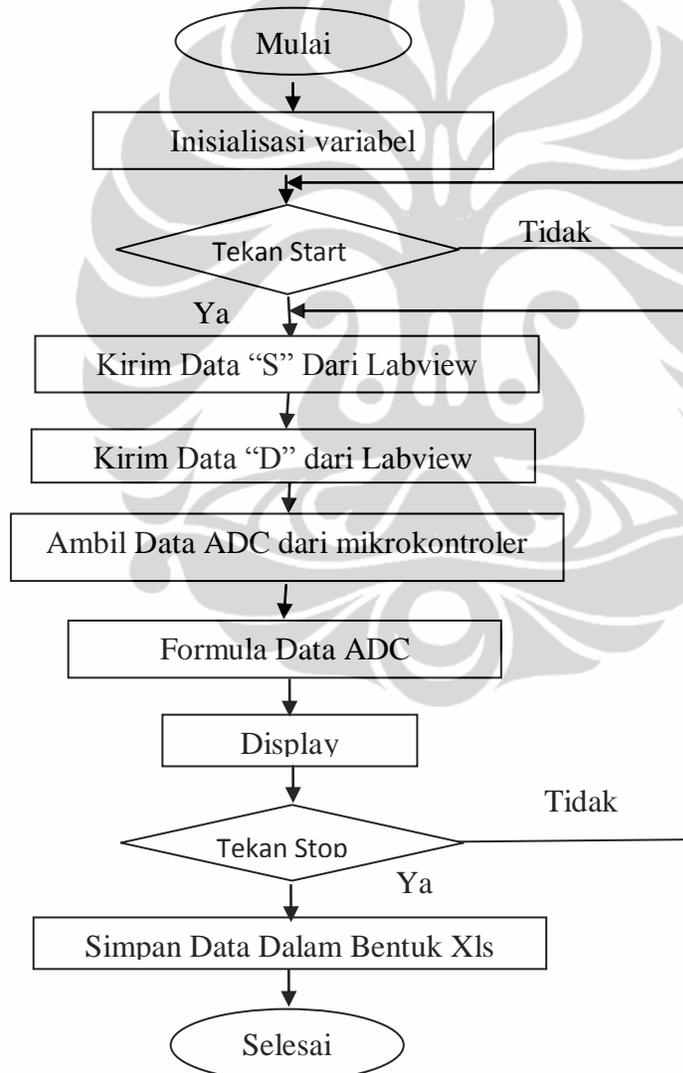
Mikrokontroler pada sistem ini digunakan untuk membaca data dari sensor accelerometer akibat perubahan percepatan pada sistem yang terdeteksi. Data perubahan percepatan yang merupakan besaran analog dikonversi menjadi besaran digital oleh ADC pada mikrokontroler. Tegangan analog ini diumpungkan melalui port ADC yang terintegrasi pada IC ATmega8. Perancangan pemrograman mikrokontroler ini menggunakan bahasa Basic dari aplikasi Bascom AVR.



Gambar 3.8 Diagram Alur Program Mikrokontroler

3.7 Pemrograman LabVIEW

Pemrograman akuisisi data pada PC menggunakan LabVIEW 8.5. Sebuah bahasa pemrograman keluaran National Instrument yang berbasis pada visual. Pemrograman LabView ini dibangun didalam satu looping utama yang mencakup keseluruhan proses kerja.



Gambar 3.9 Diagram Alur Program Labview

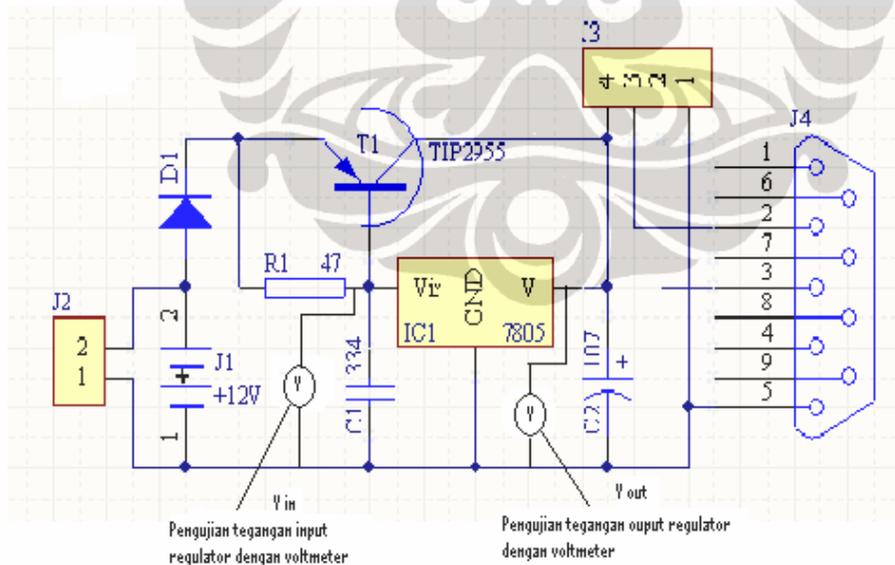
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang pengujian alat yang dibuat, adapun tujuan, pengujian tersebut adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dirancang berfungsi dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan yang diharapkan. Dalam pelaksanaannya, pengujian alat ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian power supply, pengujian regulator dan pengukuran sensor *accelerometer*.

4.1 Pengujian Regulator

Rangkaian regulator berfungsi sebagai sumber tegangan dari rangkaian alat sehingga dilakukan pengujian regulator, pada eksperimen ini digunakan regulator 7805 karena input yang dibutuhkan sebesar 5 Volt seperti pada gambar 4.1



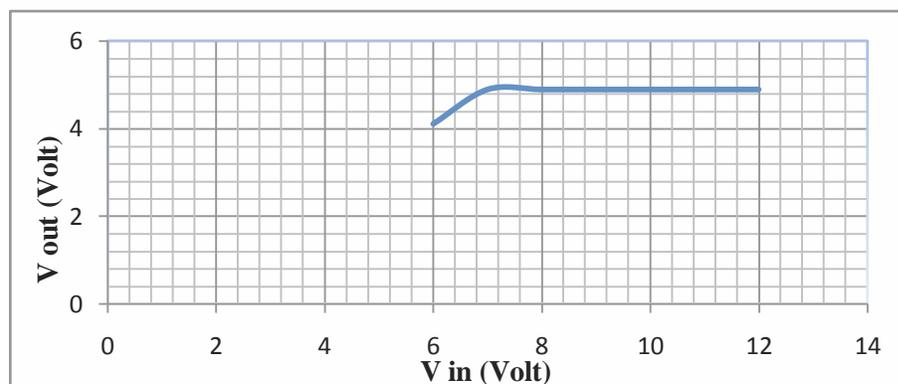
Gambar 4.1 Pengujian Regulator

Pada gambar 4.1 diperlihatkan cara pengukuran tegangan input dan tegangan output pada regulator, pengujian dilakukan dengan cara merubah tegangan input pada adaptor dari 6-12 Volt, hasil pengujian nilai regulator dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah.

Tabel 4.1 Pengujian nilai regulator

V_{in} (V)	V_{out} (V)
6	4.12
7	4.90
8	4.90
9	4.90
10	4.90
12	4.90

Pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai pada tegangan 6 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.12 V, pada tegangan input 7 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.9 Volt, pada tegangan input 8 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.9 Volt, pada tegangan input 9 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.9 Volt, pada tegangan input 10 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.9 Volt dan pada tegangan input 12 Volt menghasilkan tegangan output sebesar 4.9 V.

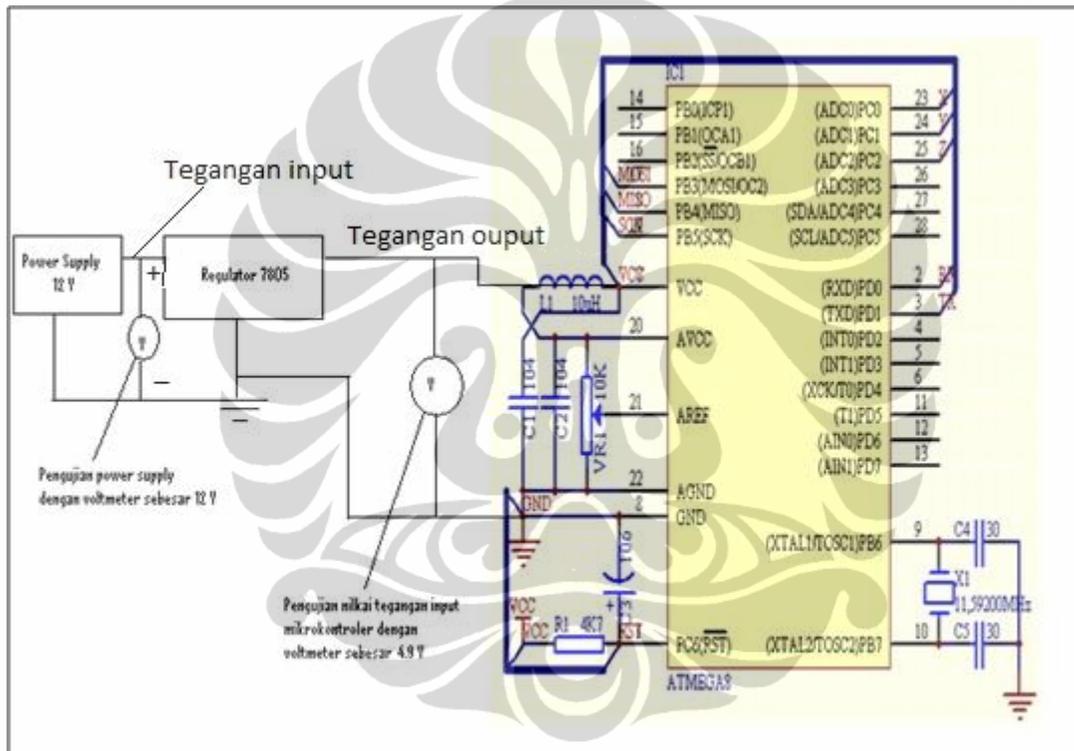


Gambar 4.2 Grafik pengujian regulator

Dari hasil pengujian dengan variasi tegangan input diperoleh nilai tegangan output yang tetap sebesar 4.9 Volt dengan masukan tegangan input sebesar 7 Volt atau lebih dapat dilihat pada gambar (4.2)

4.2 Pengujian Power Supply

Pengujian dilakukan untuk melihat tegangan dari power supply dan tegangan dari regulator ke rangkaian mikrokontroler pada gambar 4.3

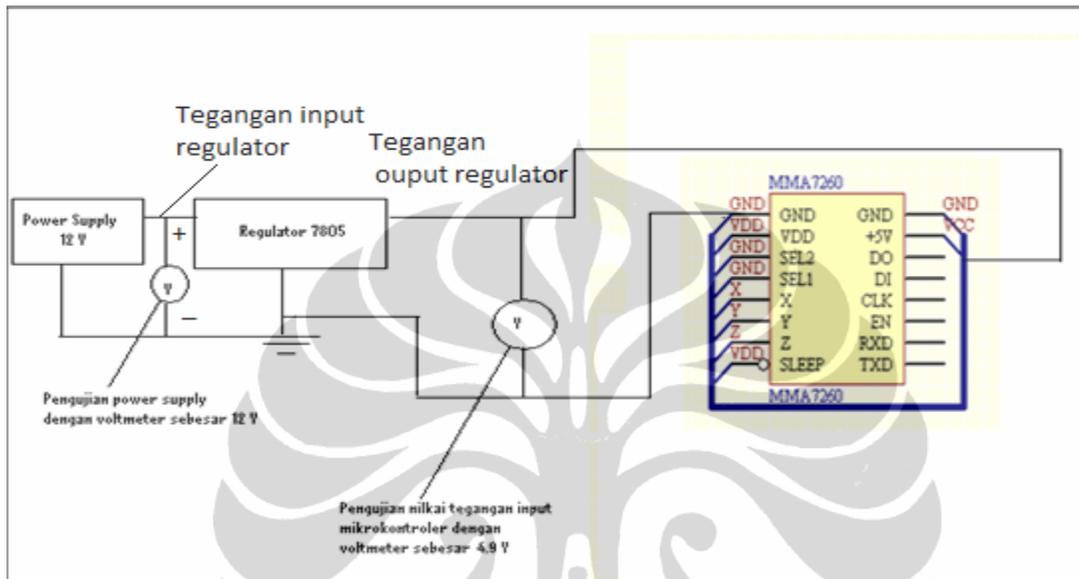


Gambar 4.3 Pengujian power supply

4.3 Pengukuran Sensor Accelerometer

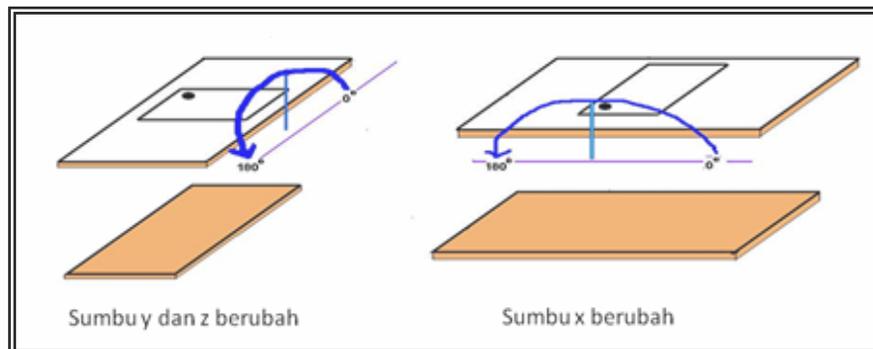
Prinsip kerja dari sensor accelerometer berdasarkan hukum fisika apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor maka akan timbul suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. *Accelerometer* yang diletakkan di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikalnya, untuk

percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horizontal maka *accelerometer* akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horizontal. Pengujian rangkaian sensor dilakukan untuk melihat tegangan dari power supply dan tegangan dari regulator ke rangkaian sensor dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Pengujian supply sensor

Percepatan merupakan suatu keadaan berubahnya kecepatan terhadap waktu. Bertambahnya suatu kecepatan dalam suatu rentang waktu disebut percepatan (*acceleration*). Namun jika kecepatan semakin berkurang daripada kecepatan sebelumnya, disebut perlambatan (*deceleration*). Percepatan juga bergantung pada arah/orientasi karena merupakan penurunan kecepatan yang merupakan besaran vektor.



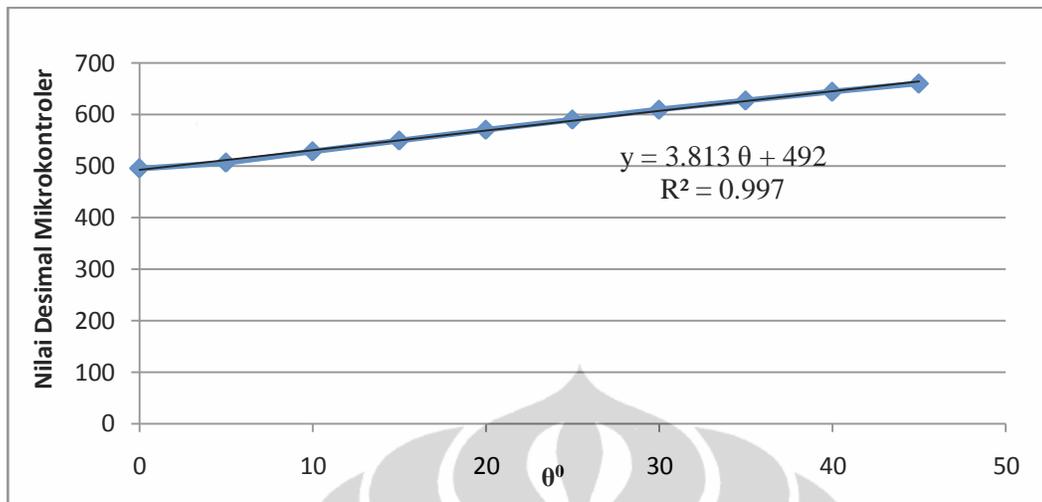
Gambar 4.5 Pengujian accelerometer terhadap perubahan posisi

Berubahnya arah pergerakan suatu benda akan menimbulkan percepatan. Ketika sensor dalam keadaan diam, keluaran sensor pada sumbu x akan menghasilkan tegangan *offset* yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor (Vdd). Tegangan *offset accelerometer* dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Untuk percepatan positif maka sinyal keluaran akan meningkat di atas tegangan *offset*, sedangkan untuk percepatan negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan *offset* seperti yang ditunjukkan pada (gambar 4.5).

Tabel 4.2 Hasil pengukuran sensor accelerometer terhadap sumbu X

Θ (derajat)	Vout (Volt)	Nilai Desimal
0	1.58	495
5	1.62	506
10	1.69	528
15	1.76	549
20	1.83	570
25	1.89	590
30	1.96	609
35	2.01	627
40	2.07	644
45	2.12	660

Pada tabel 4.2 didapatkan pengukuran perubahan sudut accelerometer (Θ) terhadap sumbu x menghasilkan persamaan nilai desimal mikrokontroler terhadap Θ dalam bentuk : $y = 3.813 \theta + 492$ dimana y adalah nilai desimal (data ADC)



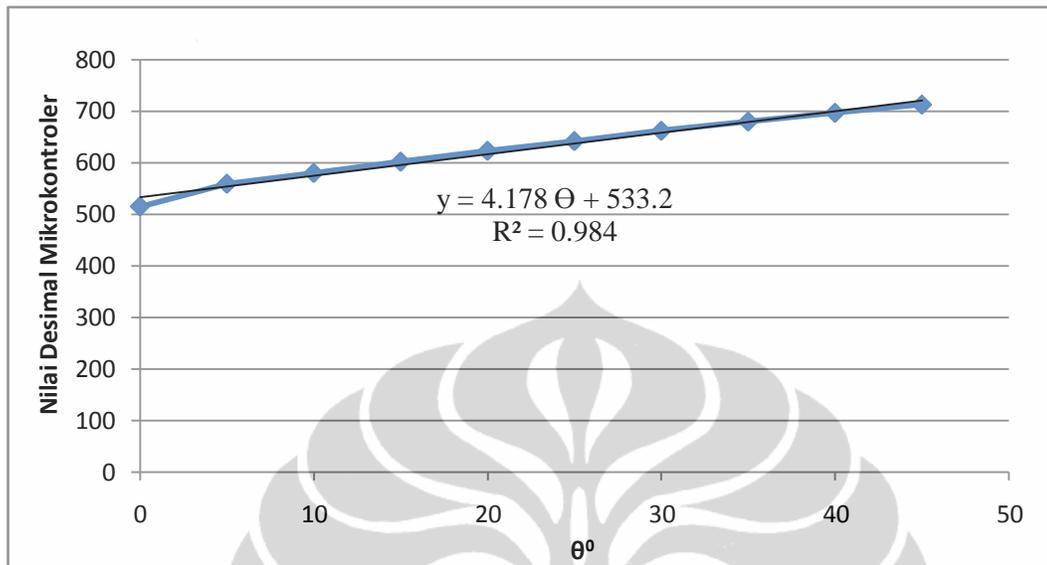
Gambar 4.6 Grafik pengukuran sensor accelerometer pada sumbu X

Setelah pengukuran accelerometer dilakukan pada sumbu x selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap sumbu y dapat dilihat pada table 4.3

Tabel 4.3 Hasil pengukuran sensor accelerometer terhadap sumbu Y

θ (derajat)	Vout (Volt)	Nilai Desimal Mikrokontroler
0	1.65	515
5	1.79	559
10	1.86	580
15	1.93	602
20	2.03	623
25	2.06	642
30	2.13	662
35	2.18	680
40	2.24	697
45	2.29	713

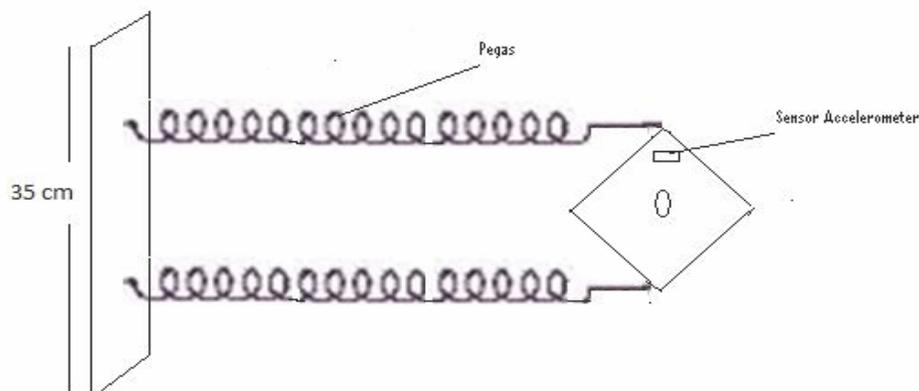
Pada tabel 4.2 didapatkan pengukuran perubahan sudut accelerometer (Θ) terhadap sumbu y menghasilkan persamaan nilai desimal mikrokontroler terhadap Θ dalam bentuk : $y = 4.178 \theta + 533.2$ dimana y adalah nilai desimal mikrokontroler (nilai output ADC)



Gambar 4.7 Grafik pengukuran sensor accelerometer pada sumbu Y

4.4 Perhitungan Nilai Momen Inersia Secara Eksperimen

Momen Inersia dalam gerak rotasi menyatakan ukuran kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan sudut atau kecepatan gerak benda ketika melakukan gerak rotasi. Besaran pada gerak rotasi yang analog dengan massa pada gerak translasi dikenal sebagai momen inersia dimana momen inersia bergantung terhadap titik porosnya.



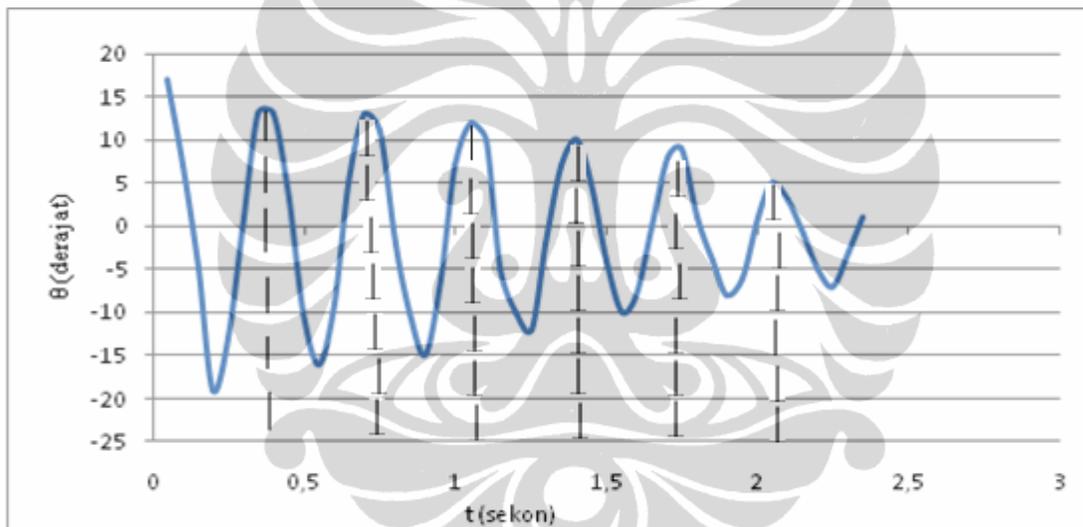
Gambar 4.8 Perancangan Alat

Pada eksperimen ini benda diberikan benda diberi simpangan awal lalu dilepaskan sehingga benda akan berotasi dan menghasilkan gerak harmonis yang teredam, dari persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya maka kita dapat menghitung nilai momen inersia dari nilai periodenya dapat dilihat pada gambar 4.8

4.4.1 Benda Pejal Berbentuk Persegi

Pada eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan konstanta pegas dengan nilai 71.72 N/m maka didapatkan grafik perubahan sudut terhadap waktu seperti pada gambar 4.9

➤ **Konstanta Pegas = 71.72 N/m**



Gambar 4.9 Perubahan sudut terhadap waktu

Untuk mendapatkan konstanta c (gradien) digunakan persamaan :

$$\frac{bl^2}{2I} = c$$

Dimana gradient bernilai 0.503

$$b = \frac{1.06 I}{l^2}$$

Pada gambar terdapat garis putus-putus yaitu berupa nilai perioda sebesar 0.4 detik

Dari hasil data eksperimen yang dilakukan maka didapatkan nilai b (faktor redaman) yang didapatkan disubstitusikan ke persamaan nilai ω sehingga diperoleh nilai momen inersia sebesar :

$$I = 2.249 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$

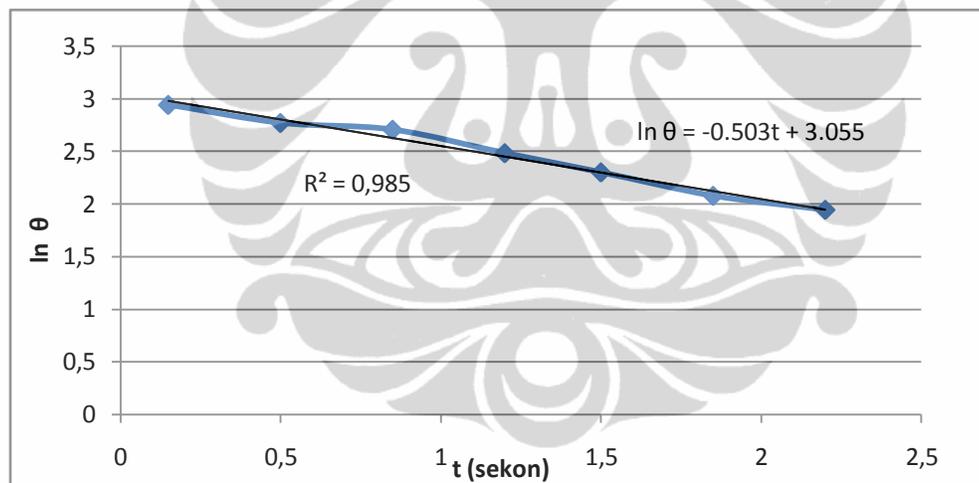
Nilai momen inersia secara perhitungan teori adalah sebesar :

$$I = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$$

$$I = 2.56 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$

Dari nilai momen inersia (I) tersebut maka dapat dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai momen inersia yaitu:

- Bentuk benda
- Konstanta pegas
- Gesekan yang dialami benda



Gambar 4.10 Grafik perubahan sudut terhadap waktu

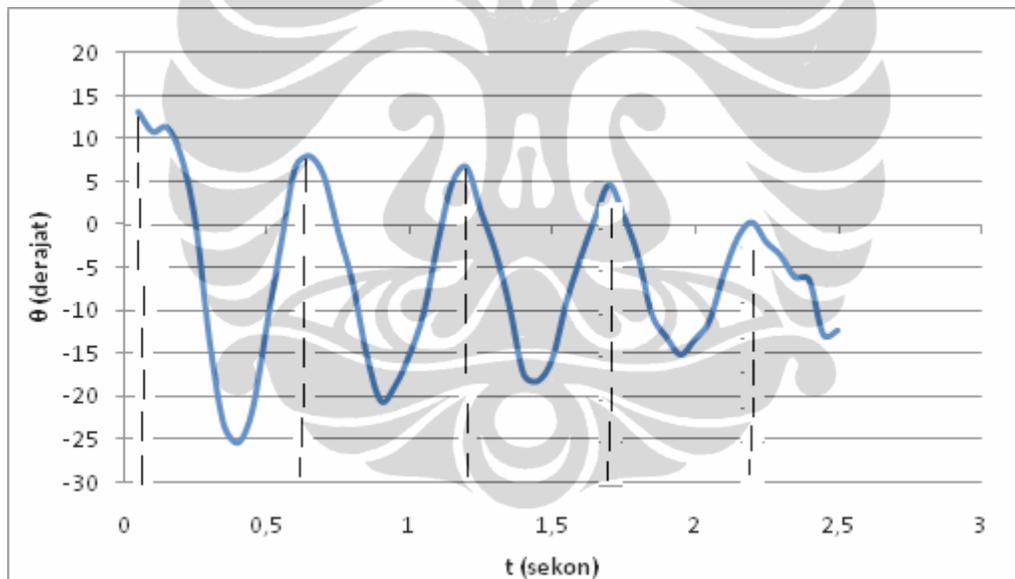
Dari persamaan $y = mx + b$ maka dapat diperoleh nilai persamaan eskponensial sudut untuk mencari nilai kemiringan (gradien) seperti pada gambar 4.10

Tabel 4.4 Hasil uji nilai momen inersia benda pejal berbentuk persegi

Nilai momen inersia secara teori $256 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	Nilai momen inersia secara eksperimen $2.249 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$
Nilai error : 12 %	

➤ **Konstanta Pegas 47.54**

Pada eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan konstanta pegas dengan nilai 47.54 N/m maka didapatkan grafik perubahan sudut terhadap waktu seperti gambar 4.11

**Gambar 4.11** Grafik perubahan sudut terhadap waktu

Untuk mendapatkan konstanta c (gradien) digunakan persamaan :

$$\frac{bl^2}{2I} = c$$

Dimana c (gradient) bernilai 0.593

$$b = \frac{1.18 I}{l^2}$$

Pada gambar terdapat garis putus-putus yaitu berupa nilai perioda sebesar 0.4 detik
 Dari hasil data eksperimen yang dilakukan maka didapatkan nilai b (faktor redaman) yang didapatkan disubstitusikan ke persamaan nilai ω sehingga diperoleh nilai momen inersia sebesar :

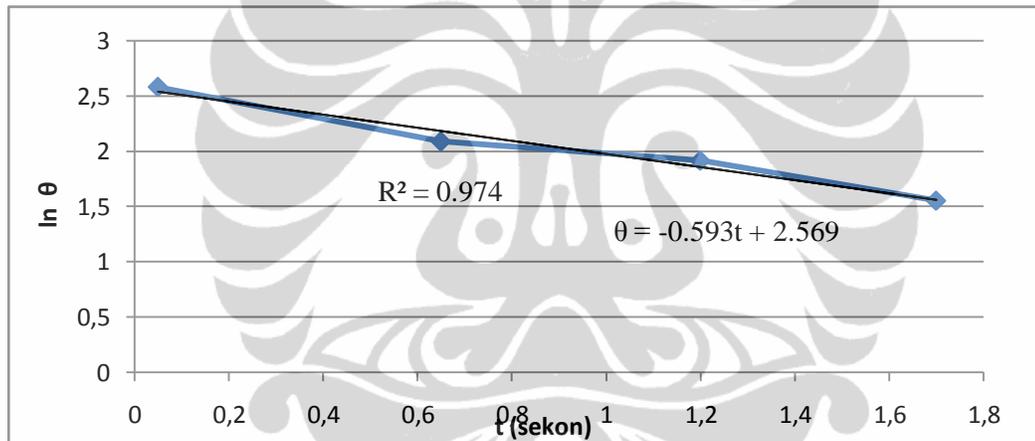
$$I = 2.327 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$

Didapatkan juga nilai faktor redaman : $b = 8.87 \text{ N.s/m}$

Nilai momen inersia secara perhitungan teori adalah sebesar :

$$I = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$$

$$I = 2.56 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$



Gambar 4.12 Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu

Dari persamaan $y = mx + b$ maka dapat diperoleh nilai persamaan eskponensial sudut untuk mencari nilai kemiringan (gradien) seperti pada gambar 4.12

Tabel 4.5 Hasil uji nilai momen inersia benda pejal berbentuk persegi

Nilai momen inersia secara teori $2.56 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	Nilai momen inersia secara eksperimen $2.237 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$
Nilai error : 9 %	

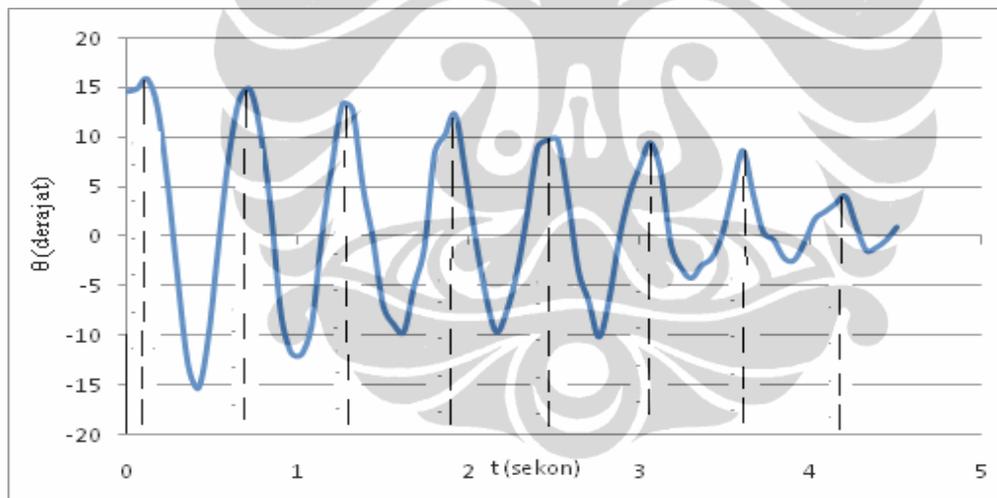
Dari nilai momen inersia (I) tersebut maka dapat dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai momen inersia yaitu:

- Bentuk benda berupa persegi
- Konstanta pegas
- Gesekan pada alat

4.4.2 Benda Pejal Berbentuk Lingkaran

Pada eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan konstanta pegas dengan nilai 71.72 N/m maka didapatkan grafik perubahan sudut terhadap waktu seperti gambar 4.11

➤ **Konstanta Pegas = 71.72 N/m**



Gambar 4.11 Grafik perubahan sudut terhadap waktu

Untuk mendapatkan konstanta c (gradien) digunakan persamaan :

$$\frac{bl^2}{2I} = c$$

Dimana c (gradient) bernilai 0.19 maka

$$b = \frac{0.38 I}{l^2}$$

$$b = \frac{1.18 I}{l^2}$$

Pada gambar terdapat garis putus-putus yaitu berupa nilai perioda sebesar 0.4 detik

Dari hasil data eksperimen yang dilakukan maka didapatkan nilai b (faktor redaman) yang didapatkan disubstitusikan ke persamaa nilai ω sehingga diperoleh nilai momen inersia sebesar :

$$I = 1.976 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$

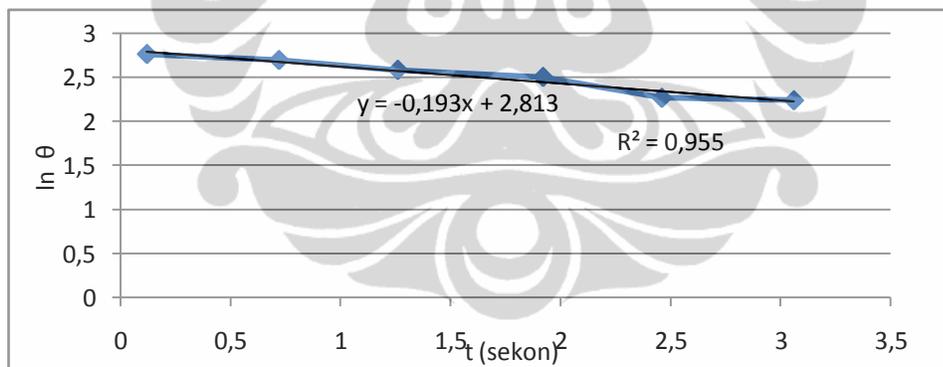
didapatkan juga nilai faktor redaman :

$$b = 7.53 \text{ N.s/m}$$

Nilai momen inersia secara perhitungan teori adalah sebesar :

$$I = \frac{1}{2} m (R^2)$$

$$I = 1.7 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$



Gambar 4.12 Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu

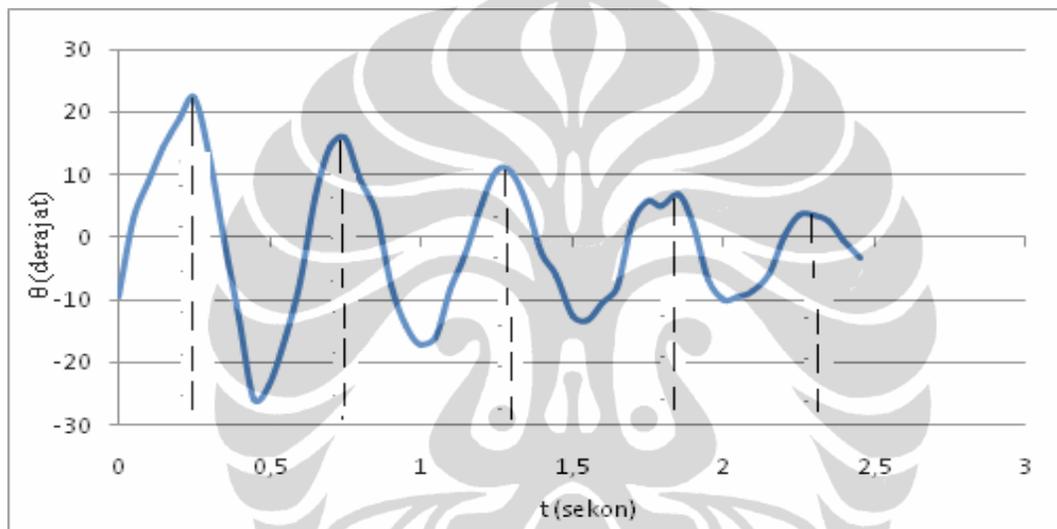
Tabel 4.6 Hasil uji nilai momen inersia pada benda pejal berbentuk lingkaran

Nilai momen inersia secara teori	Nilai momen inersia secara eksperimen
$1.7 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	$1.976 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$
Nilai error : 16.2 %	

Dari persamaan $y = mx + b$ maka dapat diperoleh nilai persamaan eskponensial untuk mencari nilai kemiringan (gradien) seperti pada gambar 4.12

➤ **Konstanta Pegas 47.54**

Pada eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan konstanta pegas dengan nilai 71.72 N/m maka didapatkan grafik perubahan sudut terhadap waktu seperti gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik perubahan sudut terhadap waktu

Untuk mendapatkan konstanta c (gradien) digunakan persamaan :

$$\frac{bl^2}{2I} = c$$

Dimana c (gradient) bernilai : 0.882

$$b = \frac{1.76I}{l^2}$$

Pada gambar terdapat garis putus-putus yaitu berupa nilai perioda sebesar 0.67 detik

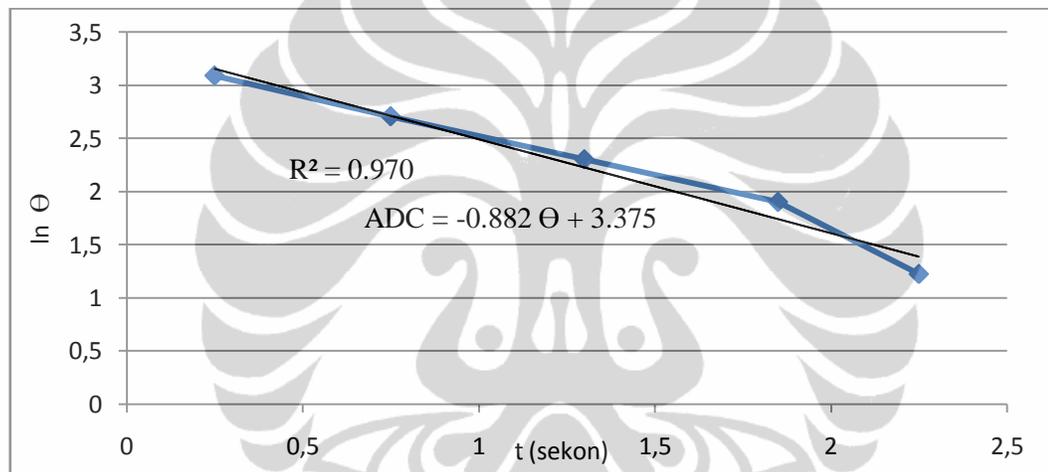
Dari hasil data eksperimen yang dilakukan maka didapatkan nilai b (faktor redaman) yang didapatkan disubstitusikan ke persamaan nilai ω sehingga diperoleh nilai momen inersia sebesar : $I = 1.943 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$

Didapatkan nilai faktor redaman sebesar : $b = 7.40 \text{ N.s/m}$

Nilai momen inersia secara perhitungan teori adalah sebesar :

$$I = \frac{1}{2} m (R^2)$$

$$I = 1.7 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$$



Gambar 4.14 Kurva redaman perubahan sudut terhadap waktu

Tabel 4.7 Hasil uji nilai momen inersia pada benda pejal berbentuk lingkaran

Nilai momen inersia secara teori $1.7 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	Nilai momen inersia secara eksperimen $1.943 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$
Nilai error : 14 %	

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

- Sistem dapat mengukur nilai momen inersia pada benda pejal yang beraturan dengan kesalahan error yang cukup kecil.
- Dari hasil pengukuran accelerometer terhadap sumbu koordinat x dan y diperoleh :
 - Pengukuran accelerometer terhadap sumbu x menghasilkan nilai ADC = 3.813 0+492
 - Pengukuran accelerometer terhadap sumbu y menghasilkan nilai ADC = 4.1780+533
- Nilai momen inersia yang dipengaruhi oleh benda dan konstanta pegas secara eksperimen hampir mendekati dengan hasil yang didapatkan secara teori.

No.	Benda	Konstanta Pegas	Nilai momen inersia secara eksperimen	Nilai error
1.	Berbentuk persegi	71.72 N/m	$2.249 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	12 %
		47.54 N/m	$2.237 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	9 %
2.	Berbentuk lingkaran	71.72 N/m	$1.976 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	16.2 %
		47.54 N/m	$1.943 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$	14 %

DAFTAR ACUAN

1. Boas, M.L(1983) *Mathematical Methods In The Physical Sciences*, John Wiley & Sons Ltd, Canada.
2. Dimension Engineering, *DE-ACCM3D Buffered $\pm 3g$ Tri-axis Accelerometer* <<http://www.dimensionengineering.com/DE-ACCM3D.htm>>
3. Ganijanti, A.S.(2002), *Mekanika* , Penerbit Salemba Teknik.
4. Kilian, Christopher. T (2001) *Modern Control Tecnology Components and Systems*, Delmar Thomson Learning.
5. Malvino, Albert Paul. *Electronic Principles*. 6th Edition. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1999.
6. Pain, H.J (2005) *The Physics of Vibrations and Waves*, John Wiley & Sons Ltd, England
7. Raymond, A.S dan John, W.J (2010) *Physics for Scientists and Engineers with Modern physics*, Brooks/Cole 20 Davis Drive Belmont, CA 94002- 3098 USA.
8. Sure Electronics, *3 Axis Acceleration Sensor Board User's Guide*, Copyright 2004-2007 Sure Electronics Inc.
9. <http://www.alldatasheet.com>
10. <http://www.freescale.com/> MMA7260QT datasheet.



LAMPIRAN

Tabel 1. Pengukuran Konstanta Pegas ke 1

Pengukuran	Massa (gr)	L1 (cm)	L2 (cm)	L2-L1	Tetapan Pegas (k) (N/m)
1	50	11.4	13.3	1.9	25.78
2	100	11.4	14.5	3.1	31.61
3	150	11.4	15.5	4.1	35.85
4	200	11.4	16.5	5.1	38.43
5	250	11.4	17.3	5.9	41.52
6	300	11.4	18.4	7	42
Σ rata-rata					35.86

Tabel 2. Pengukuran Konstanta Pegas ke 2

Pengukuran	Massa (gr)	L1 (cm)	L2 (cm)	L2-L1	Tetapan Pegas (k) (N/m)
1	50	11.4	15.1	3.7	13.24
2	100	11.4	15.5	4.4	22.27
3	150	11.4	16.6	5.2	28.26
4	200	11.4	17.2	5.8	33.79
Σ rata-rata					23.77

Pengukuran Konstanta Pegas ke 2

Program Mikrokontroler

```
$regfile = "m8def.dat"      ' Jenis microcontroller yang digunakan ATmega8
$crystal = 11059200        ' Besar frekuensi crystal yang digunakan
$baud = 9600               ' Kecepatan transmisi data seri yang digunakan
```

```
Dim Kontrol As Byte
```

```
Dim Adc2 As Integer , Gaya2 As String * 10
```

```
Dim Adc1 As Integer , Gaya1 As String * 10
```

```
Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
```

```
Start Adc
```

```
Do
```

```
    Kontrol = Inkey()
```

```
    If Kontrol = 115 Then Goto Mulai      'get ascii s from labVIEW (Start)
```

```
Loop
```

```
Mulai:
```

```
Do
```

```
    Adc2 = Getadc(2)
```

```
    Gaya2 = Str(adc2)
```

```
    Gaya2 = Format(gaya2 , "0000")
```

```
    Adc1 = Getadc(1)
```

```
    Gaya1 = Str(adc1)
```

Gaya1 = Format(gaya1 , "0000")

Kontrol = Inkey()

If Kontrol = 100 Then Goto Kirim 'get ascii d from labVIEW (Data)

If Kontrol = 101 Then Goto Berhenti 'get ascii e from labVIEW (End)

Loop

Kirim:

Print "\$" ; Gaya2 ; "\$" ; Gaya1 ; "\$"

Waitms 50

Goto Mulai

Berhenti:

Do

Kontrol = Inkey()

If Kontrol = 115 Then Goto Mulai 'get ascii s from labVIEW (Start)

Loop

End

