



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN DAN SISTEM AKUISISI
DARI OSILASI TERKOPEL DUA MASSA TIGA PEGAS**

SKRIPSI

**MUHAMMAD LUTHFI
0806365072**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN DAN SISTEM AKUISISI
DARI OSILASI TERKOPEL DUA MASSA TIGA PEGAS**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

**MUHAMMAD LUTHFI
0806365072**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA EKSTENSI
FISIKA 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 : Muhammad Luthfi

NPM : 0806365072

Tanda Tangan :



Tanggal : 6 Juni 2012

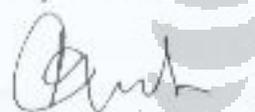
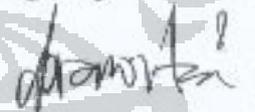
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Luthfi
NPM : 0806365072
Program Studi : S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi
Judul Skripsi : Rancang Bangun dan Sistem Akuisisi dari Osilasi
Terkopel Dua Massa Tiga Pegas

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, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Drs. Arief Sudarmaji, M.T. ()
Pembimbing : Dr. rer. nat. Agus Salam ()
Penguji : Dr. Prawito ()
Penguji : Dr. Cuk Imawan ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT tuhan semesta Alam, pemilik langit dan bumi dan segala sesuatu yang berada di dalamnya. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada manusia termulia nabi Muhammad SAW.

Banyak hambatan dan rintangan yang penulis temui dalam penyusunan skripsi ini, akan tetapi hal tersebut penulis jadikan sebagai pemicu untuk terus berusaha lebih keras. Penulis bersyukur kepada Allah SWT karena banyak hal-hal baru yang penulis temui dalam penyusunan skripsi ini yang menjadi pelajaran bagi penulis untuk pengembangan dimasa yang akan datang. Dan karena rahmat dan petunjukNya lah akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

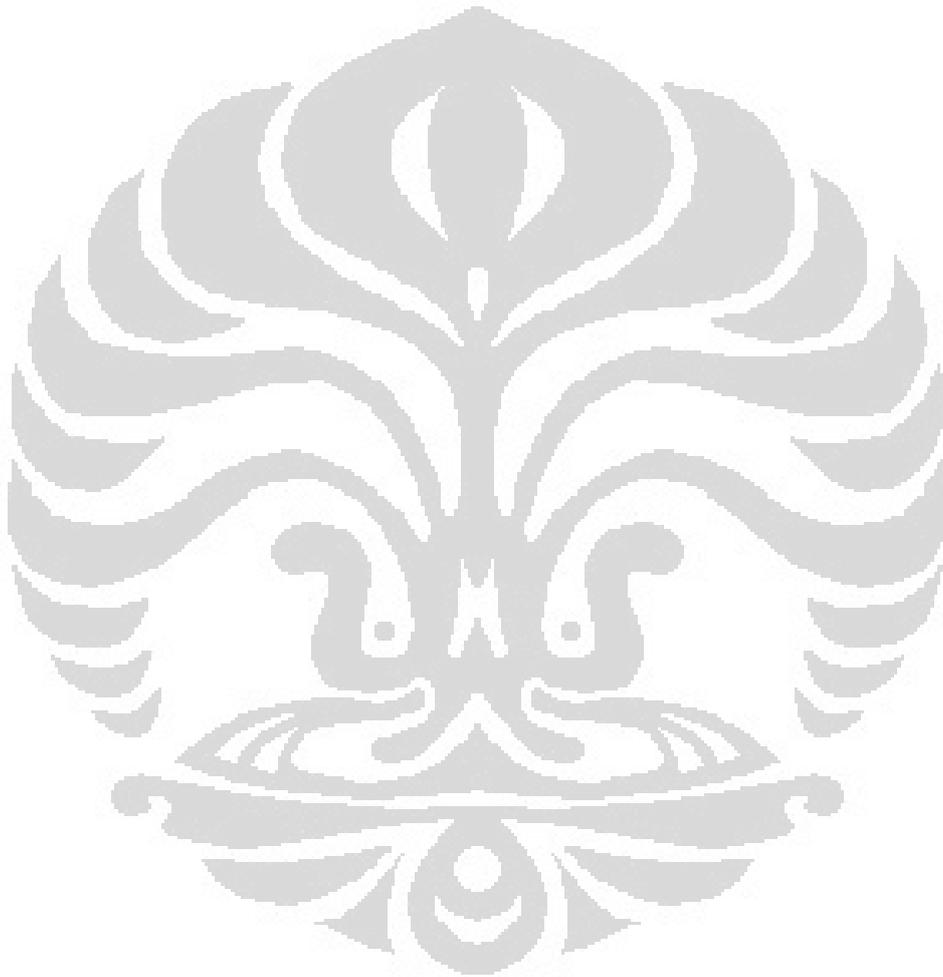
Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika Instrumentasi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sejak dari masa perkuliahan 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. Drs. Arief Sudarmaji, M.T, selaku dosen pembimbing pertama yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Dr. rer. nat Agus Salam, M.Si selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan ilmu, arahan dan bimbingannya.
3. Orang tua penulis yang tak pernah putus memanjatkan doa dan dukungan moril untuk kelancaran, dan keberhasilan penulis menuntut ilmu.
4. Teman-teman kosan Pak Ahmad, Pak Hasan Wongki dan Pak Hariadi yang telah membantu saya dalam transportasi serta dukungan moral.
5. Sahabat-sahabat penulis, Are, Fahrudin, Misbah, Ade, Rahmen sebagai teman seperjuangan penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, Maret 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Muhammad Luthfi
NPM : 0806365072
Program Studi : S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

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 :

**Rancang Bangun dan Sistem Akuisisi dari Osilasi Terkopel
Dua Massa Tiga Pegas**

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 mempublikasikan 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 : 21 Juni 2011
Yang menyatakan,



(Muhammad Luthfi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Luthfi
Program Studi : S1 Ekstensi Fisika Instrumentasi
Judul : Rancang Bangun dan Sistem Akuisisi dari Osilasi Terkopel Dua
Massa Tiga Pegas

Telah dibuat sistem mekanik osilasi terkopel dua massa tiga pegas, pada sebuah air track sebagai pengurang gaya gesek. Sistem akan diberikan gaya luar yang berasal dari motor dc, dengan cara merubah variasi tegangan pada motor. Gaya luar akan menyebabkan dua massa tersebut berosilasi jika frekuensi gaya luar mendekati frekuensi alamiah sistem massa pegas. Akselerometer akan mendeteksi osilasi massa sebagai perubahan percepatan menjadi perubahan nilai tegangan dimana nilai tegangan tersebut akan dibaca sebagai nilai adc pada mikrokontroler yang kemudian ditampilkan pada komputer dalam bentuk gelombang sinus. Besarnya nilai frekuensi gerak sefase dan tidak sefase pada sistem adalah sebesar 4.56 Hz dan 7.92 Hz.

Kata kunci : osilasi terkopel, akselerometer, gerak sefase, gerak tidak sefase

ABSTRACT

Name : Muhammad Luthfi

Study Program : Ekstension Physics Instrumentations

Title : Acquisition System from Coupled Oscillations of Two Mass and
Three Spring Designs

Has made the coupled oscillation mechanic system of two masses and three springs through air track with very little friction force. The system will get force from DC motor; with the voltage across DC motor is varied. This force will cause oscillation of two masses if the frequency of external force approach to frequency of spring mass system itself. The accelerometer will detect the oscillation of mass as velocity changes become voltage value changes which it will be processed by microcontroller as ADC values then presented by computer as sinusoidal wave curve. The frequency of symmetric motion and asymmetric motion in this system are 4.56 Hz and 7.92 Hz.

Keywords: coupled oscillation, accelerometer, symmetric motion, asymmetric motion

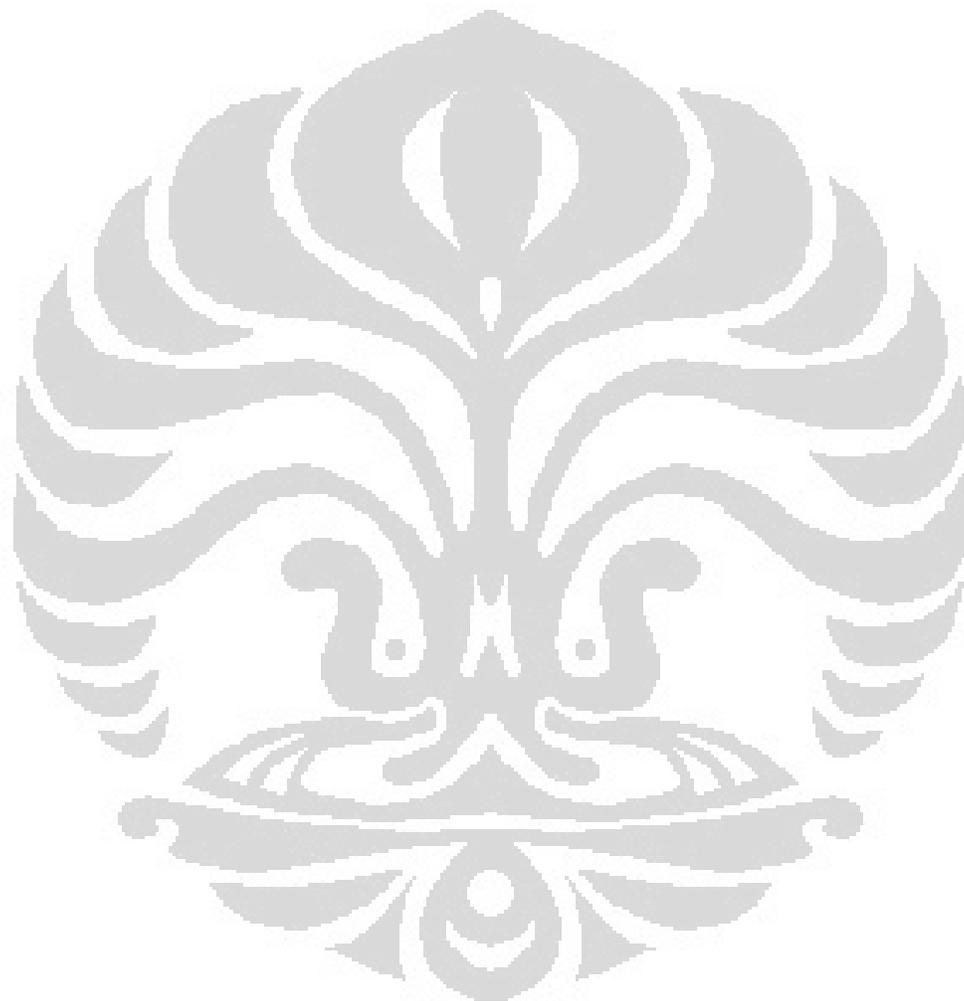
DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
2. TEORI DASAR	5
2.1 Gerak Harmonik Sederhana	5
2.1.1 Gerak Harmonik Sederhana Pada Pegas	6
2.1.2 Gerak Harmonik Tereadam	7
2.2 Gerak Osilasi Terpaksa Tidak Tereadam	9
2.2.1 Gerak Osilasi Terpaksa Tereadam	11
2.2.2 Resonansi	11
2.3 Sensor <i>Accelerometer</i>	12
2.4 Komunikasi Serial	13
2.5 Motor DC	15
2.6 Pulse Width Modulation	16

3. PERANCANGAN SISTEM	18
3.1 Perancangan Sistem Mekanika Osilasi Dua Pegas Tiga Massa	18
3.1.1 Pegas	18
3.1.2 Massa	19
3.1.3 Air Track	19
3.1.4 Motor DC	20
3.1.5 Sumber Udara Tekan	20
3.2 Perancangan Piranti Elektronika Pendeteksi Perpindahan Massa .	21
3.2.1 Sensor Accelerometer	21
3.2.2 Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATmega8 ...	24
3.2.3 Komunikasi Data Serial RS232	26
3.2.4 Komunikasi Data Serial RS485	27
3.3 Perancangan Piranti Lunak	29
3.3.1 Pemrograman Mikrokontroler	29
3.3.2 Pemrograman LabVIEW	30
4. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA	32
4.1 Pengujian Sistem	32
4.1.1 Mencari Nilai Konstanta Pegas	32
4.1.2 Kalibrasi Sensor Accelerometer	35
4.2 Osilasi Terkopel Dua Massa	41
4.2.1 Gerak Sefase Osilasi Terkopel Dua Massa	42
4.2.2 Gerak Beda Fase Osilasi Terkopel Dua Massa	44
5. KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.1 Saran	47
DAFTAR ACUAN	48
LAMPIRAN	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Deskripsi pin accelerometer MMA7260Q	22
Tabel 3.2	Kombinasi logika input <i>pin g-select</i> accelerometer MMA7260Q	23



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik x vs t	5
Gambar 2.2	Gerak harmonik sederhana pada pegas	6
Gambar 2.3	Jenis osilasi teredam	9
Gambar 2.4	Capacitive accelerometer.....	13
Gambar 2.5	Konstruksi Motor DC	15
Gambar 2.6	Sinyal PWM	16
Gambar 2.7	Bentuk signal PWM dengan variasi duty cycle 12.5 % dan 75 %	17
Gambar 3.1	Sistem Mekanika Osilasi Dua Massa Tiga Pegas	18
Gambar 3.2	Massa yang digunakan	19
Gambar 3.3	Air Track	19
Gambar 3.4	Sumber Getaran	20
Gambar 3.5	Blok diagram sistem	21
Gambar 3.6	Perubahan kapasitansi accelerometer MMA7260	22
Gambar 3.7	Konfigurasi pin accelerometer MMA7260Q	22
Gambar 3.8	Modul DC-SS009	23
Gambar 3.9	Konfigurasi pin mikrokontroller ATmega8	25
Gambar 3.10	Minimum sistem mikrokontroller ATmega8	26
Gambar 3.11	Koneksi pin-pin IC MAX-232	27
Gambar 3.12	Koneksi pin-pin IC MAX-485	28
Gambar 3.13	Diagram alur program pengiriman data ADC	30
Gambar 3.14	Diagram alur penerimaan data ADC pada LabVIEW	31
Gambar 4.1	Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas A	33
Gambar 4.2	Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas B	34
Gambar 4.3	Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas C	35
Gambar 4.4	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu x	35
Gambar 4.5	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu y	36
Gambar 4.6	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu z	36
Gambar 4.7	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu x	37

Gambar 4.8	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu y	37
Gambar 4.9	Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu z	38
Gambar 4.10	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu x	38
Gambar 4.11	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu y	39
Gambar 4.12	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu z	39
Gambar 4.13	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu x	40
Gambar 4.14	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu y	40
Gambar 4.15	Perubahan nilai percepatan kenaikan sudut sumbu z	41
Gambar 4.16	Bentuk Transisi Kenaikan Amplitudo Osilasi Gerak Sefase .	43
Gambar 4.17	Bentuk Transisi Penurunan Amplitudo Osilasi Gerak Sefase	43
Gambar 4.18	Bentuk osilasi gerak sefase osilasi terkopel	44
Gambar 4.19	Bentuk kenaikan transisi osilasi dari gerak beda fase.....	45
Gambar 4.20	Bentuk penurunan transisi osilasi dari gerak beda fase.....	45
Gambar 4.21	Bentuk gelombang gerak beda fase osilasi terkopel.....	46



BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab 1 ini menjelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan batasan masalah dari skripsi yang dibuat.

1.1 Latar Belakang

Resonansi memiliki banyak aplikasi dalam berbagai aspek kehidupan. Instrumen musik membutuhkan resonansi untuk dapat menciptakan suara, banyak suara yang kita dengar, seperti ketika benda keras dari logam, kaca, atau kayu yang dipukul, yang disebabkan oleh getaran resonansi singkat pada objek, selain itu listrik dan magnet adalah aplikasi lain yang penting dari sebuah resonansi. Namun resonansi juga bisa merugikan misalnya jika ada bunyi gemuruh yang dihasilkan oleh petir dapat menggetarkan kaca jendela yang dapat mengakibatkan kaca tersebut pecah, pengaruh kecepatan angin pada struktur bangunan jika angin bertiup pada frekuensi yang sama dengan frekuensi alamiah struktur suatu bangunan maka bangunan tersebut berayun dengan amplitudo yang sangat besar sehingga akhirnya roboh, resonansi pada sebuah mesin yang dapat mengakibatkan mesin akan mengalami kegagalan dini dari komponen ataupun strukturnya dan masih banyak contoh lain dari resonansi yang dapat merugikan.

Resonansi sangat sederhana untuk dipahami jika Anda melihat pegas dan massa sebagai elemen penyimpanan energi - dengan massa menyimpan energi kinetik dan pegas menyimpan energi potensial. Ketika massa dan pegas tidak memiliki gaya dari luar yang bekerja pada mereka, maka massa dan pegas akan mentransfer energi bolak-balik di tingkat sama dengan frekuensi alami. Dengan kata lain, jika energi secara efisien akan dipompakan ke massa dan pegas, sumber energi perlu memasukkan energi di tingkat yang sama dengan frekuensi alami. Menerapkan sebuah gaya untuk massa dan pegas adalah serupa dengan mendorong anak di ayunan, anda perlu mendorong pada saat yang tepat jika Anda ingin ayunan untuk mendapatkan lebih tinggi dan lebih tinggi. Seperti dalam kasus ayunan, gaya yang diberikan tidak selalu harus tinggi untuk mendapatkan

gerakan yang besar, mendorong hanya perlu untuk terus menambahkan energi ke dalam sistem.

Setelah mengetahui pengertian dan prinsip kerja dari resonansi, maka penulis akan mencoba melakukan pengukuran frekuensi resonansi dari suatu sistem. Sistem tersebut terdiri dua buah massa yang dihubungkan oleh tiga pegas, dimana pada sistem akan diberikan gaya luar oleh sebuah sumber getaran. Pemberian gaya luar pada sistem akan menyebabkan resonansi jika frekuensi gaya luar mendekati frekuensi alamiah massa pegas.

1.2 Perumusan Masalah

Pada saat sistem mekanik diberikan gaya periodik dari luar, dimana gaya tersebut hanya satu arah, maka gaya tersebut akan mentransfer energi pada massa pertama sistem melalui pegas yang membuat massa tersebut akan berosilasi selama gaya luar tetap diberikan. Selama massa pertama berosilasi, perlahan-lahan massa kedua akan ikut berosilasi karena massa pertama mentransfer energi pada massa kedua melalui pegas. Karena gaya luar terus diberikan, maka terjadi perpindahan energi bolak-balik antara massa pertama dengan massa kedua melalui pegas.

Perpindahan pada kedua massa tersebut akan dideteksi oleh sensor accelerometer yang kemudian data tersebut akan di masukkan pada persamaan osilasi terkopel. Sehingga kita dapat mengetahui frekuensi, pada perpindahan masing-masing massa tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah hal yang menjadi tujuan penelitian.

- Membuat sistem mekanik osilasi dua massa tiga pegas.
- Membuat sumber getaran untuk menggetarkan pegas.
- Membuat piranti elektronika yang mampu mengontrol sumber getaran dan mendeteksi posisi dari percepatan beban pada pegas dan mengirimnya ke computer.
- Membuat piranti lunak yang mampu mengatur sumber getaran kemudian menampilkan data percepatan dan posisi beban pada pegas.

- Mengukur frekuensi resonansi osilasi terkopel dua massa

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini masalah dibatasi pada pembuatan sistem mekanika osilasi dua massa tiga pegas. Perancangan rangkaian mikrokontroller beserta pemrogramannya, program menampilkan data dikomputer dan pengolahan data hasil percobaan berdasarkan persamaan-persamaan fisika tentang gerak terpaksa teredam dan osilasi terkopel.

1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari buku-buku literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, data sheet, dan sumber-sumber lainnya.

2. Perancangan dan Pembuatan Sistem

Perancangan alat merupakan tahap awal penulis untuk mencoba memahami, menerapkan, dan menggabungkan semua literatur yang diperoleh maupun yang telah dipelajari untuk melengkapi sistem serupa yang pernah dikembangkan, dan selanjutnya penulis dapat merealisasikan sistem sesuai dengan tujuan.

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 dan Saran

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data kemudian ditarik kesimpulan dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian akan dibagi menjadi beberapa bab, dengan susunan sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, deskripsi singkat dan sistematika penulisan.

BAB 2. TEORI DASAR

Pada Bab ini berisi tentang konsep gerak harmonik, gerak harmonik teredam, gerak osilasi terpaksa teredam dan gerak osilasi terpaksa tidak teredam.

BAB 3. PERANCANGAN SISTEM

Merupakan penjelasan pembuatan rancangan sistem mekanik sebagai pendukung sistem, piranti elektronik dan software sebagai pengontrol dan menampilkan data sistem yang dibuat.

BAB 4. PENGUJIAN SISTEM DAN PENGAMBILAN DATA

Sistem yang telah dirancang kemudian diuji dengan parameter-parameter yang terkait. Pengujian ini meliputi pengujian *software* dan *hardware* dilakukan secara simultan. Di samping pengujian, proses pengambilan data kerja sistem ini juga dituliskan di bab ini untuk memastikan kemampuan sistem secara keseluruhan. Dari hasil ini dapat dilakukan analisa terhadap kerja sistem, sehingga dapat diketahui apa yang menjadi penyebab dari kendala atau kegagalan bila selama kegiatan penelitian ditemui hal-hal tersebut.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan sistem yang telah dibuat. Penulis juga akan memberikan saran bagi penelitian lanjutan (tinjauan ilmiah) dan praktisi di kalangan industri berdasarkan hasil yang dicapai dalam penelitian ini.

BAB 2

TEORI DASAR

Pada bab 2 membahas tentang teori dasar yang menyangkut dengan skripsi yang dibuat. Teori tersebut tentang gerak harmonik sederhana, gerak harmonik terpaksa teredam, gerak harmonik terpaksa tidak teredam dan resonansi. Selain itu membahas teori dari komponen elektronik yang mendukung skripsi ini.

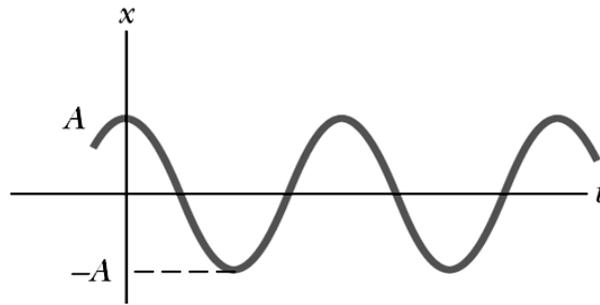
2.1 Gerak Harmonik Sederhana

Jika sebuah benda yang melakukan gerak lurus berubah beraturan dan mempunyai percepatan yang tetap. Ini berarti pada benda senantiasa bekerja gaya yang tetap baik arahnya maupun besarnya. Bila gayanya selalu berubah-ubah, maka percepatannya pun berubah-ubah pula. Gerak yang berulang dalam selang waktu yang sama disebut Gerak Periodik. Gerak periodik ini selalu dapat dinyatakan dalam fungsi sinus atau cosinus oleh sebab itu gerak periodik disebut Gerak Harmonik. Jika gerak yang periodik ini bergerak bolak-balik melalui lintasan yang sama disebut Getaran atau Osilasi.

Kita misalkan sebuah sistem mempunyai koordinat x sinusoidal terhadap waktu. Grafik dari koordinat x terhadap waktu (t) ditunjukkan pada gambar 2.1. Misalkan sebuah partikel mempunyai periodik, mempunyai gerak sinusoidal pada sumbu x , dan partikel tersebut bergerak antara $x = +A$ dan $x = -A$. Maka persamaan umum (H.J Pain, 2005) untuk $x(t)$ adalah :

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

A merupakan amplitudo gerak dan ω frekuensi angular. Jika waktu t bertambah dengan jumlah $\frac{2\pi}{\omega}$, maka kosinus bertambah sebanyak 2π dan nilai dari x akan sama. Jadi gerakan berulang dengan sendirinya setelah interval waktu $\frac{2\pi}{\omega}$, yang kita notasikan sebagai T , periode dari gerakan. Jumlah osilasi per waktu yang diberikan oleh $f = \frac{1}{T}$ disebut frekuensi gerakan :



Gambar 2.1 Grafik x vs t

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.2)$$

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

Dari $x(t)$ kita mendapatkan kecepatan partikel(H.J Pain, 2005) :

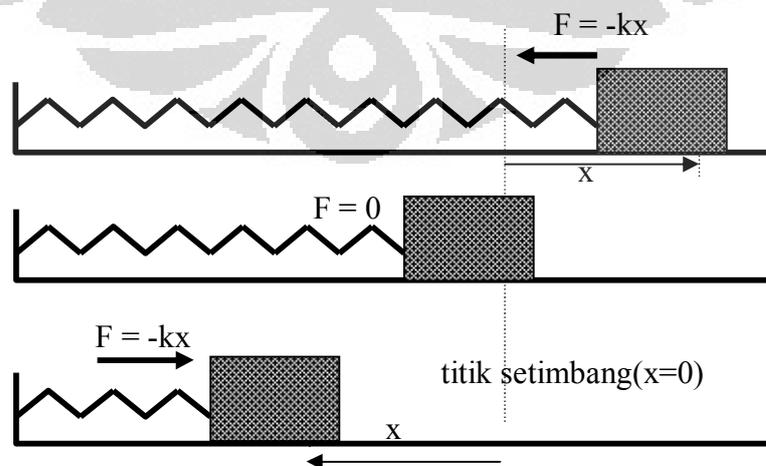
$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \phi) \quad (2.4)$$

Dan percepatannya memenuhi persamaan(H.J Pain, 2005) :

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.5)$$

2.1.1 Gerak Harmonik Sederhana Pada Pegas

Sebuah benda bermassa m yang diikatkan pada pegas ideal dengan konstanta gaya k dan bebas bergerak di atas permukaan horizontal yang licin (tanpa gesekan), merupakan contoh osilator harmonik sederhana. Dibawah ini merupakan salah satu ilustrasi gerak harmonik sederhana pada pegas.



Gambar 2.2 Gerak harmonik sederhana pada pegas

Gaya pemulih pada balok oleh pegas , $F = -kx$, gaya ini selalu menuju ke titik setimbang ($x = 0$). Dari hukum Newton, $F = ma$ diperoleh(H.J Pain, 2005) :

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.6)$$

$$-kx = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.7)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x \quad (2.8)$$

Karena $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x$, maka

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.9)$$

Dari frekuensi angular ω kita dapat menemukan perioda T dan frekuensi f dari sebuah gerakan :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.10)$$

2.1.2 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 benda. Gaya hambat biasanya dinyatakan sebagai $F = -bv$ arah berlawanan dan b adalah konstanta menyatakan besarnya redaman. Dengan gaya pemulih dari sistem $-kx$ maka persamaan sistem(H.J Pain, 2005) dapat ditulis :

$$F = -kx - bv \quad (2.11)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + bv + kx = 0 \quad (2.12)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (2.13)$$

Jika nilai b adalah 0, kita dapat mengetahui penyelesaiannya menggunakan persamaan 2.1. Kita juga mengetahui bahwa nilai amplitudo akan berkurang bersamaan dengan waktu, mungkin nilai A tergantung terhadap waktu dalam bentuk berikut $A = e^{-\alpha t}$ dimana nilai α belum diketahui. Selain itu frekuensi angular dari osilasi mungkin tidak sama dengan $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ karena peredaman mungkin cenderung memperlambat gerak. Sehingga untuk persamaannya (H.J Pain, 2005) menjadi :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (2.14)$$

Mari kita coba mencari penyelesaian dalam bentuk:

$$x = A_0 e^{-\alpha t} \cos(\omega t + \phi); \quad \text{nilai } \alpha, \omega \text{ dan } A_0 \text{ konstan} \quad (2.15)$$

Dengan menggantikan persamaan 2.15 pada persamaan 2.14, kita mendapatkan

$$\left(-\omega^2 + \alpha^2 - \alpha \frac{b}{m} + \frac{k}{m}\right) \cos(\omega t + \phi) + \left(2\omega\alpha - \omega \frac{b}{m}\right) \sin(\omega t + \phi) = 0 \quad (2.16)$$

Dari persamaan tersebut diatas, kita memerlukan bahwa kedua koefisien hilang maka hubungan ini akan berlaku sepanjang waktu t , sehingga :

$$2\omega\alpha - \omega \frac{b}{m} = 0, \quad \alpha = \frac{b}{2m} \quad (2.17)$$

$$-\omega^2 + \alpha^2 - \alpha \frac{b}{m} + \frac{k}{m} = 0, \quad \omega^2 = \frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2 \quad (2.18)$$

Maka kita dapat menyelesaikan persamaannya menjadi :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (\omega_0^2 = \sqrt{k/m}) \quad (2.19)$$

Kemudian penyelesaiannya menjadi

$$x(t) = A_0 e^{(-b/2m)t} \cos(\omega t + \phi) \quad (2.20)$$

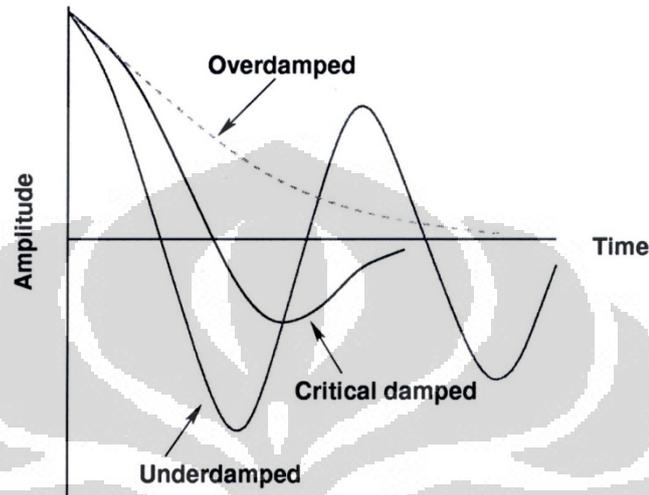
Hubungan frekuensi ω dengan ω_0 adalah

$$\omega^2 = \omega_0^2 - (b/2m)^2 \quad (2.21)$$

- Untuk b nilainya kecil ($b/2m \ll \omega_0$) maka $\omega^2 = \omega_0^2 - (b/2m)^2$, $\omega \approx \omega_0$ berarti tidak ada redaman.
- Jika $b = b_c = 2m\omega_0$ ini disebut *critically damped oscillation*. Pada kondisi ini sistem tidak berosilasi dan akan mendekati titik kesetimbangan dari suatu titik diluar titik kesetimbangan.

- Jika $b > b_c$ maka sistem dikatakan sebagai overdamped oscillation. Pada kondisi ini sistem tidak berosilasi akan tetapi akan kembali kepada titik kesetimbangan.

Grafik dari ketiga macam osilasi teredam diperlihatkan dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 Jenis osilasi teredam

2.2 Gerak Osilasi Terpaksa Tidak Teredam

Pada kasus sistem yang berosilasi sederhana akan berosilasi selamanya, tetapi pada setiap sistem mempunyai redaman sehingga sistem akan berhenti berosilasi. Untuk mempertahankan suatu sistem osilator, maka energi berasal dari sumber luar harus diberikan pada sistem yang besarnya sama dengan energi disipasi yang ditimbulkan oleh medium peredamnya, osilasi yang demikian disebut osilasi paksaan. Pada kasus tersebut energi luar sistem memberikan gaya sinusoidal bervariasi dengan waktu yang diberikan oleh persamaan (Marion & Thornton, 2004)

$$F(t) = F_0 \cos \omega t \quad (2.22)$$

Pada persamaan tersebut diatas F_0 adalah konstanta yang mencirikan kekuatan dari gaya pendorong dan ω merupakan frekuensi angular. Kekuatan tambahan memungkinkan sistem untuk menjalani gerak disebut osilasi paksa atau didorong. Secara khusus, sistem dapat bergerak dengan gerakan sinusoidal teredam memiliki frekuensi sudut yang sama sebagai penggerak. Jika ada gaya

dorong yang diberikan pada persamaan 2.22 dan tidak ada gaya redaman maka persamaan geraknya menjadi

$$-kx + F_0 \cos \omega t = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.23)$$

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \quad (2.24)$$

Pada persamaan diatas memiliki frekuensi sebagai gaya pendorong, oleh karena itu kami mencoba solusi dalam bentuk $x = A' \cos \omega t$. Dimana A' konstan yang akan ditentukan. Substitusi ke persamaan 2.23 dan 2.24, kita menemukan bahwa itu adalah solusi hanya jika

$$A' = \frac{F_0/m}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (2.25)$$

kemudian

$$x = \frac{F_0/m}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t \quad (2.26)$$

Amplitudo A' osilasi paksa sebanding dengan kekuatan F_0 dari gaya pendorong, seperti yang kita harapkan. Hal ini sangat tergantung pada frekuensi angular ω gaya pendorong, ketika frekuensi ini sama dengan frekuensi angular ω_0 osilasi bebas dari sistem A' adalah tak terbatas. Ketergantungan kritis amplitudo pada frekuensi sudut dari gaya pendorong disebut resonansi. Nilai dari A' tidak bebas dan tidak ditentukan oleh kondisi awal, tidak seperti konstanta A, B atau C pada persamaan sebelumnya.

Jika $\omega < \omega_0$, A' positif dan osilasi paksa dalam fase dengan gaya pendorong; nilai osilasi paksa dan gaya pendorong mempunyai tanda yang sama. Jika $\omega > \omega_0$, A' negatif dan osilasi paksa dengan gaya pendorong setengah siklus keluar fase. Pada persamaan 2.25 dan 2.26 masih belum lengkap, untuk itu penyelesaian secara umum memenuhi persamaan (Marion & Thornton, 2004) berikut

$$x = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t + \frac{F_0/m}{\omega_0^2 - \omega^2} \cos \omega t \quad (2.27)$$

2.21 Gerak Osilasi Terpaksa Teredam

Jika gaya paksa sinusoidal pada persamaan 2.22 diberikan pada osilasi harmonik teredam maka persamaan (Marion & Thornton, 2004) gerakannya menjadi

$$-kx - b \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t = m \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.28)$$

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \quad (2.29)$$

Karena persamaan 2.28 dan 2.29 sekarang berisi kedua derivatif pertama dan kedua, solusi akan mengandung kedua $\cos \omega t$ dan $\sin \omega t$, atau suatu fungsi kosinus dengan sudut fase. Oleh karena itu kami mencoba solusi tertentu dalam bentuk

$$x = A' \cos(\omega t + \phi) \quad (2.30)$$

dimana nilai A' dan ϕ akan ditentukan

Jika persamaan 2.30 disubstitusikan ke persamaan 2.28 dan 2.29 maka persamaannya akan menjadi

$$A' = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (2\gamma\omega)^2}}, \quad \tan \phi = \frac{2\gamma\omega}{\omega^2 - \omega_0^2} \quad (2.31)$$

Penyebut dalam lambang A' sering disingkat sebagai $D_{(\omega)}$

$$D_{(\omega)} = \sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (2\gamma m)^2}, \quad A'_{(\omega)} = \frac{F_0/m}{D_{(\omega)}} \quad (2.32)$$

Ketergantungan dari A' dan D pada ω ditulis secara eksplisit sebagai pengingat bahwa amplitudo osilasi paksa sangat tergantung pada frekuensi sudut ω dari gaya paksa.

2.22 Resonansi

Sebuah grafik dari A' sebagai fungsi dari frekuensi paksa ω menunjukkan bahwa A' mencapai maksimum pada nilai tertentu dari ω . Untuk menemukan nilai ini, kita mengambil turunan dari persamaan 2.31 sehubungan dengan ω dan mengaturnya sama dengan nol. Kami menemukan bahwa nilai maksimum dari A' terjadi ketika

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2} \quad (2.33)$$

Seperti dalam kasus teredam, puncak dari amplitudo pada frekuensi sudut tertentu disebut resonansi, dan grafik dari A' sebagai fungsi dari ω disebut kurva resonansi. Dalam pendekatan redaman ringan, puncaknya terjadi sekitar $\omega = \omega_0$, tetapi secara umum terjadi pada frekuensi yang agak kurang dari ω_0 , seperti ditunjukkan pada persamaan 2.33. Selain itu, dalam kasus redaman ringan kurva sempit dan memuncak tajam, sementara dengan redaman yang lebih besar kurvanya lebih luas dan tidak tinggi.

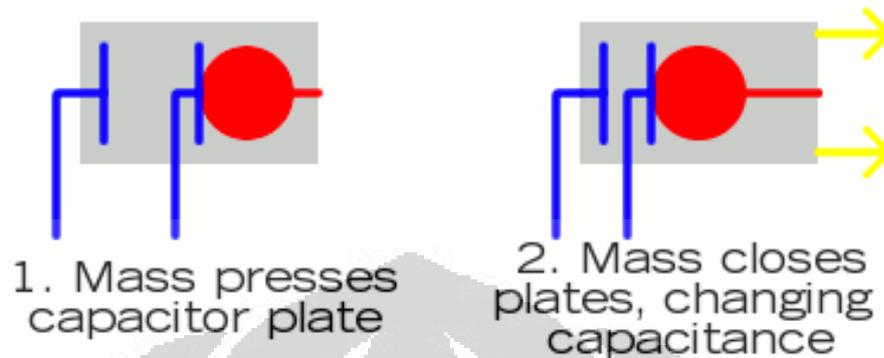
Fase osilasi terpaksa relatif terhadap gaya pendorong diberikan oleh sudut ϕ dalam persamaan 2.31. Ketika ω mendekati nol, ϕ adalah hampir nol dan keduanya hampir dalam satu fase. Seiring dengan peningkatan ω , ϕ menjadi lebih dan lebih negatif. Ketika $\omega = \omega_0$, $\phi = -\pi/2$, dan ketika ω menjadi sangat besar ϕ mendekati $-\pi$ dan gaya dan perpindahan hampir setengah siklus keluar dari fase. Perilaku ini dapat dibandingkan dengan yang dari teredam, osilator terpaksa, di mana perubahan fase tiba-tiba dari 0 ke $-\pi$ saat $\omega = \omega_0$.

2.3 Sensor Akselerometer

Akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi.

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. Akselerometer yang diletakan 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. 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 2.4 Capacitive accelerometer

2.4 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 8 bit 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 dibandingkan dengan interface parallel. Komunikasi serial ada 2 macam, *asynchronous* serial dan *synchronous* serial :

- *Synchronous serial* 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.

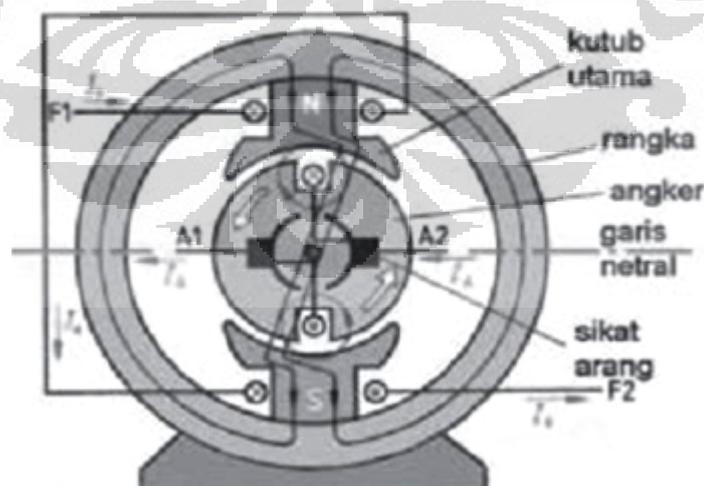
System komunikasi serial bisa dengan menggunakan berbagai macam protocol . protocol-protocol yang bisa digunakan untuk komunikasi serial adalah sebagai berikut :

- 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, Jadi system komunikasinya yaitu 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 digunakan dalam aplikasi-aplikasi komunikasi data dengan RS232.
- RS485 adalah komunikasi data serial yang metode pengoperasiannya adalah differential, artinya level tegangan pengoperasiannya adalah diferensial dari Line A dan Line B. Line untuk komunikasi serial RS485 adalah 4 wire, 2 wire untuk Transmitter dan 2 wire lagi untuk receiver, 2 wire yang satu disebut dengan Line A,B Transmitter dan 2 wire lainnya Line Y,Z Receiver, sinyal yang disebut sinyal diferensial itu yaitu adalah diferensial antara Line A dan Line B.

2.5 Motor DC

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.

Gaya elektromagnet pada motor DC timbul saat ada arus yang mengalir pada penghantar yang berada dalam medan magnet. Medan magnet itu sendiri ditimbulkan oleh megnet permanen. Garis-garis gaya magnet mengalir diantara dua kutub magnet dari kutub utara ke kutub selatan. Menurut hukum gaya Lorentz, arus yang mengalir pada penghantar yang terletak dalam medan magnet akan menimbulkan gaya. Gaya F , timbul tergantung pada arah arus I , dan arah medan magnet B .



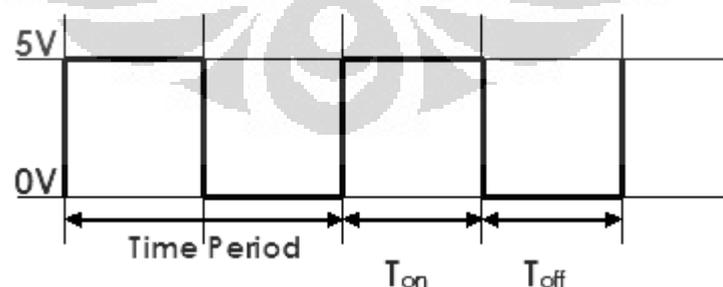
Gambar 2.5 Konstruksi Motor DC

Belitan stator merupakan elektromagnet, dengan penguat magnet terpisah F1-F2. Belitan jangkar ditopang oleh poros dengan ujung-ujungnya terhubung ke komutator dan sikat arang A1-A2. Arus listrik DC pada penguat magnet mengalir dari F1 menuju F2 menghasilkan medan magnet yang memotong belitan jangkar. Belitan jangkar diberikan listrik DC dari A2 menuju ke A1. Sesuai kaidah tangan kiri jangkar akan berputar berlawanan jarum jam.

Gaya elektromagnet pada motor DC timbul saat ada arus yang mengalir pada penghantar yang berada dalam medan magnet. Medan magnet itu sendiri ditimbulkan oleh magnet permanen. Garis-garis gaya magnet mengalir diantara dua kutub magnet dari kutub utara ke kutub selatan. Menurut hukum gaya Lorentz, arus yang mengalir pada penghantar yang terletak dalam medan magnet akan menimbulkan gaya. Gaya F , timbul tergantung pada arah arus I , dan arah medan magnet B .

2.6 Pulse Width Modulation

PWM adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengontrol kerja dari suatu alat atau menghasilkan suatu tegangan DC yang variabel. Rangkaian PWM adalah rangkaian yang lebar pulsa tegangan keluarannya dapat diatur atau dimodulasi oleh sebuah sinyal tegangan modulasi. Disamping itu kita dapat menghasilkan suatu sinyal PWM dengan menentukan frekuensi dan waktu dari variabel ON dan OFF. Pemodulasian sinyal yang beragam dapat menghasilkan duty cycle yang diinginkan.



Gambar 2.6 Sinyal PWM

Pada gambar 2.5 adalah salah satu bentuk gelombang dari signal PWM. T_{on} adalah waktu keluaran bernilai tinggi “ high “ dan T_{off} waktu keluaran bernilai rendah “ low ”. Sedangkan $T_{Periode}$ adalah waktu keseluruhan dari gelombang PWM tersebut. Dimana

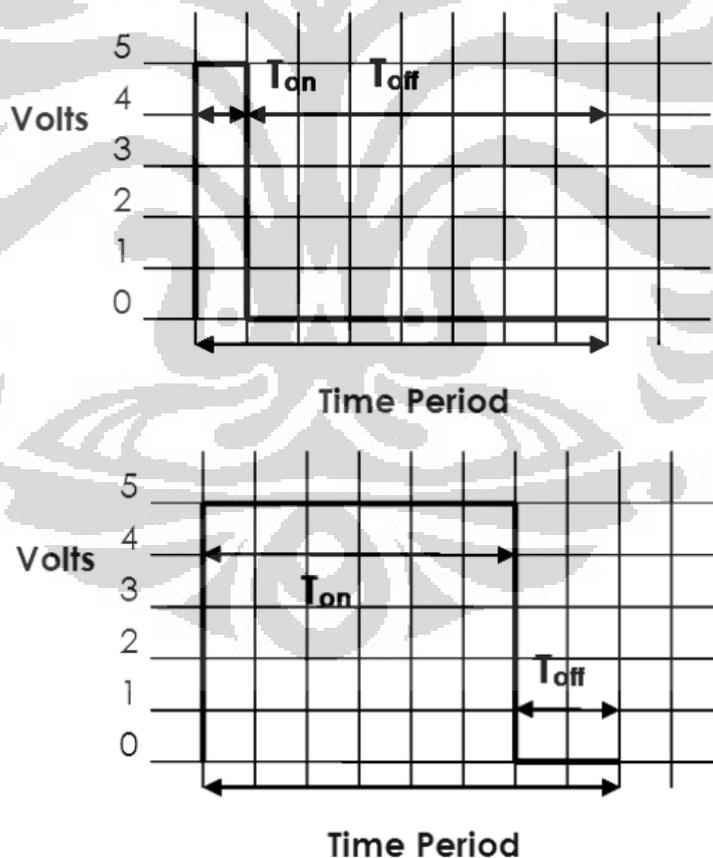
$$T_{Periode} = T_{on} + T_{off} \quad (2.34)$$

Duty cycle dari gelombang PWM didefinisikan sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{Periode}} \times 100 \quad (2.35)$$

Sedangkan tegangan keluraran dari signal PWM adalah

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.36)$$



Gambar 2.7 Bentuk signal PWM dengan variasi duty cycle 12.5 % dan 75 %

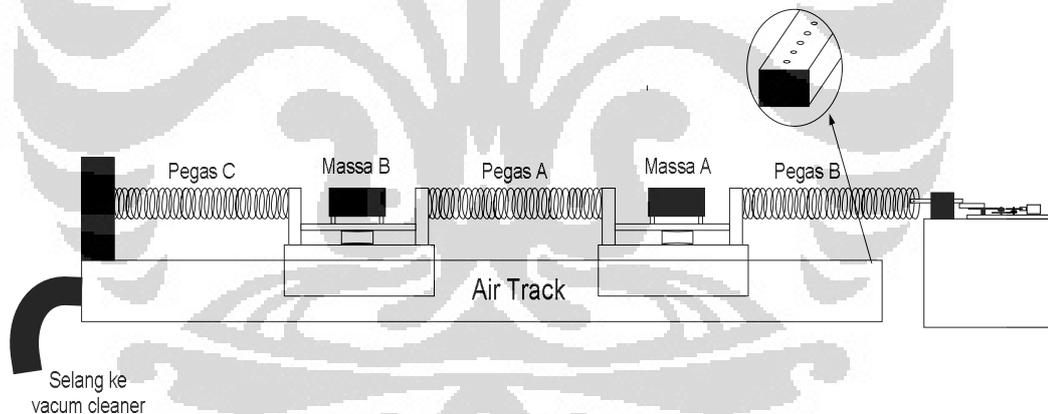
BAB 3

PERANCANGAN DAN CARA KERJA SISTEM

Pada bab ini akan menjelaskan bagaimana merancang sistem mekanik serta komponen pendukungnya serta perancangan piranti elektronik dan piranti software.

3.1 Perancangan Sistem Mekanika Osilasi Dua Pegas Tiga Massa

Pada sistem mekanika ini terdiri dari *air track*, dua buah massa, tiga pegas, motor dc dan sumber udara tekan. Dua buah massa tersebut akan dihubungkan oleh tiga pegas dengan salah satu ujung pegas dihubungkan dengan motor dc dan ujung pegas yang lainnya pada sebuah tiang. *Air track* pada sistem mekanika ini digunakan untuk mengurangi gesekan jika terjadi perpindahan pada massa tersebut, dan air track akan dihubungkan dengan sumber udara tekan untuk mengangkat dua buah massa tersebut sehingga gesekan bisa berkurang.



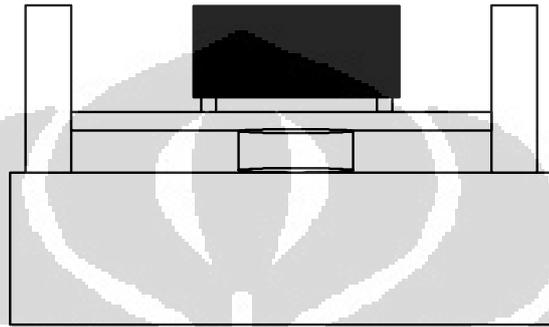
Gambar 3.1 Sistem Mekanika Osilasi Dua Massa Tiga Pegas

3.1.1 Pegas

Pegas yang digunakan adalah pegas tekan dan pegas tarik, dengan diameter bahan pegas 0.6 mm dan berat 2.8 gram. Konstanta pegas yang digunakan adalah sebesar 2.7, 2.83 dan 2.86 N/m. Konstanta pegas didapatkan dengan memberikan variasi penambahan beban pada pegas kemudian menghitung berapa simpangan pada tiap variasi beban.

3.1.2 Massa

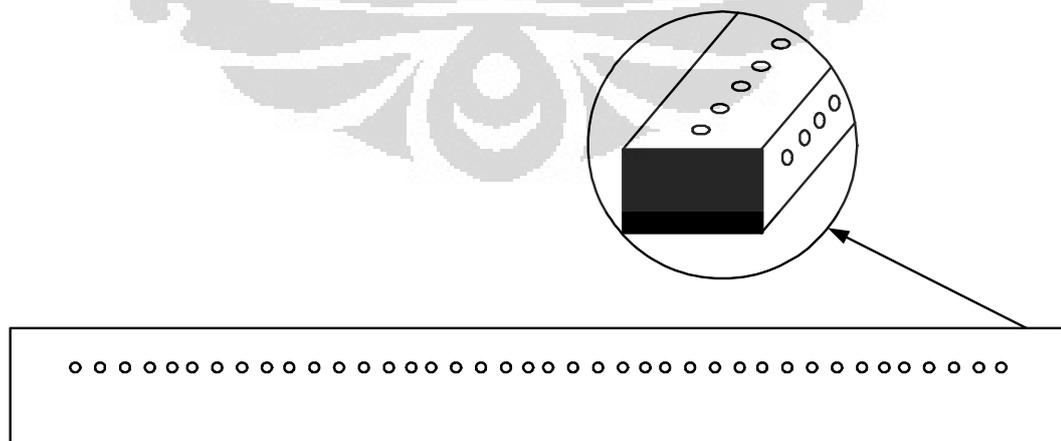
Massa yang digunakan pada sistem ini terbuat dari bahan acrylic yang dibentuk sedemikian rupa agar supply udara mampu mengangkat massa tersebut untuk mengurangi gaya gesek, dimana pada masing-masing massa tersebut berisi piranti elektronika sensor. Berat keseluruhan dari massa A dan B adalah sebesar 234,7 gram dan 229,2 gram.



Gambar 3.2 Massa yang digunakan

3.1.3 Air Track

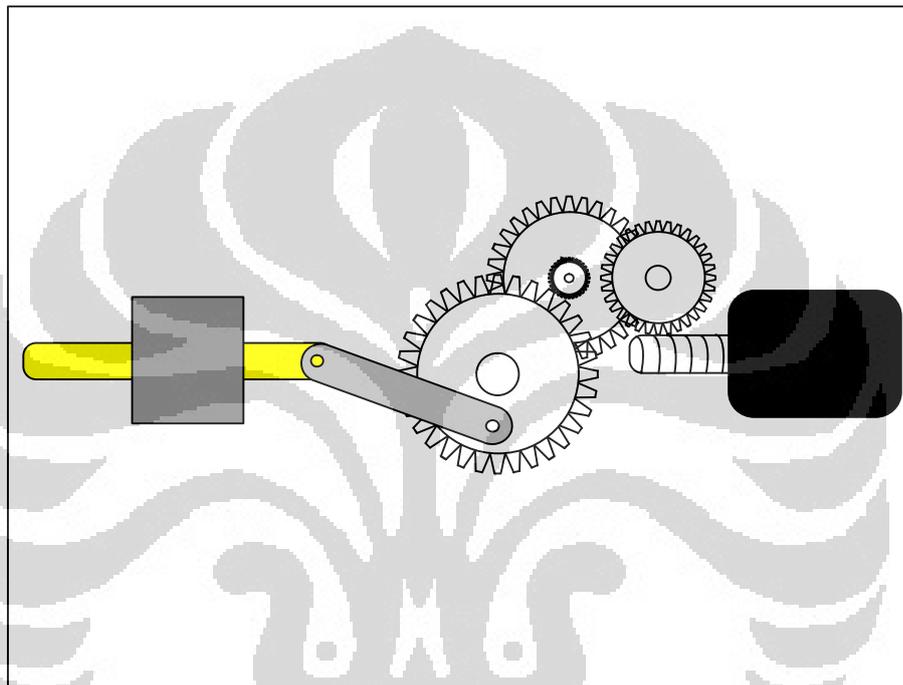
Bahan yang digunakan untuk membuat air track adalah batang aluminium yang mempunyai panjang 60 cm, tebal 1 mm, dan dimensi 2.5 cm x 3.8 cm. Pada batang aluminium tersebut akan dibuat lubang untuk jalur udara, dengan diameter lubang 0.6 mm dan jarak antar lubang 1 cm. Lubang-lubang tersebut akan dibuat pada titik tengah sepanjang batang aluminium.



Gambar 3.3 Air Track

3.1.4 Motor DC

Pada sistem mekanik ini, motor dc digunakan sebagai sumber getar untuk menggetarkan pegas. Hal tersebut bertujuan jika pegas diberi getaran maka massa pada sistem tersebut akan ikut bergerak. Motor DC tersebut terangkai dengan gear agar pergerakan yang dihasilkan oleh motor lebih stabil. Pada gear tersebut kemudian dihubungkan dengan sebuah lengan untuk merubah gerakan putar motor menjadi gerakan linear yang dapat mendorong pegas.



Gambar 3.4 Sumber Getaran

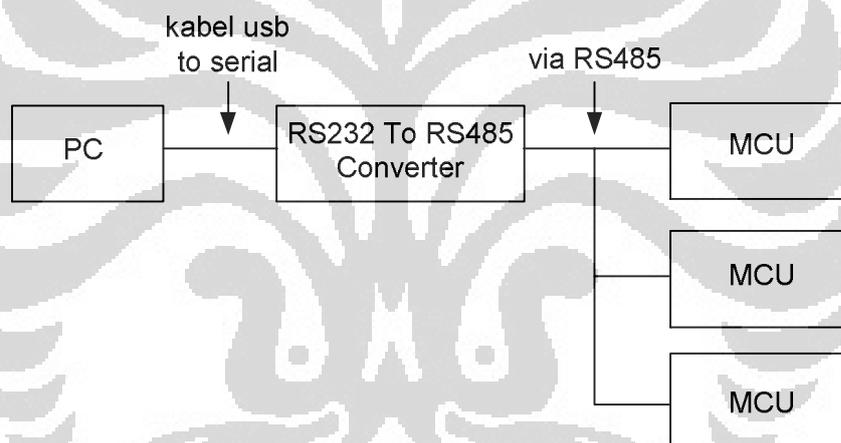
3.1.5 Sumber Udara Tekan

Pada sistem tersebut juga dibutuhkan mesin sumber udara pada air track, oleh karena itu vacuum cleaner digunakan. Penulis memanfaatkan saluran buang pada vacuum cleaner sehingga pada saat mesin tersebut menghisap udara maka pasti akan membuang kembali udara tersebut keluar. Buangan udara dari vacuum cleaner tersebut dapat digunakan sebagai sumber udara tekan pada air track.

3.2 Perancangan Piranti Elektronika Pendeteksi Perpindahan Massa

Piranti elektronika ini dimulai dengan pendeteksi perpindahan masing-masing massa pada sistem. Pada saat sistem diberi getaran maka getaran tersebut akan mentransfer energi yang membuat massa bergerak. Untuk dapat mengukur perpindahan pada masing-masing massa, maka digunakan sensor accelerometer, rangkaian minimum sistem mikrokontroller dan komunikasi serial sebagai penghubung antara piranti elektronik dengan computer.

Sensor accelerometer ditempatkan pada masing-masing massa, pada saat massa bergerak maka akan terjadi perubahan besaran percepatan menjadi besaran listrik. Besaran listrik tersebut adalah berupa tegangan analog yang kemudian diumpankan ke rangkaian ADC pada mikrokontroller. Pada mikrokontroller data tersebut kemudian diteruskan menuju komputer melalui port serial.

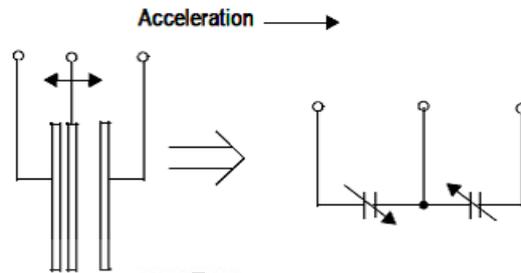


Gambar 3.5 Blok diagram sistem

3.2.1 Sensor Accelerometer

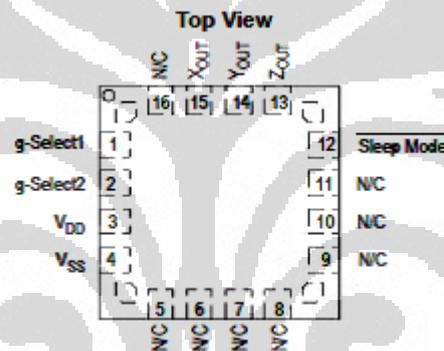
Sensor accelerometer digunakan untuk mendeteksi perubahan percepatan dari osilasi terkopel dua massa. Perubahan percepatan osilasi ini terjadi karena adanya gaya luar pada sistem mekanik. Accelerometer yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *three axis MMA7260QT accelerometer* buatan *Freescale Semiconductor* dengan sensitivitas 1,5g sampai 6g. Accelerometer tipe ini bekerja dengan prinsip perubahan kapasitansi yang terangkai dalam satu chip. Analogi prinsip kerja accelerometer tipe ini ditunjukkan pada gambar 3.3. 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.



Gambar 3.6 Perubahan kapasitansi accelerometer MMA7260

Accelerator MMA7260QT memiliki 16 pin dengan konfigurasi pin seperti pada gambar 3.4, sedangkan deskripsi pin nya ada pada table 3.1.



Gambar 3.7. Konfigurasi pin accelerometer MMA7260Q

Tabel 3.1 Deskripsi pin accelerometer MMA7260Q

Pin No.	Pin Name	Description
1	g-Select1	Logic input pin to select g level.
2	g-Select2	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 product or Sleep Mode.
13	Z _{OUT}	Z direction output voltage.
14	Y _{OUT}	Y direction output voltage.
15	X _{OUT}	X direction output voltage.
16	N/C	No internal connection. Leave unconnected.

Fitur utama dari chip ini adalah sensitivitasnya yang dapat dipilih (1,5g/2g/4g/6g) melalui pin *g-select*. Kombinasi logika input dari pin *g-select* ini akan menentukan besarnya sensitivitas tersebut. Tabel 3.2 memperlihatkan kombinasi logika input pada pin *g-select*.

Tabel 3.2 Kombinasi logika input *pin g-select* accelerometer MMA7260Q

g-Select2	g-Select1	g-Range	Sensitivity
0	0	1.5g	800 mV/g
0	1	2g	600 mV/g
1	0	4g	300 mV/g
1	1	6g	200 mV/g

Fitur lainnya adalah *sleep mode* koneksinya ada pada pin 12. Ketika *sleep mode* ini aktif dengan memberikan logika nol pada pin 12, output dari accelerometer ini akan off sehingga akan menurunkan arus operasi pada kondisi typical 500 μ A menjadi arus pada kondisi *sleep mode* 3 μ A.

Pada tugas akhir ini digunakan IC accelerometer MMA7260QT yang sudah dipadukan dengan modul DC-SS009 sebagai modul sensor accelerometernya. Modul ini telah memadukan chip MMA7260 dengan komponen diskrit yang dirangkai sehingga penggunaanya mudah melakukan koneksi antarmuka dengan piranti lain. Didalam modul DC-SS009 telah terpadu rangkaian lowpass filter untuk setiap keluaran analog masing-masing axis dan regulator beda tegangan 5 volt menjadi 3.3 volt. Gambar 3.5 menunjukkan modul DC-SS009 yang digunakan.



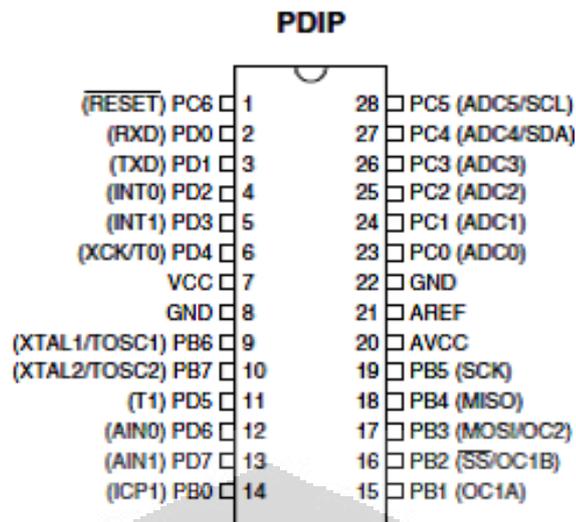
Gambar 3.8 Modul DC-SS009

Untuk mengukur percepatan dari sistem yang dibuat, sensor accelerometer diset dengan range pengukuran 1,5g dimana setelah dilakukan percobaan percepatan yang terukur tidak melebihi dari range pengukuran yang dipilih. Pemilihan range 1,5g dilakukan dengan menset pin *g-select* 1 dan 2 pada kondisi 0. Untuk range pengukuran ini sensitivitas dari sensor berdasarkan data sheet adalah 800mV/g. Data pengukuran yang akan diambil dari pembacaan sensor accelerometer ini adalah pengukuran dari sumbu Y. Dengan memposisikan arah Y yang tertera pada sensor ke atas atau ke bawah maka data pengukuran percepatan pada sumbu Y akan didapat.

3.2.2 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 tugas akhir 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.

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 channel ADC dengan akurasi 10 bit dan programmable watchdog timer dengan internal oscillator. Gambar konfigurasi pin dari ATmega8 dapat dilihat pada gambar 3.5.

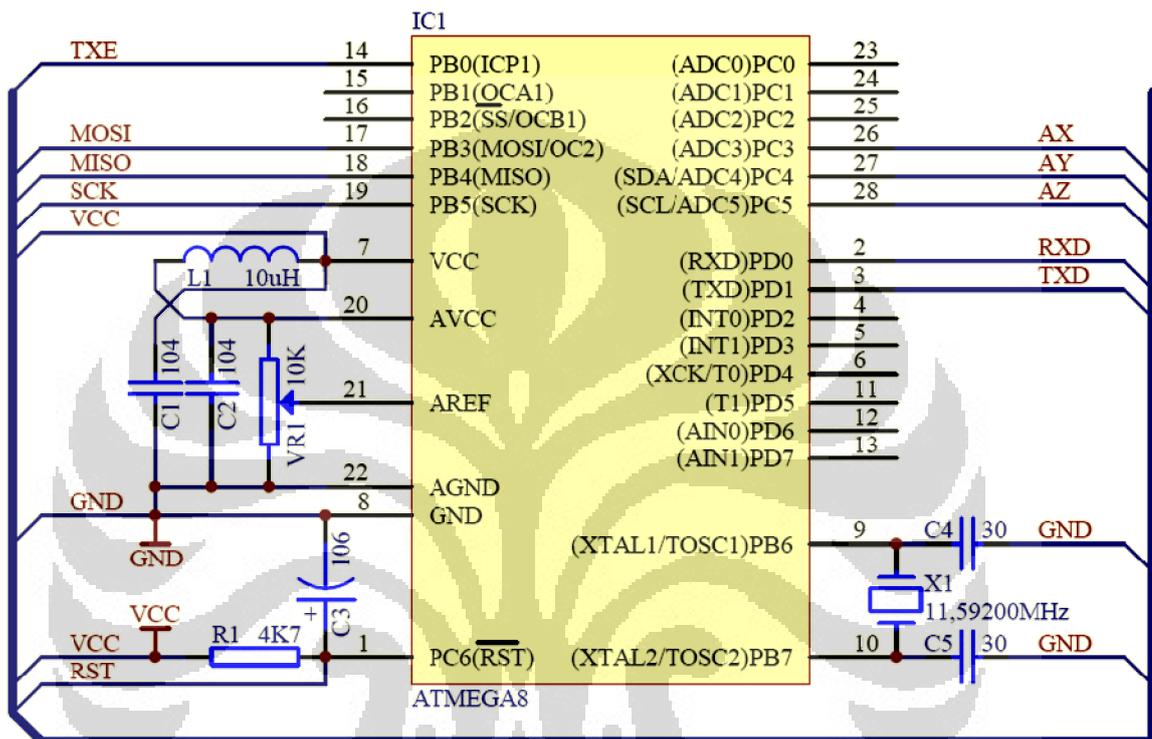


Gambar 3.9 Konfigurasi pin mikrokontroler ATmega8

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 mikrokontroler melalui pin ADC untuk dikonversi dan dikuantisasi menjadi signal digital. ADC yang terintegrasi pada IC mikrokontroler ATmega 8 adalah ADC 10 bit yang berarti bahwa *full scale* output ADC dalam bentuk desimal adalah 1023. Pin AREF pada mikrokontroler 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 1,5 g output tegangan analog dari accelerometer pada kondisi 1g adalah 2,45V. yang akan Besarnya tegangan referensi yang diberikan pada perancangan sistem ini adalah sebesar 3,3 V.

Untuk memprogram mikrokontroler dilakukan secara *In-System Programming* (ISP) sehingga pin MOSI, MISO, SCK pada mikrokontroler dihubungkan dengan konektor ISP programmer. Pembangkit clock untuk

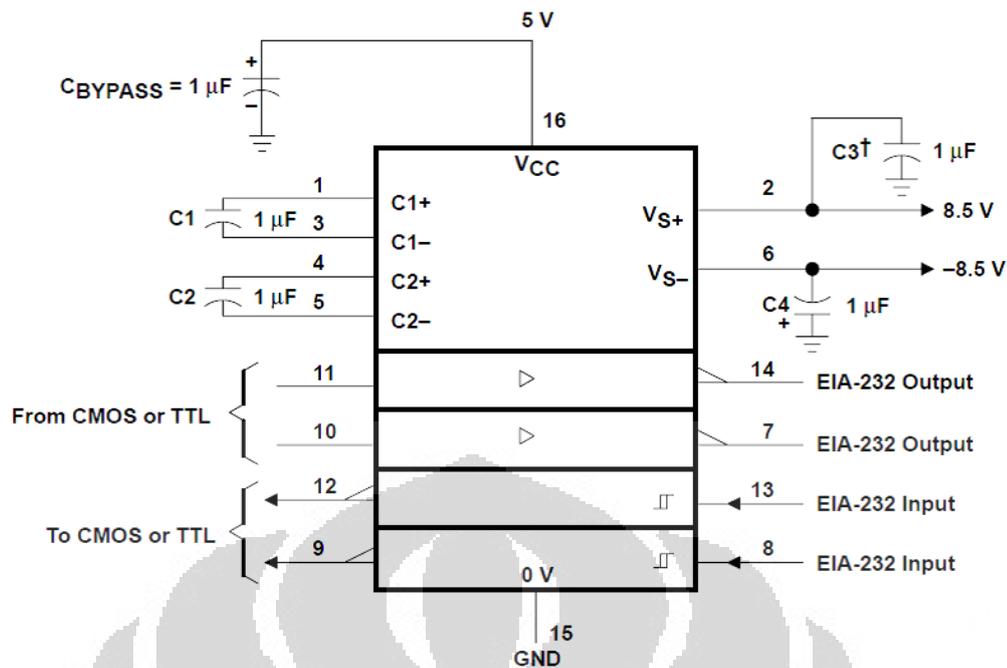
mikrokontroler berasal dari kristal 11,0592 Mhz yang terhubung dengan pin XTAL1 dan XTAL2 pada mikrokontroler. Komunikasi antara mikrokontroler dengan PC dilakukan secara serial menggunakan IC MAX232 sebagai pengubah level tegangan dari level tegangan TTL ke level tegangan PC. Rangkaian minimum sistem ATmega8 yang digunakan tampak pada gambar 3.11.



Gambar 3.10 Minimum sistem mikrokontroler ATmega8

3.2.3 Komunikasi Data Serial RS232

Komunikasi antara mikrokontroler dengan PC dilakukan secara serial. Untuk dapat melakukan hal ini maka data dari mikrokontroler yang berupa tegangan dengan level TTL harus dikonversi terlebih dahulu sesuai dengan tegangan pada level PC. Konverter yang paling mudah adalah IC MAX-232. Di dalam IC ini terdapat Charge Pump yang akan membangkitkan +10 Volt dan -10 Volt dari sumber +5 Volt tunggal. Dalam IC DIP (*Dual In-line Package*) 16 pin (8 pin x 2 baris) ini terdapat 2 buah transmiter dan 2 receiver. Koneksi pin-pin dari IC MAX-232 dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.11 Koneksi pin-pin IC MAX-232

Antar muka untuk melakukan komunikasi serial antara mikrokontroler dengan PC menggunakan port serial RS-232 yang dalam hal ini digunakan konektor DB9. Konektor DB9 digunakan sebagai saluran data komunikasi antara mikrokontroler dengan PC. Konektor DB9 memiliki 9 pin dengan konfigurasi seperti pada gambar 2.8 pada bab 2. 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.

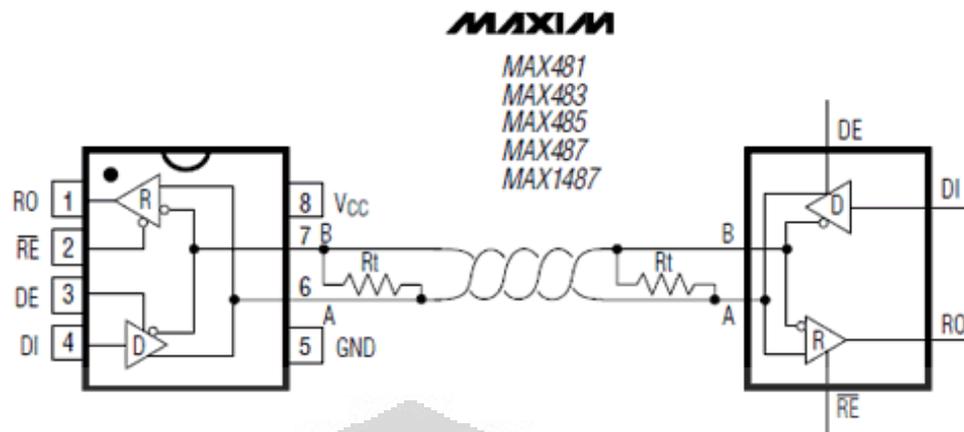
Pada PC agar dapat melakukan komunikasi secara serial maka harus diketahui terlebih dahulu port dari PC yang digunakan. Port ini dinyatakan dengan COM yang harus disesuaikan antar COM pada PC dengan COM pada software sehingga komunikasi dapat berjalan.

3.2.4 Komunikasi Data Serial RS485

RS485 adalah teknik komunikasi data serial yang dikembangkan di tahun 1983 di mana dengan teknik ini, komunikasi data dapat dilakukan pada jarak yang cukup jauh yaitu 1,2 Km. Selain dapat digunakan untuk jarak yang jauh teknik ini juga dapat digunakan untuk menghubungkan 32 unit beban sekaligus hanya

dengan menggunakan dua buah kabel saja tanpa memerlukan referensi ground yang sama antara unit yang satu dengan unit lainnya.

Komunikasi data serial RS485 menggunakan transmisi saluran ganda (differential/unbalanced transmission) memakai satu pasang kabel untuk mengirim satu sinyal, informasi logika ditafsirkan dari beda tegangan antara dua utas kabel saluran. Tegangan pada kedua utas kabel saluran selalu berlawanan, saat satu kabel bertegangan tinggi kabel maka kabel yang lain bertegangan rendah, demikian pula sebaliknya. Rangkaian penerima sinyal membandingkan tegangan kedua kabel saluran, level logika pada bagian output ditentukan oleh kabel mana yang lebih positif. Sinyal TTL diterima oleh Line Generator dan diubah menjadi sinyal differensial di output A dan B, '1' pada input Line Generator akan mengakibatkan output A bertegangan sekitar 5 Volt dan output B bertegangan mendekati 0 Volt, sebaliknya jika input Line Generator menerima '0' maka tegangan output akan berbalik, A menjadi 0 Volt dan B menjadi 5 Volt. Sinyal differensial dari Line Generator akan diterima oleh Line Receiver dan selanjutnya dirubah kembali ke level logika. Jika tegangan input A dari Line Receiver lebih tinggi 0,2 Volt terhadap tegangan input B, maka output Line Receiver menjadi '1', sebaliknya jika B lebih positif 0,2 Volt terhadap A maka output Line Receiver menjadi '0'. Penentuan ini tidak berhubungan dengan ground. Jika ada gangguan listrik yang menimpa saluran transmisi, maka induksi tegangan yang diterima kedua utas kabel saluran dari gangguan akan sama besarnya. Karena Line Receiver membandingkan selisih tegangan antara dua utas kabel, maka induksi tegangan yang sama besarnya tersebut tidak pernah dirasakan oleh input Line Receiver, sehingga tidak akan berpengaruh pada outputnya.



Gambar 3.12 Koneksi pin-pin IC MAX-485

3.3 Perancangan Piranti Lunak

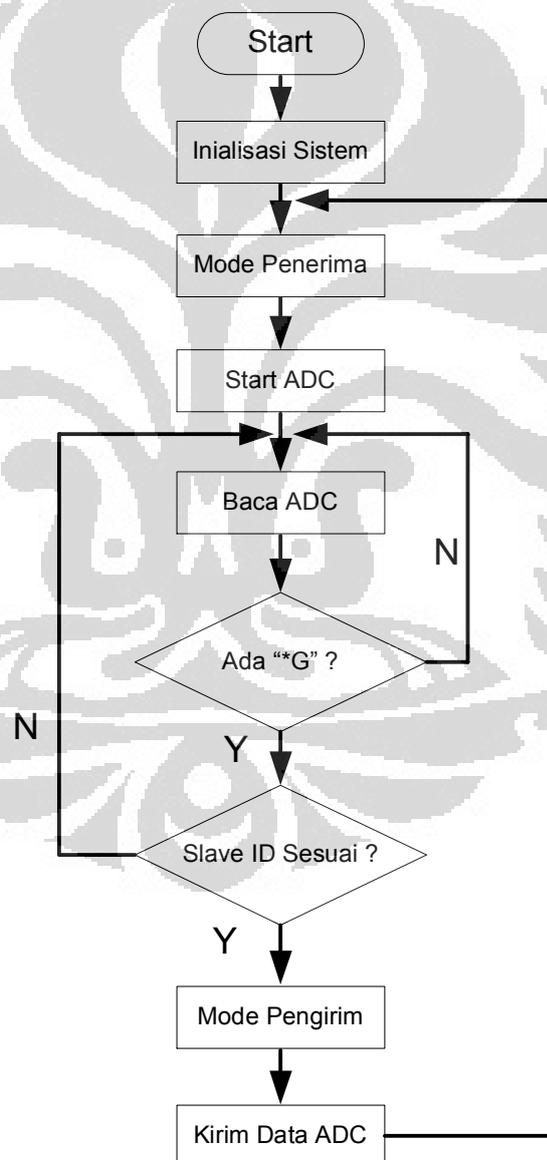
Perancangan perangkat lunak dari sistem pengukuran frekuensi resonansi ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu perencanaan program mikrokontroler dan program LabVIEW.

3.3.1 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 diumpangkan melalui port ADC yang terintegrasi pada IC ATmega8. Bahasa yang akan digunakan sebagai compiler pada mikrokontroler ini adalah bahasa BASIC pada BASCOM AVR. Karena akan menggunakan beberapa device pada satu com port, maka metode pemrogramannya adalah master slave. Komputer akan sebagai master sedangkan mikrokontroler sebagai slave, dimana pada tiap-tiap slave akan diberikan alamat yang berbeda agar data yang dikirimkan hanya sampai ke slave yang dituju. Sebelum master mengirimkan data semua peralatan elektronik atau slave berada pada posisi penerima hingga salah satu memerlukan untuk mengirimkan data, maka peralatan tersebut akan berpindah ke mode pengirim, mengirimkan data dan kembali ke mode penerima. Setiap kali peralatan elektronik tersebut hendak mengirimkan data, maka terlebih dahulu harus diperiksa, apakah

jalur yang akan digunakan sebagai media pengiriman data tersebut tidak sibuk. Apabila jalur masih sibuk, maka peralatan tersebut harus menunggu hingga jalur sepi.

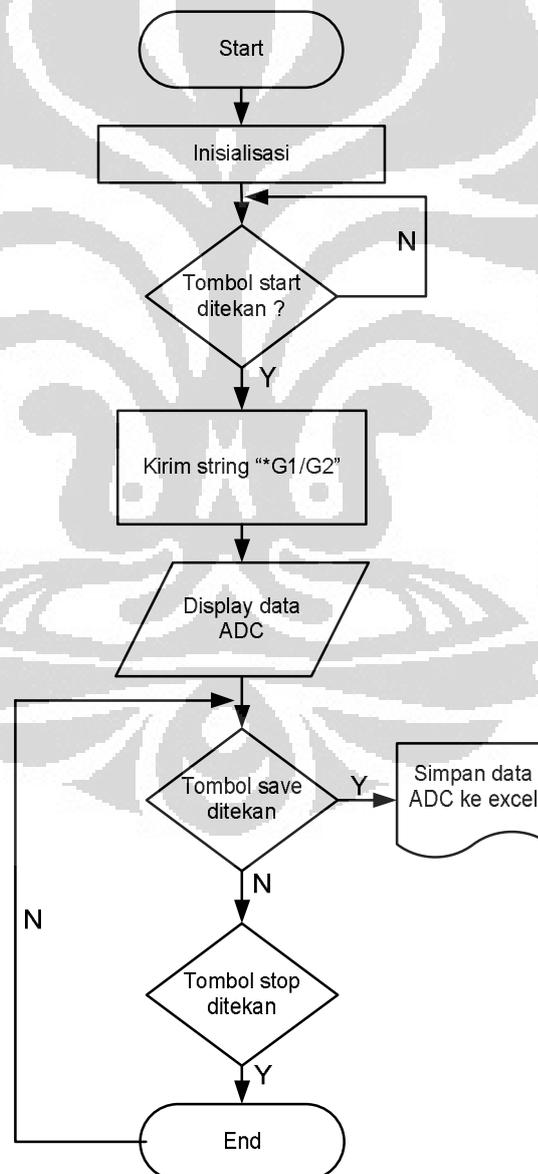
Peralatan elektronik-peralatan elektronik yang lain akan menerima data tersebut, namun bila data yang diterima tidak mempunyai ID yang sama dengan Slave ID yang dikirimkan, maka peralatan tersebut harus menolak atau mengabaikan data tersebut. Namun bila Slave ID yang dikirimkan sesuai dengan ID dari peralatan elektronik yang menerima, maka data selanjutnya akan diambil untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 3.13 Diagram alur program pengiriman data ADC

3.3.2 Pemrograman LabVIEW

Pada Block inisialisasi diatas merupakan inisialisasi portcom yang digunakan sebagai media komunikasi serial untuk pengambilan data adc dari mikrocontroller. Setelah inisialisasi maka program pada LabVIEW akan menunggu sampai tombol start di tekan. Setelah tombol start ditekan maka LabVIEW akan mengirimkan data string berupa “*G1/G2” meminta data adc sesuai dengan slave id dari masing-masing microcontroller dan LabVIEW menerima data adc yang hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik realtime, ketika tombol save ditekan maka data tersebut akan di simpan dalam excel. Begitu seterusnya sampai tombol stop ditekan.



Gambar 3.14 Diagram alur penerimaan data ADC pada LabVIEW

BAB 4

PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISA DATA

Pada bab 4 akan melakukan penentuan nilai konstanta pegas yang digunakan, kalibrasi sensor dan pengambilan data dari sistem yang dibuat.

4.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dari pembuatan sistem pengukuran frekuensi resonansi osilasi terkopel dua massa dilakukan untuk mengevaluasi apakah sistem bekerja sesuai yang diharapkan atau tidak. Secara garis besar pengujian sistem akan dimulai dengan mencari nilai konstanta pegas yang akan digunakan dan mengevaluasi data ADC keluaran sensor accelerometer.

4.1.1 Mencari 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 $\Delta y = L_t - L_0$.

- Pegas A

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.2$ cm

Regresi Linier (penambahan beban)

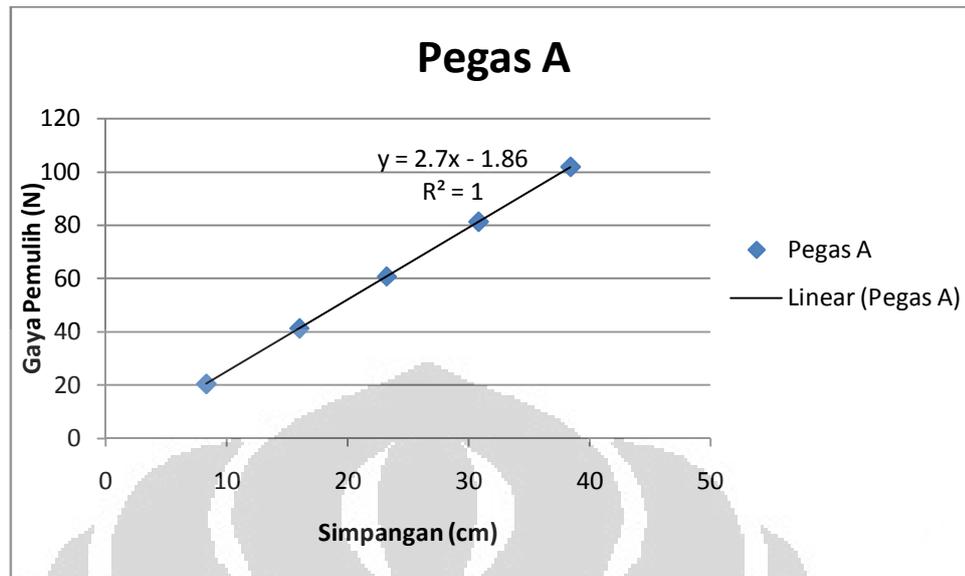
$$Y = Ax + B$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 266.642017 \text{ cm} = 2.66642017 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -186.187232 \text{ cm} = -1.86187232 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.7x - 1.86$;

dengan $k = 2.7 \text{ N/m}$



Gambar 4.1 Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas A

- Pegas B

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.4$ cm

Regresi Linier (penambahan beban)

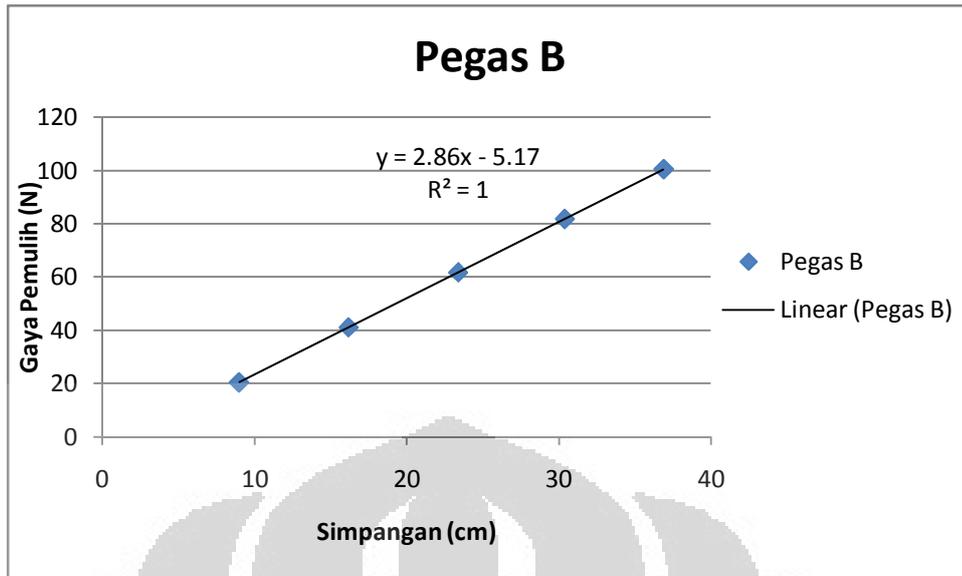
$$Y = Ax + B$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 285.593054 \text{ cm} = 2.85593054 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -516.705834 \text{ cm} = -5.16705834 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.86 x - 5.2$

dengan $k = 2.86 \text{ N/m}$



Gambar 4.2 Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas B

- Pegas C

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.5$ cm

Regresi Linier (penambahan beban)

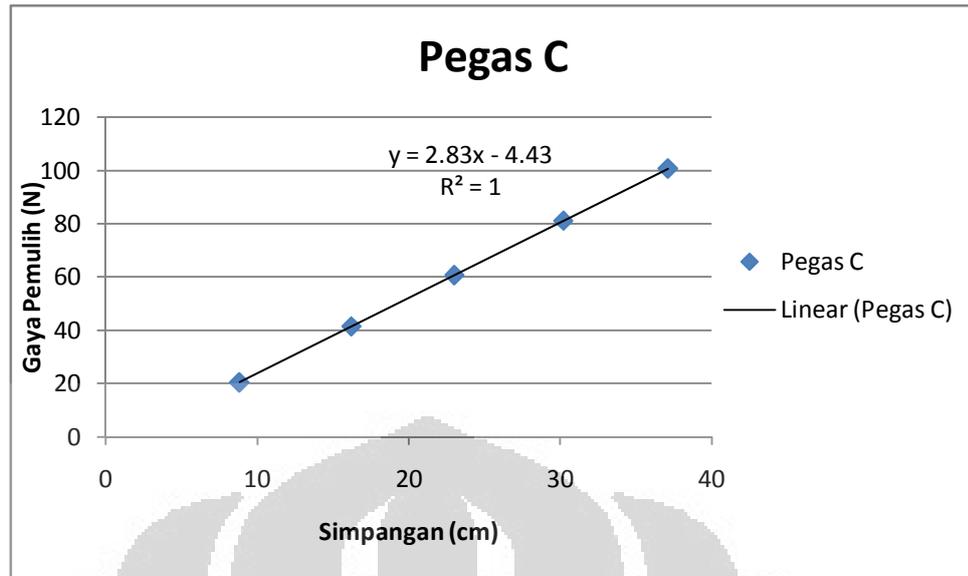
$Y = Ax + B$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 283.242931 \text{ cm} = 2.83242931 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -442.98499 \text{ cm} = -4.4298499 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.83x - 4.42$

dengan $k = 2.83 \text{ N/m}$

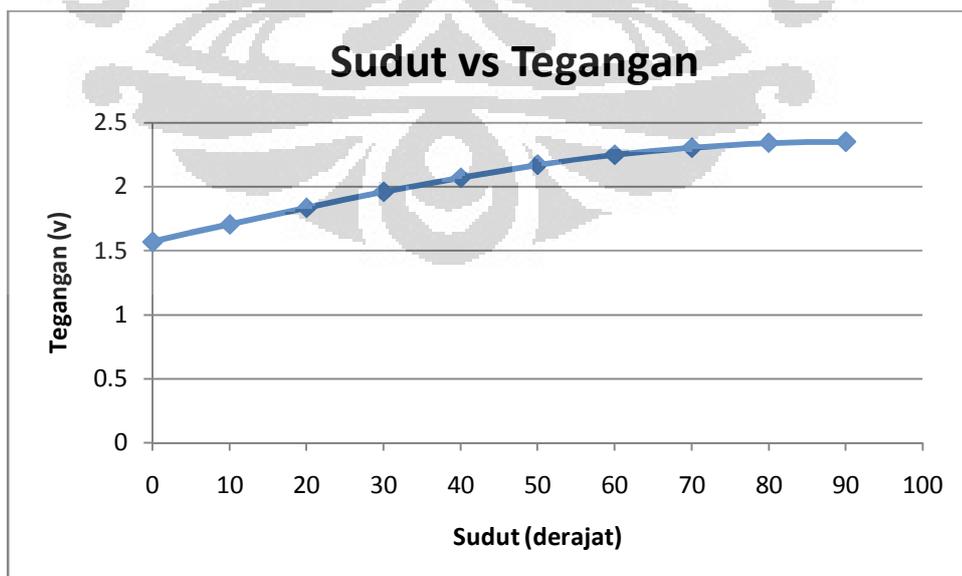


Gambar 4.3 Gaya Pemulih terhadap Simpangan Pegas C

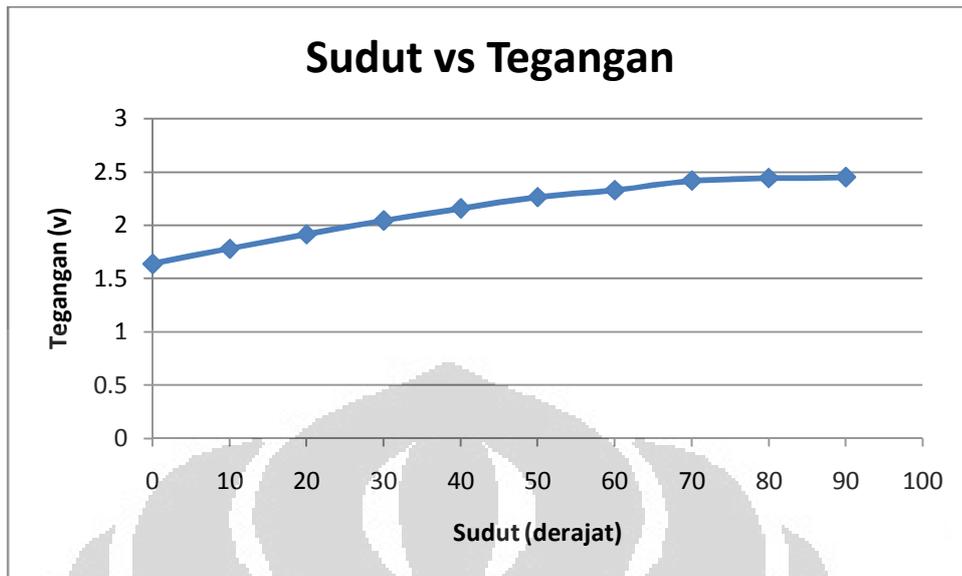
4.1.2 Kalibrasi Sensor Accelerometer

Kalibrasi sensor accelerometer dilakukan dengan mengukur tegangan pada masing-masing sumbu keluaran sensor, pada setiap kenaikan perubahan sudut. Pada tiap kenaikan perubahan sudut secara langsung mempengaruhi perubahan akselerasi pada sensor, sehingga terjadi kenaikan tegangan untuk tiap kenaikan sudut.

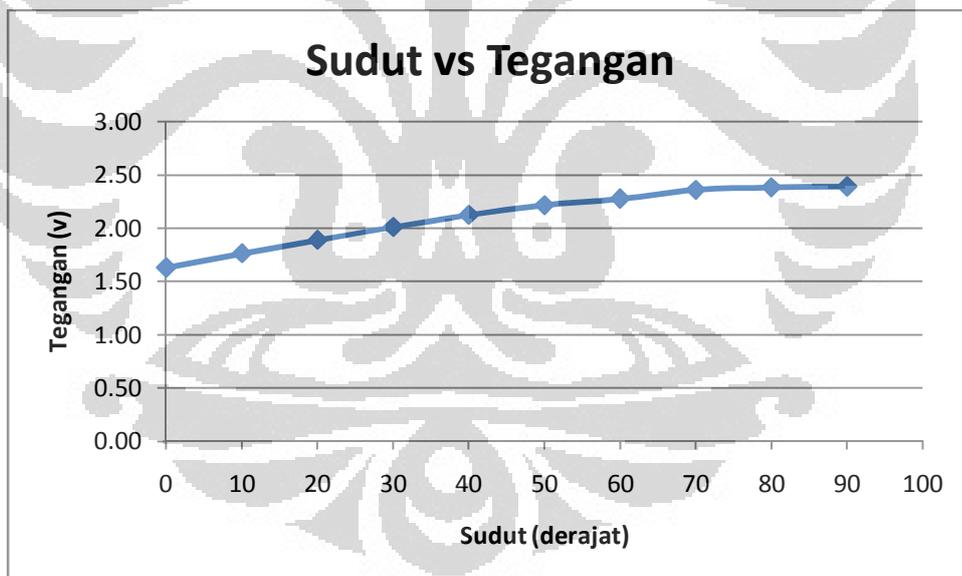
- Sensor Accelerometer 1



Gambar 4.4 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu x

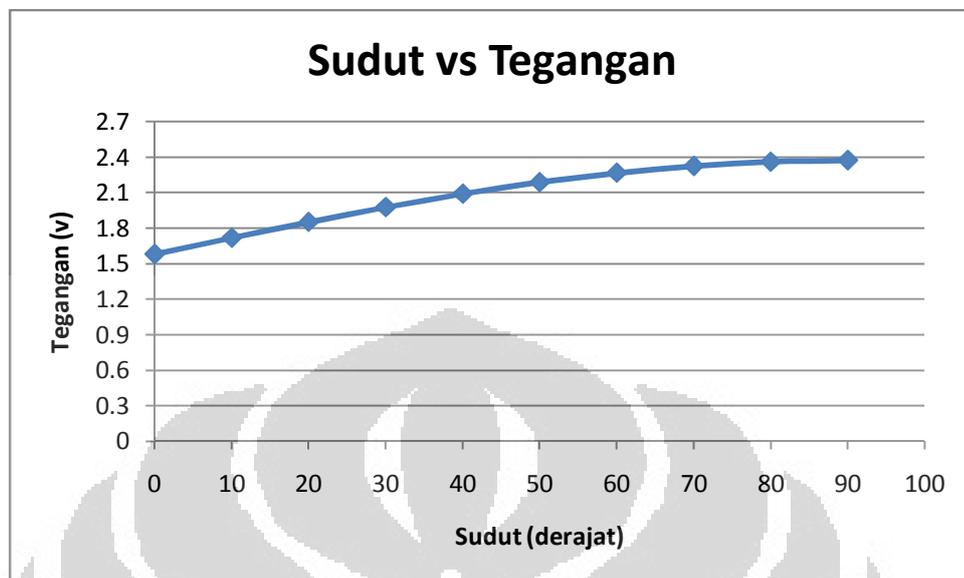


Gambar 4.5 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu y

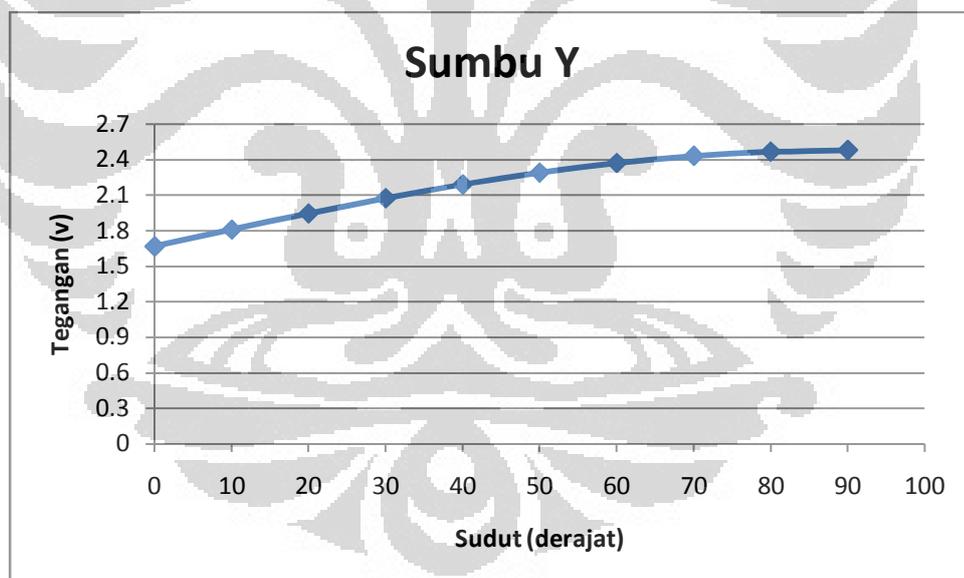


Gambar 4.6 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu z

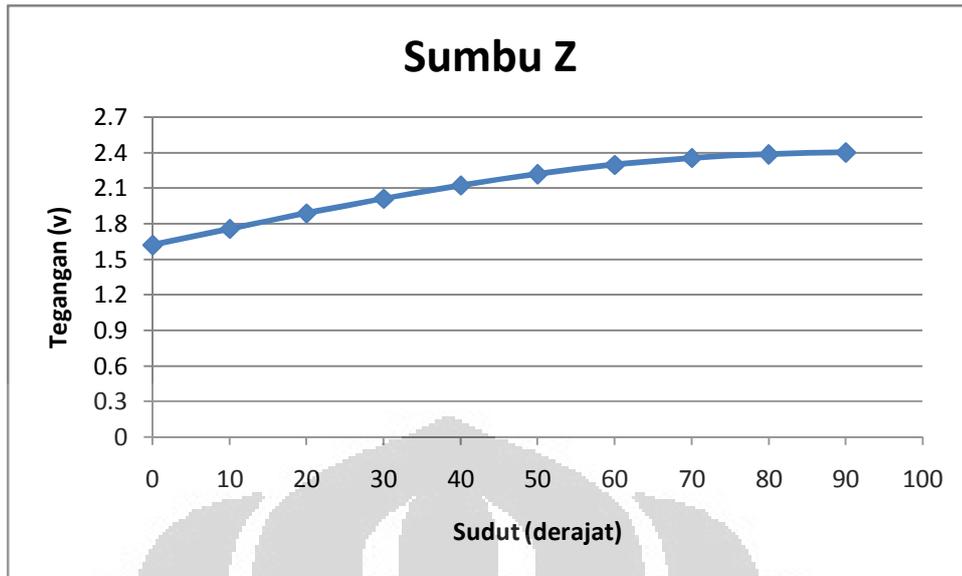
- Sensor Accelerometer 2



Gambar 4.7 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu x



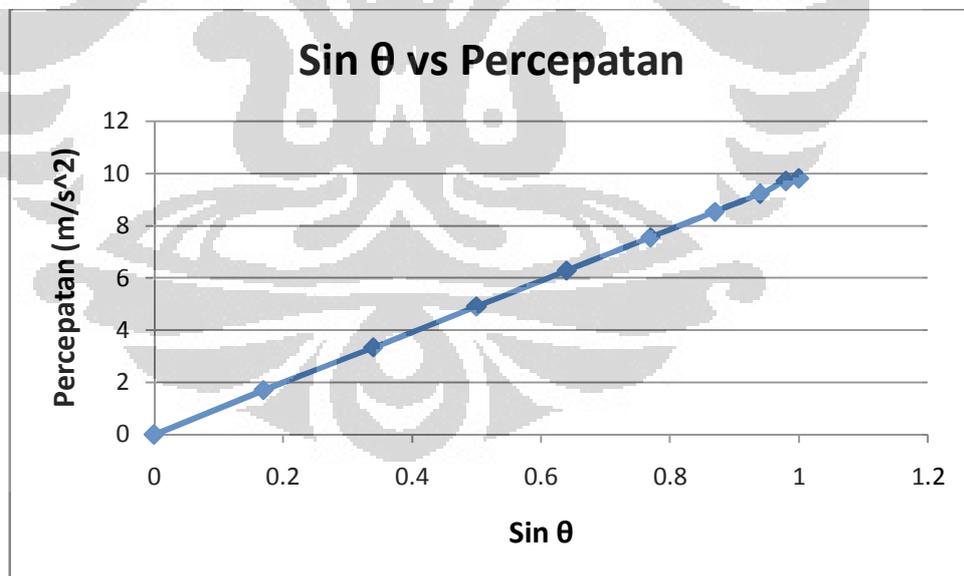
Gambar 4.8 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu y



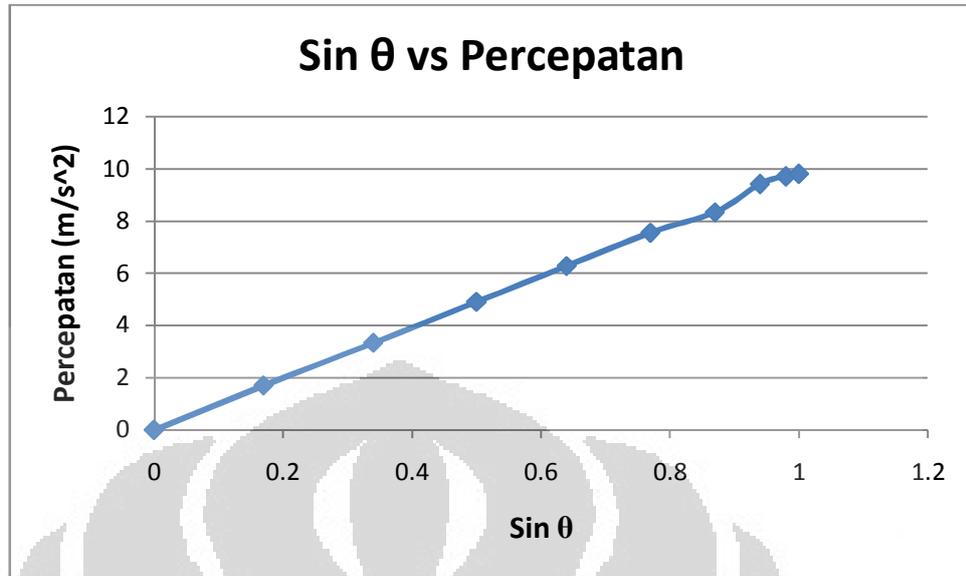
Gambar 4.9 Kenaikan tegangan untuk perubahan sudut sumbu z

Kemudian setelah data tegangan didapatkan dari kalibrasi, maka nilai percepatan pada tiap kenaikan sudut dapat diketahui dari persamaan $a = g \sin \theta$.

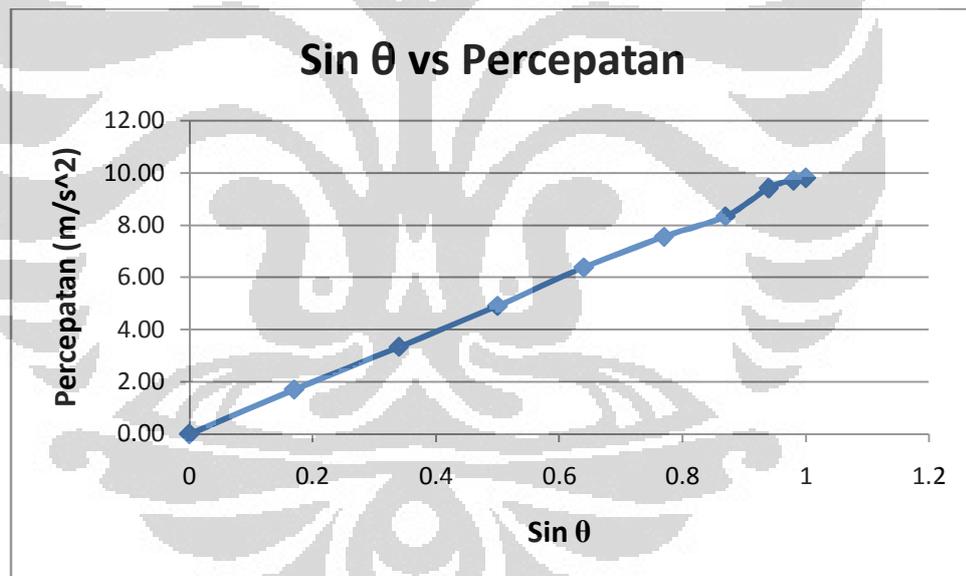
- Sensor Accerometer 1



Gambar 4.10 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu x

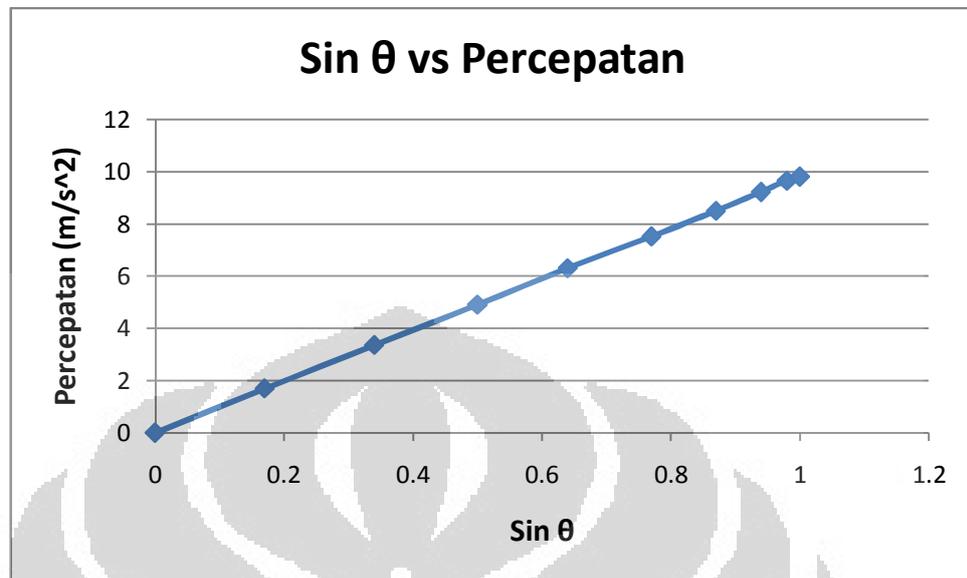


Gambar 4.11 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu y

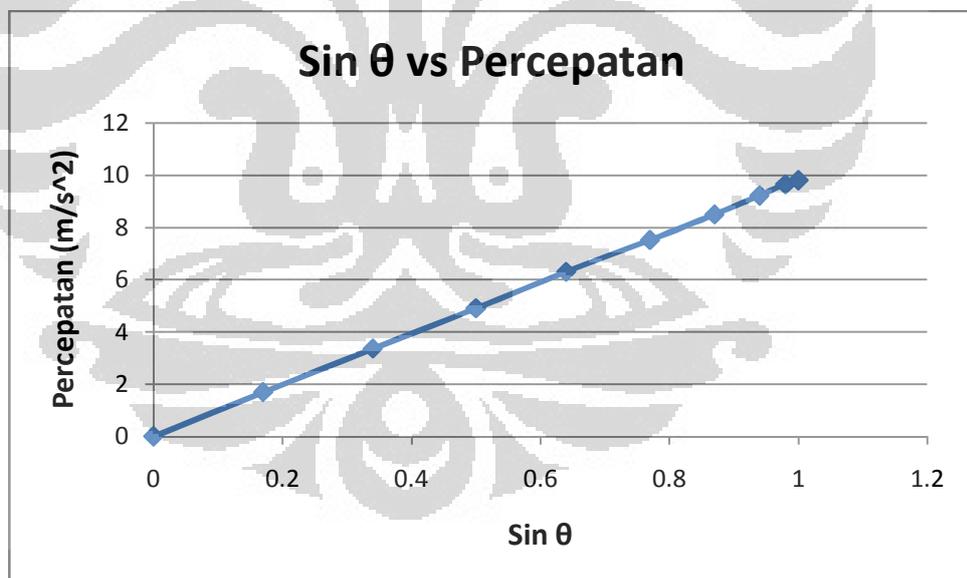


Gambar 4.12 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu z

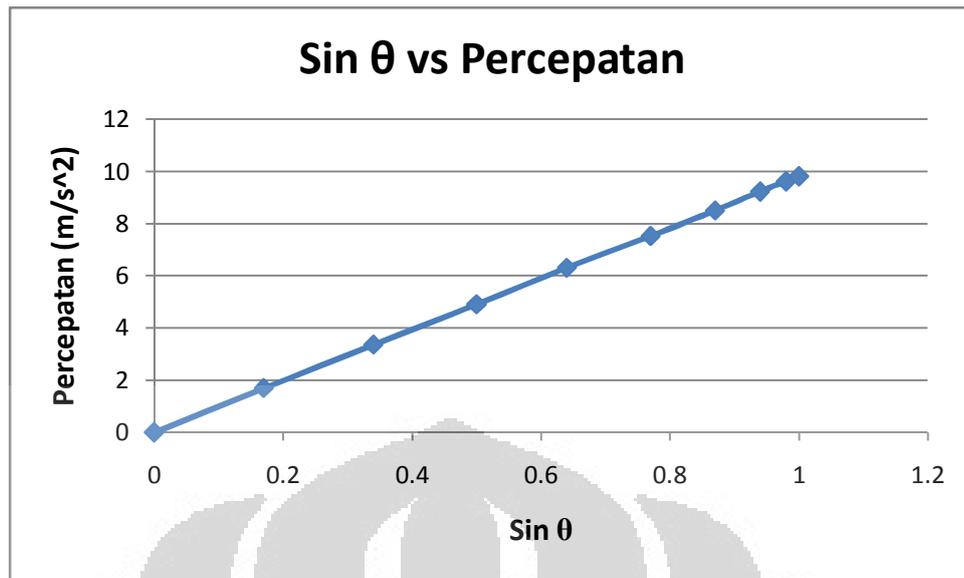
- Sensor Accelerometer 2



Gambar 4.13 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu x

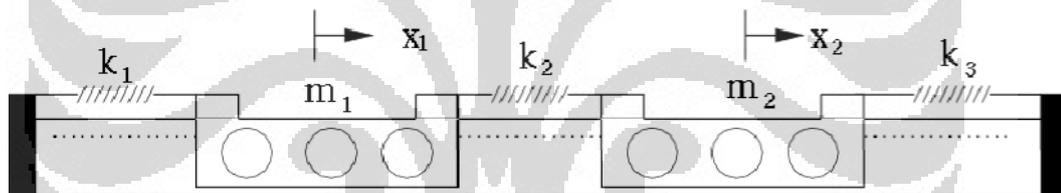


Gambar 4.14 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu y



Gambar 4.15 Perubahan nilai percepatan tiap kenaikan sudut sumbu z

4.2 Osilasi Terkoppel Dua Massa



Gambar 4.16 Osilasi Terkoppel Dua Massa

Pada gambar 4.16 adalah sebuah sistem dengan dua massa yang terkopel oleh pegas diantara massa tersebut. Jika m_1 dan m_2 berpindah dari posisi awal sebesar x_1 dan x_2 maka gaya pada masing-masing massa adalah

$$m_1 a_1 = \Sigma F_1 = -k_1 x_1 - k_2 x_1 + k_2 x_2 \quad (4.1)$$

$$m_2 a_2 = \Sigma F_2 = -k_2 x_2 + k_2 x_1 + k_3 x_2 \quad (4.2)$$

Karena percepatan adalah turunan kedua dari posisi, maka persamaan diatas menjadi :

$$m_1 \ddot{x}_1 + x_1(k_1 + k_2) - x_2 k_2 = 0 \quad (4.3)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + x_2(k_2 + k_3) - x_1 k_2 = 0 \quad (4.4)$$

Jika kita misalkan $k_3 = k_1$ dan $m_1 = m_2$, maka persamaan diatas kita bisa dapatkan

$$x_1(t) = x_2(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{k_1}{m}} t\right) \quad (4.5)$$

$$x_1(t) = -x_2(t) = A \cos\left(\sqrt{\frac{k_1 + 2k_2}{m}} t\right) \quad (4.6)$$

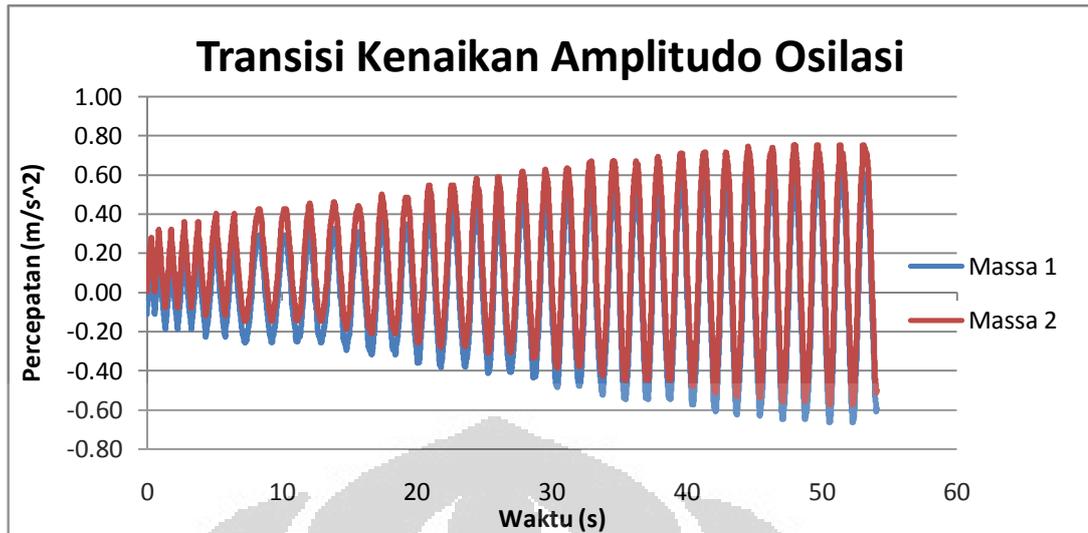
Pada persamaan 4.5 mewakili gerakan sefase, karena dua massa bergerak pada arah yang sama di saat waktu yang sama. Gerak tersebut disebut sebagai *symmetric normal mode*. Sedangkan pada persamaan 4.6 mewakili gerakan tidak sefase karena gerak dari dua massa saling berlawanan arah. Gerak tersebut disebut sebagai *antisymmetric normal mode*. Dari masing-masing persamaan tersebut diatas, maka untuk mencari nilai frekuensi pada gerak sefase dan tidak sefase persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.7)$$

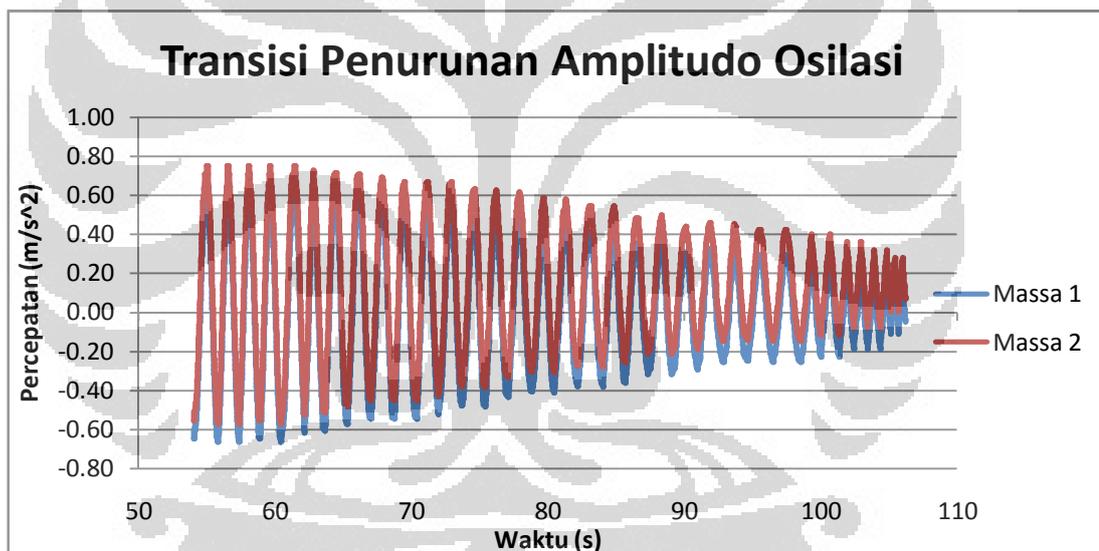
$$\omega_a = \sqrt{\frac{k + 2k}{m}} \quad (4.8)$$

4.2.1 Gerak Sefase Osilasi Terkoppel Dua Massa

Sesuai dengan pengertian gerak sefase pada osilasi terkoppel, jadi pengambilan data frekuensi dari osilasi terkoppel dua massa, dilakukan dengan memberikan variasi gaya dorong pada pegas. Variasi gaya dorong diberikan dari nilai terkecil sampai terjadi gerak sefase pada sistem. Dari posisi awal kita dapat melihat perubahan amplitudo osilasi yang akan semakin besar ketika frekuensi gaya luar mendekati frekuensi alamiah dari massa sistem, kemudian amplitudo tersebut akan mengalami penurunan ketika terus menaikkan frekuensi dari motor. Bentuk perubahan amplitudo dari kedua massa tersebut dapat kita lihat pada gambar 4.16 dan 4.17 berikut ini.

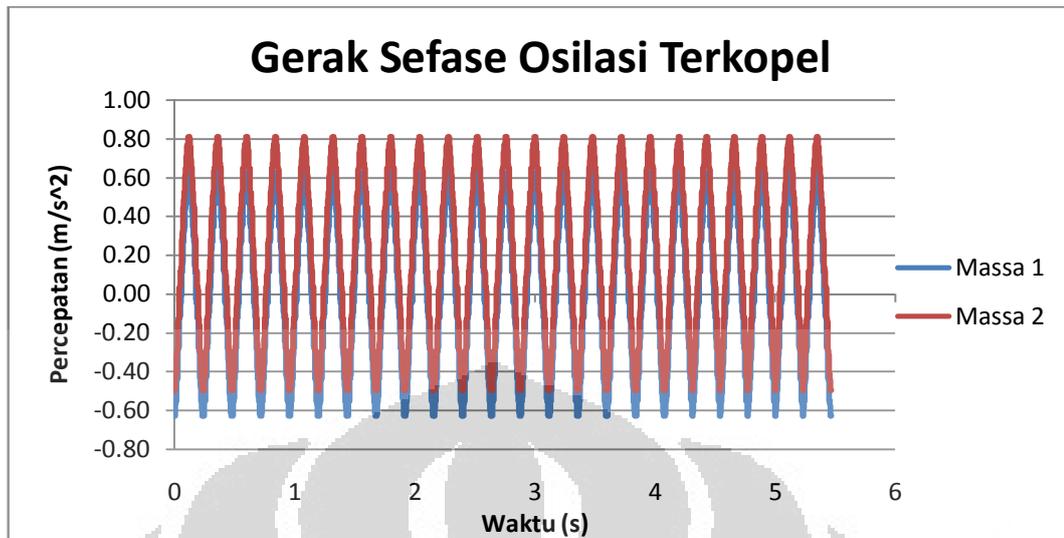


Gambar 4.16 Bentuk transisi kenaikan amplitudo osilasi gerak sefase



Gambar 4.17 Bentuk transisi penurunan amplitudo osilasi gerak sefase

Sedangkan pada gambar 4.18 berikut adalah bentuk gelombang dari gerak sefase osilasi terkopel dua massa. Pergerakan dua massa tersebut berada pada arah yang sama, dan pada amplitudo maksimal. Frekuensi gerak sefase tersebut adalah sebesar 4.56 Hz, jadi pada nilai frekuensi tersebut sistem mengalami gerak sefase. Nilai frekuensi didapat dengan menghitung periode antar tiap-tiap puncak pada data percepatan yang diturunkan dari data adc sensor.



Gambar 4.18 Bentuk osilasi gerak sefase osilasi terkoppel

Sedangkan menurut teori, jika terdapat sistem dengan dua osilator terkoppel oleh pegas diantara dua massa tersebut. Dimana jika diketahui besarnya nilai m_1 dan m_2 , dan nilai dari k_1, k_2, k_3 . Maka nilai frekuensinya dapat di cari dengan rumus $\omega_s = \sqrt{\frac{k}{m}}$, nilai k adalah nilai rata-rata dari konstanta pegas dan m nilai rata-rata dari berat massa.

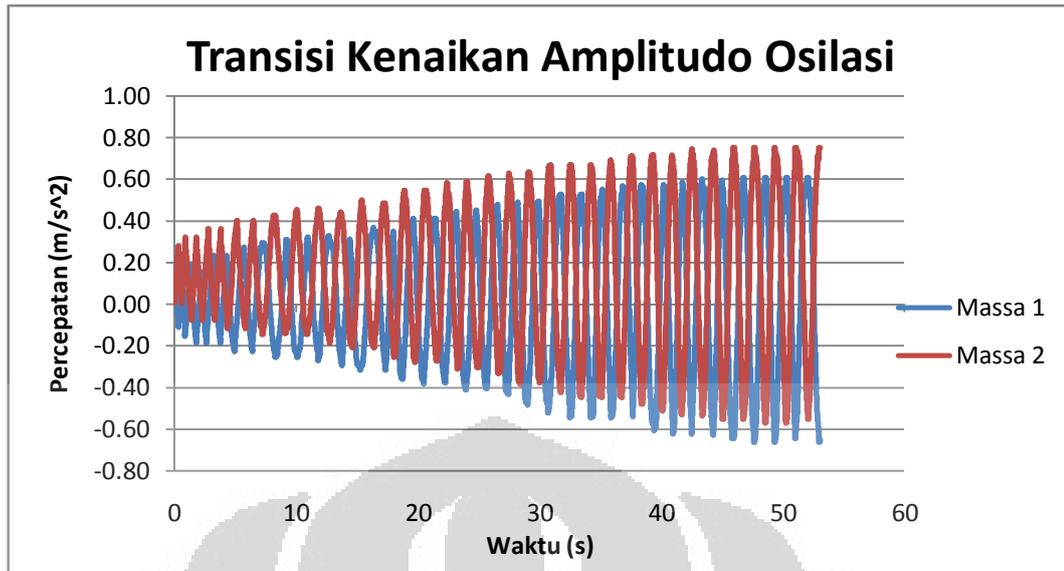
$$\omega_s = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_s = \sqrt{\frac{2.845}{0.23195}}$$

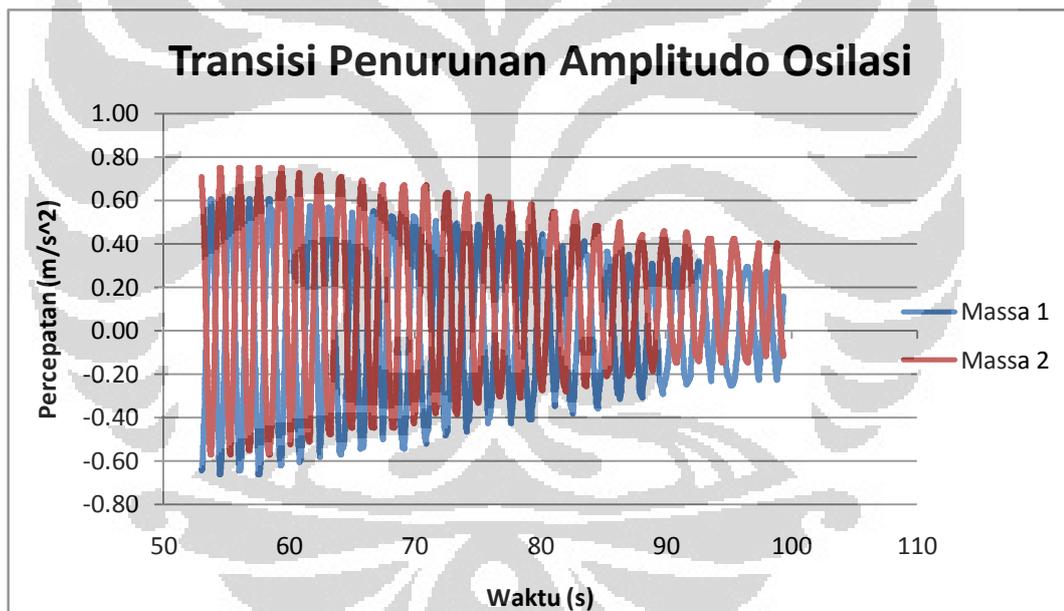
$$\omega_s = 3.5 \text{ Hz}$$

4.2.2 Gerak Beda Fase Osilasi Terkoppel Dua Massa

Pengambilan data untuk beda fase pada sistem, dilakukan dengan memberikan variasi gaya dorong sampai terjadi pergerakan berlawanan antara massa m_1 dan m_2 .

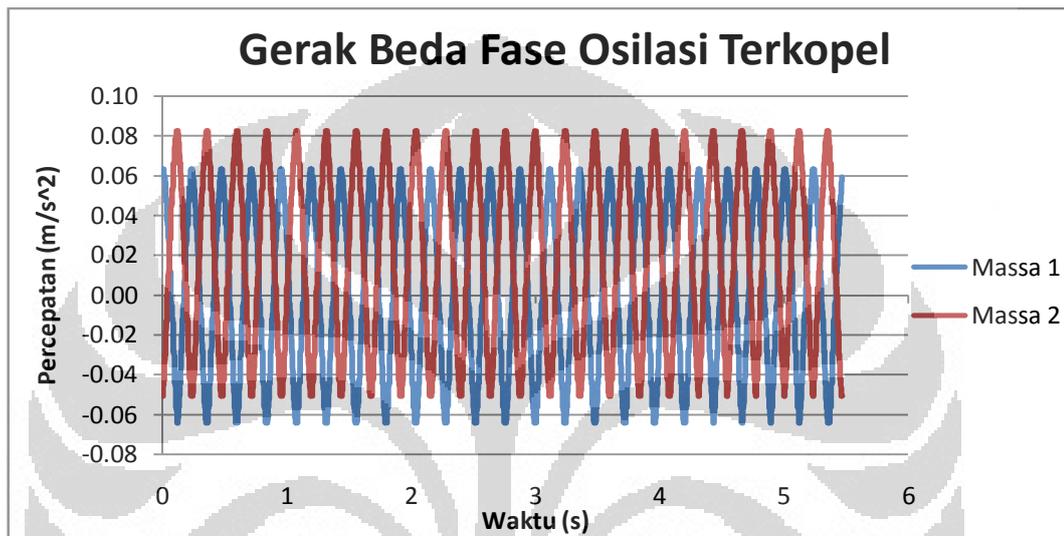


Gambar 4.19 Bentuk kenaikan transisi osilasi dari gerak beda fase



Gambar 4.20 Bentuk penurunan transisi osilasi dari gerak beda fase

Bentuk osilasi dari sistem tersebut terdapat pada gambar 4.21, perubahan perpindahan masing-masing massa dideteksi sebagai perubahan adc oleh sensor accelerometer yang kemudian diturunkan lagi menjadi perubahan percepatan pada masing-masing massa. Besarnya nilai frekuensi sistem pada keadaan beda fase adalah sebesar 7.92 Hz. Nilai frekuensi didapat dengan menghitung periode antar tiap-tiap puncak pada data percepatan yang diturunkan dari data adc sensor.



Gambar 4.21 Bentuk gelombang gerak beda fase osilasi terkoppel

Sedangkan menurut teori, jika terdapat sistem dengan dua osilator terkoppel oleh pegas diantara dua massa tersebut. Dimana jika diketahui besarnya nilai m_1 dan m_2 , dan nilai dari k_1, k_2, k_3 . Besarnya nilai frekuensi pada saat keadaan sistem beda fase dapat dicari dengan menggunakan persamaan 4.8. Nilai k adalah nilai rata-rata dari k_1 dan k_3 sedangkan nilai $2k$ adalah nilai konstanta k_2 .

$$\omega_a = \sqrt{\frac{k + 2k}{m}}$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{2.845 + 2x(2.7)}{0.23195}} = 6 \text{ Hz}$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah menyelesaikan perancangan dan pengujian sistem serta pengambilan data dan analisisnya diambil kesimpulan dan saran-saran yang dituliskan dibawah ini.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan dari perancangan sistem, pengujian sistem dan pengambilan data dari sistem adalah sebagai berikut :

1. *Air track* dapat mengangkat kedua massa.
2. Berat keseluruhan dari massa A dan B adalah sebesar 234,7 gram dan 229,2 gram.
3. Nilai konstanta pegas pada sistem ini adalah sebesar 2.7, 2.86, dan 2.83 *N/m*.
4. Akselerometer dapat menampilkan gerak sefase dalam bentuk gelombang sinus dan gerak tidak sefase dalam bentuk gelombang sinus cosinus.
5. Besarnya nilai frekuensi gerak sefase dan beda fase pada sistem osilasi terkopel dua massa yang dibuat adalah sebesar 4.56 *Hz* dan 7.92 *Hz*.

5.2 Saran

Dari pengerjaan skripsi ini penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pada pembuatan sistem mekanik osilasi terkopel dua massa, harus dibuat semaksimal mungkin agar tidak terjadi masalah pada pengujian sistem.
2. Keadaan sensor yang digunakan harus diperhatikan agar dalam ketelitian pembacaan perpindahan massa bisa lebih baik.

DAFTAR ACUAN

Application Notes for Serial Communication ver 1.0

Catatan Kuliah Gelombang Departemen Fisika-QUE Project, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok

DC-SS009 Sure Electronics 3 axis accelerometer board user guide

Marion, J.B and Thornton, Stephen.T (2004) *Classical Dynamics of Particles and Systems 5th Edition*, Brooks/Cole

MMA 7260 Free Scale ,Technical Data,rev-1

Seifert, K. dan Camacho, O (2007), *Implementing Position Algorithm using Accelerometers*, Freescale Semiconductor

Solutions Based in Accelerometers (Maret 2009), <http://www.freescale.com>

Sri Soejati, M.Eng.Sc, Dede Djuhana, M.Si dan Iwan Sugihartono, M.Si (2004)

Pain, H.J (2005) *The Physics of Vibrations and Waves*, John Wiley & Sons Ltd, England



PROGRAM MIKROKONTROLLER AKUISISI DATA ACCELEROMETER

```
$regfile = "m8def.dat"           ' Jenis microcontroller yang digunakan ATmega8
$crystal = 11059200             ' Besar frekuensi crystal yang digunakan
$baud = 115200                  ' Kecepatan transmisi data seri yang digunakan
```

```
On Urxc Data_seri_in
```

```
Enable Interrupts
Enable Urxc
```

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

```
Config Portb.0 = Output
```

```
Dim Kirim_data_flag As Bit
Dim Start_program_flag As Bit
Dim Ulang As Bit
Dim Data_x As Word
Dim Data_y As Word
Dim Data_z As Word
Dim Data_seri As String * 1
```

```
Const Alamat = 1
```

```
Main_program:
```

```
Reset Portb.0
```

```
Start_program_flag = 0
```

```
Ulang = 1
```

```
Start Adc
```

```
Do
```

```
  If Kirim_data_flag = 1 Then
```

```
    Kirim_data_flag = 0
```

```
    Set Portb.0
```

```
    Print "1" ; ":" ; Data_x ; ":" ; Data_y ; ":" ; Data_z ; "#"
```

```
    Reset Portb.0
```

```
  End If
```

```
Loop Until Ulang = 0
```

```
Goto Main_program
```

```
Data_seri_in:
```

```
Disable Interrupts
```

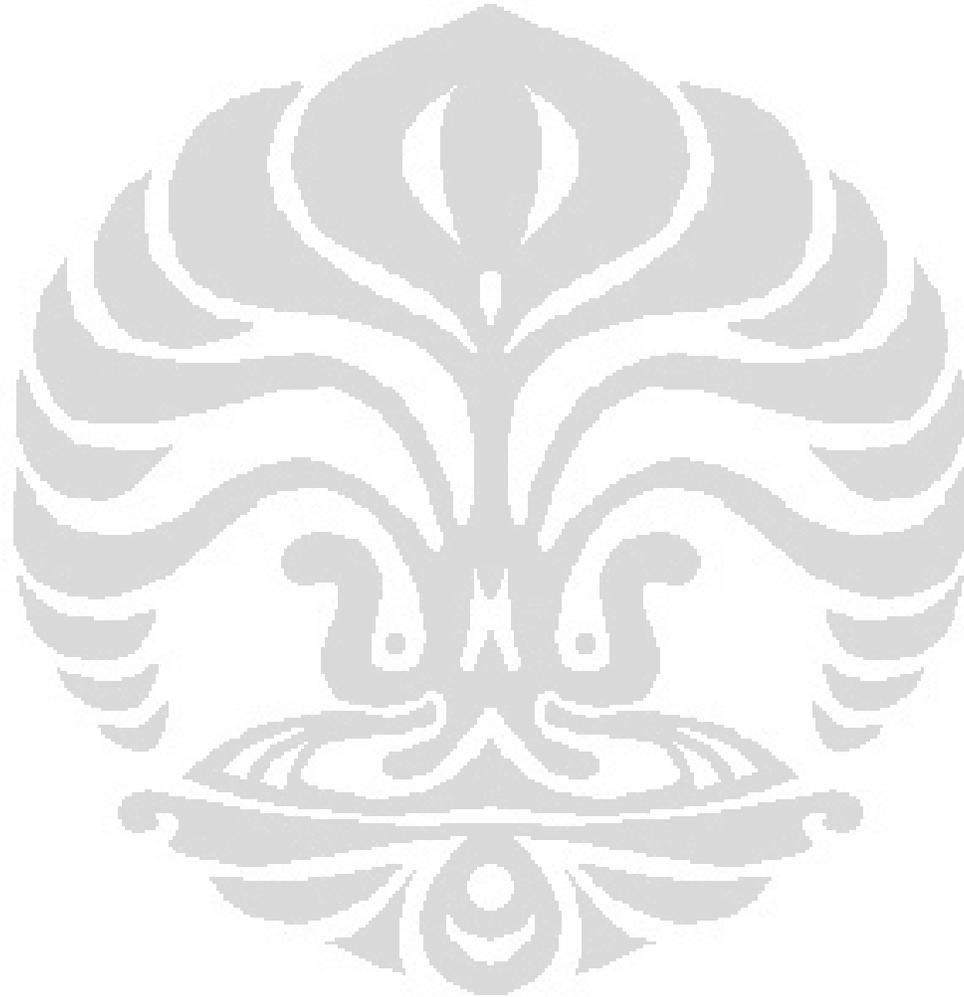
```
Data_seri = Inkey()
```

```
If Data_seri = "*" Then
```

```
  Data_seri = Waitkey()
```

```
If Data_seri = "G" Then
  Data_seri = Waitkey()
  If Alamat = Val(data_seri) Then Kirim_data_flag = 1
  If Data_seri = "S" Then Ulang = 0
End If
End If

Enable Interrupts
Return
```



- **Penentuan Nilai Konstanta Pegas**

1. Pegas A

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.2$ cm

Pengukuran	Massa (gr)	Perpanjangan (L ₁)	x= Simpangan (cm)	y	x.y	x ²	Tetapan Pegas (k)	Σk - k	(Σk - k) ²
1	2	13.50	8.3	2000	16600	69	236.14	-12.72	161.92
2	4	21.20	16	4000	64000	256	245.00	-3.87	14.97
3	6	28.40	23.2	6000	139200	538	253.45	4.58	20.97
4	8	36.00	30.8	8000	246400	949	254.55	5.68	32.22
5	10	43.60	38.4	10000	384000	1475	255.21	6.34	40.18
							248.87		
Σ			117	30000	850200	3286	1493.22		270.26

Regresi Linier (penambahan beban)

$$Y = Ax + B$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 266.642017 \text{ cm} = 2.66642017 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -186.187232 \text{ cm} = -1.86187232 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.7x - 1.86$;

dengan $k = 2.7 \text{ N/m}$

2. Pegas B

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.4$ cm

Pengukuran	Massa (gr)	Perpanjangan (L ₁)	x= Simpangan (cm)	y	x.y	x ²	Tetapan Pegas (k)	Σk - k	(Σk - k) ²
1	2	14.40	9	2000	18000	81	217.78	-29.12	848.25
2	4	21.60	16.2	4000	64800	262	241.98	-4.93	24.28
3	6	28.80	23.4	6000	140400	548	251.28	4.38	19.18
4	8	35.80	30.4	8000	243200	924	257.89	10.99	120.83
5	10	42.30	36.9	10000	369000	1362	265.58	18.68	348.95
							246.90		
Σ			116	30000	835400	3177	1481.42		1361.48

Regresi Linier (penambahan beban)

$$Y = Ax + B$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 285.593054 \text{ cm} = 2.85593054 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -516.705834 \text{ cm} = -5.16705834 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.86x - 5.2$

dengan $k = 2.86 \text{ N/m}$

3. Pegas C

Berat = 2.8 gr

$L_0 = 5.5 \text{ cm}$

Pengukuran	Massa (gr)	Perpanjangan (L ₁)	x= Simpangan (cm)	y	x.y	x ²	Tetapan Pegas (k)	Σk - k	(Σk - k) ²
1	2	14.3	8.8	2000	17600	77	222.73	-26.09	680.92
2	4	21.7	16.2	4000	64800	262	241.98	-6.85	46.87
3	6	28.5	23	6000	138000	529	255.65	6.83	46.66
4	8	35.7	30.2	8000	241600	912	259.60	10.78	116.23
5	10	42.6	37.1	10000	371000	1376	264.15	15.33	234.99
							248.82		
Σ			115	30000	833000	3157	1492.93		1125.66

Regresi Linier (penambahan beban)

$$Y = Ax + B$$

$$A = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = 283.242931 \text{ cm} = 2.83242931 \text{ m}$$

$$B = \frac{\sum y - A\sum x}{n} = -442.98499 \text{ cm} = -4.4298499 \text{ m}$$

Jadi persamaan garisnya : $Y = 2.83x - 4.42$

dengan $k = 2.83 \text{ N/m}$

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 1 pada sumbu x

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
246	0.79	-1	-90	-1	-9.81
251	0.81	-0.98	-80	-0.98	-9.61
261	0.84	-0.94	-70	-0.94	-9.22
278	0.89	-0.87	-60	-0.87	-8.53
302	0.97	-0.77	-50	-0.77	-7.55
334	1.07	-0.64	-40	-0.64	-6.28
368	1.18	-0.5	-30	-0.5	-4.91
407	1.30	-0.34	-20	-0.34	-3.34
448	1.44	-0.17	-10	-0.17	-1.67
491	1.57	0	0	0	0
533	1.71	0.17	10	0.17	1.71
574	1.84	0.34	20	0.34	3.34
613	1.96	0.5	30	0.5	4.91
647	2.07	0.64	40	0.64	6.28
679	2.17	0.77	50	0.77	7.55
703	2.25	0.87	60	0.87	8.53
720	2.30	0.94	70	0.94	9.22
732	2.34	0.99	80	0.98	9.71
735	2.35	1	90	1	9.81

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 1 pada sumbu y

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
259	0.83	-1	-90	-1	-9.81
264	0.85	-0.98	-80	-0.98	-9.61
274	0.88	-0.94	-70	-0.94	-9.22
292	0.94	-0.87	-60	-0.87	-8.53
317	1.02	-0.77	-50	-0.77	-7.55
350	1.12	-0.64	-40	-0.64	-6.28
385	1.24	-0.50	-30	-0.5	-4.91
426	1.36	-0.34	-20	-0.34	-3.34
469	1.50	-0.17	-10	-0.17	-1.67
513	1.64	0	0	0	0
557	1.78	0.17	10	0.17	1.71
599	1.92	0.34	20	0.34	3.34
640	2.05	0.50	30	0.5	4.91
675	2.16	0.64	40	0.64	6.28
708	2.26	0.77	50	0.77	7.55
728	2.33	0.85	60	0.87	8.34
756	2.42	0.96	70	0.94	9.42
764	2.44	0.99	80	0.98	9.71
766	2.45	1	90	1	9.81

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 1 pada sumbu z

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
271	0.87	-1	-90	-1	-9.81
276	0.89	-0.98	-80	-0.98	-9.61
286	0.92	-0.94	-70	-0.94	-9.22
302	0.97	-0.87	-60	-0.87	-8.53
326	1.04	-0.77	-50	-0.77	-7.55
357	1.14	-0.64	-40	-0.64	-6.28
390	1.25	-0.5	-30	-0.5	-4.91
428	1.37	-0.34	-20	-0.34	-3.34
468	1.50	-0.17	-10	-0.17	-1.67
509	1.63	0	0	0	0.00
551	1.76	0.17	10	0.17	1.71
591	1.89	0.34	20	0.34	3.34
628	2.01	0.5	30	0.5	4.91
664	2.12	0.65	40	0.64	6.38
693	2.22	0.77	50	0.77	7.55

712	2.28	0.85	60	0.87	8.34
738	2.36	0.96	70	0.94	9.42
745	2.38	0.99	80	0.98	9.71
748	2.39	1	90	1	9.81

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 2 pada sumbu x

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
246	0.79	-1	-90	-1	-9.81
251	0.81	-0.98	-80	-0.98	-9.61
261	0.84	-0.94	-70	-0.94	-9.22
278	0.89	-0.87	-60	-0.87	-8.53
303	0.97	-0.77	-50	-0.77	-7.55
335	1.07	-0.64	-40	-0.64	-6.28
370	1.19	-0.5	-30	-0.5	-4.91
409	1.31	-0.34	-20	-0.34	-3.34
451	1.45	-0.17	-10	-0.17	-1.67
494	1.58	0.00	0	0	0
537	1.72	0.17	10	0.17	1.70
579	1.85	0.34	20	0.34	3.36
618	1.98	0.50	30	0.5	4.91
653	2.09	0.64	40	0.64	6.31
684	2.19	0.77	50	0.77	7.51
708	2.26	0.87	60	0.87	8.50
727	2.32	0.94	70	0.94	9.22
737	2.36	0.98	80	0.98	9.65
741	2.37	1.00	90	1	9.81

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 2 pada sumbu y

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
246	0.79	-1	-90	-1	-9.81
251	0.81	-0.98	-80	-0.98	-9.61
261	0.84	-0.94	-70	-0.94	-9.22
278	0.89	-0.87	-60	-0.87	-8.53
303	0.97	-0.77	-50	-0.77	-7.55
335	1.07	-0.64	-40	-0.64	-6.28
370	1.19	-0.5	-30	-0.5	-4.91
409	1.31	-0.34	-20	-0.34	-3.34
451	1.45	-0.17	-10	-0.17	-1.67
494	1.58	0.00	0	0	0
537	1.72	0.17	10	0.17	1.70

579	1.85	0.34	20	0.34	3.36
618	1.98	0.50	30	0.5	4.91
653	2.09	0.64	40	0.64	6.31
684	2.19	0.77	50	0.77	7.51
708	2.26	0.87	60	0.87	8.50
727	2.32	0.94	70	0.94	9.22
737	2.36	0.98	80	0.98	9.65
741	2.37	1.00	90	1	9.81

- Kalibrasi Sensor Accelerometer 2 pada sumbu z

ADC	Volt	g	sudut	sin	a
262	0.84	-1	-90	-1	-9.81
267	0.86	-0.98	-80	-0.98	-9.61
277	0.89	-0.94	-70	-0.94	-9.22
294	0.94	-0.87	-60	-0.87	-8.53
318	1.02	-0.77	-50	-0.77	-7.55
350	1.12	-0.64	-40	-0.64	-6.28
384	1.23	-0.5	-30	-0.5	-4.91
423	1.35	-0.34	-20	-0.34	-3.34
464	1.49	-0.17	-10	-0.17	-1.67
507	1.62	0.00	0	0	0
549	1.75	0.17	10	0.17	1.70
590	1.89	0.34	20	0.34	3.36
629	2.01	0.50	30	0.5	4.91
664	2.12	0.64	40	0.64	6.31
694	2.22	0.77	50	0.77	7.51
718	2.30	0.87	60	0.87	8.50
736	2.35	0.94	70	0.94	9.22
746	2.38	0.98	80	0.98	9.61
751	2.40	1	90	1	9.81

BLOK DIAGRAM AKUISISI DATA MENGUNAKAN LABVIEW

