

**PEMBUATAN ALAT UKUR MOMEN INERSIA BENDA DIGITAL
MENGUNAKAN SENSOR OPTOCOUPLER**

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Tim Penguji Tugas Akhir Jurusan Fisika Sebagai Salah Satu
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



NUNUNG RIVIA

NIM. 1201460

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2016

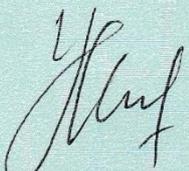
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler
Nama : Nunung Rivia
Nim/TM : 1201460/2012
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 13 April 2016

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Yohandri, M.Si, Ph.D

NIP: 19780725 200604 1 003

Pembimbing II



Zulhendri Kamus, S.Pd, M.Si

NIP: 19751231 200012 1 001

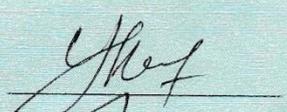
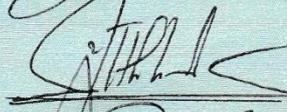
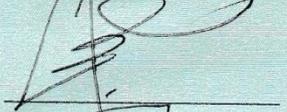
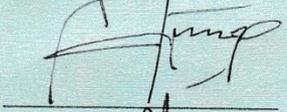
HALAMAN PENGESAHAN

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

Judul : Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler
Nama : Nunung Rivia
Nim/TM : 1201460/2012
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 13 April 2016

Tim Penguji

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

SURAT PERNYATAAN

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

Padang, 13 April 2016



Yang Menyatakan,

Nunung Rivia

ABSTRAK

Nunung Rivia. 2012. “Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler” *Skripsi*. Padang: Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Momen inersia merupakan kecenderungan suatu benda untuk tetap diam atau bergerak lurus beraturan (mempertahankan posisi atau keadaannya). Momen inersia suatu benda dapat diukur menggunakan alat ukur momen inersia yang bekerja berdasarkan metoda osilasi. Pada laboratorium Mekanika Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang terdapat alat ukur momen inersia benda tetapi pengukurannya masih bersifat manual. Penelitian ini mendesain alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler. Tujuan penelitian ini adalah menjelaskan spesifikasi performansi, ketepatan dan ketelitian sistem.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium. Teknik pengukuran dan pengumpulan data dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Besaran yang diukur secara langsung adalah banyak osilasi(n), waktu osilasi. Sedangkan, besaran yang diukur secara tidak langsung adalah nilai momen inersia benda. Data yang diperoleh melalui pengukuran dianalisis melalui dua cara yaitu secara statistik dan grafik.

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan dapat diungkapkan tiga hasil penting. Pertama, spesifikasi performansi sistem terdiri dari sistem mekanik dan ditunjang oleh sistem elektronik. Kedua, ketepatan pengukuran dengan membandingkan hasil sistem dengan perhitungan secara teoritis memiliki persentase kesalahan rata-rata 3,948% dan ketepatan relatif 96,05% untuk pengukuran beberapa momen inersia benda. Ketiga, ketelitian pengukuran dilakukan dengan melakukan pengukuran momen inersia untuk 6 variasi benda dan 10 kali perulangan dengan ketelitian rata-ratanya adalah 0,979 dengan standar deviasi rata-rata 0,000009152 dan kesalahan relatif rata-rata 0,834%.

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT, karena dengan berkat rahmat dan karuniaNya penulis dapat merealisasikan dan menulis tugas akhir ini. Sebagai judul penelitian adalah “Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler”.

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

1. Bapak Yohandri, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Pembimbing 1, Bapak Zuhendri Kamus, S.Pd, M,Si sebagai Pembimbing II atas segala bantuannya yang tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, arahan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si, Bapak Drs. Hufri, M.Si dan Bapak Drs. H. Asrizal, M.Si sebagai dosen penguji pada Tugas Akhir ini.
3. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai dosen Pembimbing Akademik.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, S.Pd, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
5. Ibu Dra. Hidayati, M.Si sebagai Ketua Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA UNP.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP.
7. Staf Administrasi dan Laboran di Laboratorium Fisika FMIPA UNP.

8. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, semoga Allah membalas semua kebaikan.

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

Padang, Februari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Sistem Pengukuran	5
B. Momen Inersia	7
C. Komponen Elektronika	13

BAB III METODE PENELITIAN	19
A. Tempat dan Waktu Penelitian	19
B. Jenis Penelitian	19
C. Alat dan Bahan	20
D. Desain Penelitian	20
E. Prosedur Penelitian	24
F. Teknik Pengumpulan Data	26
G. Teknik Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A. Hasil Penelitian	29
B. Pembahasan	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
A. Kesimpulan	41
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Sistem dengan tiga partikel bermassa	10
Gambar 2. Rangkaian dasar optocoupler	14
Gambar 3. Papan Kerja Arduino Uno Rev3	15
Gambar 4. Rangkaian Display LCD	16
Gambar 5. Power Supply	18
Gambar 6. Blok Diagram Sistem Elektronika	20
Gambar 7. Desain Mekanik	21
Gambar 8. Diagram Alir Program	23
Gambar 9. Foto Hasil Desain Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital	30
Gambar 10. Tombol-Tombol Pengatur Alat Ukur Momen Inersia.....	30
Gambar 11. Sensor Optocoupler Sebagai Pencacah Sinyal	31
Gambar 12. Rangkaian Penyusun Alat Ukur	32
Gambar 13. Grafik Perbandingan Pengukuran Momen Inersia Benda Secara Digital dengan Perhitungan Momen Inersia Benda Secara Teoritis ..	34
Gambar 13. Grafik Pengaruh Jari- Jari Terhadap Momen Inersia Suatu Benda Secar Perhitungan Dan Pengukuran.....	35
Gambar 13. Grafik Ketepatan Nilai Momen Inersia Benda Dengan Variasi Sudut Simpangan Dengan Nilai Momen Inersia Secara Perhitungan	36
Gambar 14. Skematik Rangkaian Elektronik secara Keseluruhan.....	44
Gambar 15. Tombol Untuk Variasi Simpangan.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Tabel Momen inersia Benda	12
Tabel 2. Ketelitian Pengukuran Momen Inersia Benda	37
Tabel 3. Tegangan Masukan Sensor <i>Optocoupler</i>	45
Tabel 4. Ketelitian Pengukuran Tegangan Masukan Sensor <i>Optocoupler</i>	45
Tabel 5. Data Simpangan Alat Momen Inersia Untuk Setiap Penambahan Beban.....	46
Tabel 6. Data Perioda Osilasi Yang Terjadi Pada Alat Momen Inersia Untuk Beberapa Simpangan	46
Tabel 7. Dimensi dan Momen Inersia Benda Secara Teoritis.....	47
Tabel 8. Ketepatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Secara Pengukuran dibandingkan dengan Perhitungan secara Teoritis	47
Tabel 9. Ketepatan Nilai Momen Inersia Benda Dengan Variasi Sudut Simpangan Dengan Nilai Momen Inersia Secara Perhitungan.....	48
Tabel 10. Ketelitian Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Untuk Beberapa Variasi Sudut Simpangan.....	49
Tabel 11. Ketelitian Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Untuk Rata-Rata Beberapa Variasi Sudut Simpangan.....	50
Tabel 12. Ketelitian Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Skematik Gambar Rangkaian	44
Lampiran 2. Data Pengukuran Sensor <i>Optocoupler</i>	45
Lampiran 3. Data Statistik Untuk Mendapatkan Nilai Konstanta Momen Inersia dan Perioda Diri Alat Momen Inersia.....	46
Lampiran 4. Data Statistik Ketepatan Sistem Alat Ukur dibandingkan Perhitungan secara Teoritis	47
Lampiran 5. Data Statistik Ketelitian Sistem Alat Ukur.....	49
Lampiran 6. Program Sistem Pembuatan Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler.....	52
Lampiran 7. Foto Dokumentasi.....	56
Lampiran 8. Prosedure Kerja Pemakaian Alat Ukur Momen Inersia Benda Digital	58

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Eksperimen merupakan salah satu bagian terpenting dari fisika karena fisika adalah ilmu alam yang didasarkan pada penemuan gejala-gejala fisis yang terjadi di alam. Gejala-gejala fisis dapat dijelaskan dengan melakukan penyelidikan ilmiah. Proses yang sangat penting dalam melakukan penyelidikan ilmiah yakni pengamatan dan eksperimen. Eksperimen yang dilakukan harus memiliki ketelitian dan ketepatan yang baik sehingga diperoleh suatu kesimpulan untuk membuktikan teori yang sudah ada atau untuk melahirkan hukum dan teori yang baru.

Eksperimen fisika dapat dilakukan dengan melibatkan suatu sistem pengukuran. Sistem pengukuran merupakan gabungan aktivitas, prosedur, alat ukur, perangkat lunak, dan subjek yang bertujuan untuk mendapatkan data pengukuran terhadap karakteristik yang sedang diukur. Pengukuran dimanfaatkan sebagai sarana untuk mendapatkan data guna mengambil kesimpulan dan sarana untuk menentukan keterkaitan antara dua variabel atau lebih. Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran harus sesuai dengan besaran yang hendak diukur dan memiliki ketelitian yang baik agar memperoleh hasil pengukuran yang tepat.

Salah satu aplikasi pengukuran dalam eksperimen fisika adalah pengukuran momen inersia. Momen inersia merupakan kecenderungan suatu benda untuk tetap diam atau bergerak lurus beraturan (mempertahankan posisi

atau keadaannya). Aplikasi dari momen inersia dapat dilihat dari benda tegar, dimana benda tegar merupakan keadaan suatu benda untuk mempertahankan posisinya ketika mendapat gaya atau tekanan dari luar. Setiap benda tegar memiliki momen inersia yang berbeda karena disebabkan beberapa faktor yaitu pusat rotasi benda, massa benda dan jari-jari benda tegar itu sendiri, untuk membuktikan teori tersebut perlu dilakukan eksperimen yang membahas tentang momen kelembaman atau momen inersia pada beberapa benda tegar, dengan mengetahui momen inersia suatu benda kita dapat mengetahui ukuran kecenderungan suatu benda untuk tetap diam untuk mempertahankan posisi atau keadaannya .

Momen inersia suatu benda dapat diukur menggunakan alat ukur momen inersia yang bekerja berdasarkan metoda osilasi. Salah satunya seperti yang ada di laboratorium mekanika jurusan Fisika Universitas Negeri Padang. Pengukuran nilai momen inersia pada alat ini masih dilakukan secara manual yaitu dengan menghitung banyak osilasi yang terjadi (n) pada alat momen inersia dan perhitungan waktu yang dilakukan dengan stopwach. Hal ini menyebabkan data yang didapatkan kurang tepat dan teliti, karena bisa menyebabkan beberapa kesalahan seperti kesalahan dalam perhitungan banyak osilasi yang terjadi dan ketidaktepatan pemencetan stopwach dengan awal terjadinya osilasi. Oleh sebab itu perlunya alat ukur yang lebih efektif yang bisa mengukur momen inersia benda secara otomatis untuk mendapatkan hasil data yang tepat dan teliti.

Alat ukur momen inersia digital merupakan salah satu alat yang efektif dalam mengukur momen inersia benda. Alat ini bekerja secara digital dalam

menghitung nilai banyaknya osilasi, waktu yang diperlukan dan nilai momen inersia benda yang di ukur, serta menampilkannya pada LCD. Sensor optocoupler digunakan sebagai pendeteksi banyaknya osilasi yang terjadi, keluaran dari sensor ini diproses di arduino uno untuk mendapatkan nilai dari momen inersia suatu benda. Berdasarkan hal ini penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **”Pembuatan Alat Momen Inersia Benda Digital Menggunakan Sensor Optocoupler”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana spesifikasi performansi dan spesifikasi desain dari alat ukur momen inersia benda digital menggunakan sensor optocoupler ?

C. Pembatasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah, maka perlu dilakukan beberapa pembatasan masalah dalam penelitian ini. Sebagai pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Besaran yang diukur adalah waktu dan banyak osilasi, yang berguna untuk mendapatkan nilai perioda, sedangkan nilai momen inersia benda didapatkan dengan perhitungan secara otomatis setelah nilai perioda didapatkan.
- b. Spesifikasi yang diamati berupa spesifikasi performansi dan spesifikasi desain. Spesifikasi performansi meliputi indentifikasi setiap komponen pembentuk alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler,

sedangkan spesifikasi desain meliputi ketepatan dan ketelitian dari alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler.

D. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah :

- a. Menentukan spesifikasi performansi dari alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler.
- b. Menentukan spesifikasi desain dari alat ukur momen inersia benda secara digital menggunakan sensor optocoupler.

E. Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi:

- a. Kelompok bidang kajian Elektronika dan Instrumentasi dalam pengembangan instrumen berbasis elektronik.
- b. Jurusan Fisika, sebagai instrumen yang dapat digunakan pada laboratorium fisika dalam melakukan eksperimen momen inersia benda
- c. Peneliti lain, sebagai sumber ide dan referensi dalam pengembangan penelitian tentang instrumentasi.
- d. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian elektronika dan dalam pengembangannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pengukuran

Sistem merupakan gabungan dari beberapa bagian yang berhubungan satu sama lain untuk tujuan tertentu. Sasaran dalam suatu sistem yaitu berupa pengukuran, pengendalian, pengaturan ataupun memberikan suatu pelayanan. Pada bidang elektronika sistem dapat diartikan sebagai gabungan dari beberapa komponen elektronika yang dirakit untuk melakukan fungsi tertentu.

Pengukuran secara umum adalah membandingkan suatu besaran yang tidak diketahui harganya dengan besaran lain yang telah diketahui nilainya. Dapat disimpulkan sistem pengukuran merupakan gabungan aktivitas, prosedur, alat ukur, perangkat lunak, dan subjek yang bertujuan untuk mendapatkan data pengukuran terhadap karakteristik yang sedang diukur. Pengukuran suatu besaran biasanya dilakukan menggunakan alat ukur. Alat ukur dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu alat ukur analog dan digital.

Alat ukur analog merupakan alat ukur yang hasil pengukurannya ditunjukkan oleh jarum pada skala meter. Pembacaan dilakukan dengan cara melihat skala yang ditunjukkan langsung oleh alat ukur. Dalam pembacaan skala ini sering terjadi kesalahan, sehingga data pengukuran yang didapatkan kurang tepat. Sedangkan alat ukur digital merupakan alat ukur yang menggunakan jumlah digit tertentu untuk menampilkan hasil pengukuran. Pemakaian sistem digital ini telah banyak menggantikan sistem analog karena hasil pengukuran menggunakan alat ukur digital lebih mudah dan lebih akurat. Pembacaan alat ukur digital

biasanya menggunakan display seven segment, LCD atau dihubungkan ke komputer (PC).

1. Spesifikasi Alat Ukur

Spesifikasi merupakan pendeskripsian secara mendetail tentang produk hasil penelitian. Pada umumnya spesifikasi berisikan uraian tentang desain dan performansi. Secara umum spesifikasi digolongkan atas dua tipe yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain.

a. Spesifikasi Performansi

Spesifikasi performansi disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi performansi merupakan suatu uraian rinci mengenai material-material atau komponen-komponen pembentuk sistem serta mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem tersebut. Spesifikasi performansi umumnya diukur dari segi kuantitas dan kualitas pembentuk sistem, sehingga suatu sistem dapat bekerja dengan baik dan dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya. Kualitas merupakan hal utama yang harus diperhatikan dalam menghasilkan suatu produk.

b. Spesifikasi Desain

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain adalah spesifikasi tentang ketepatan dan ketelitian pengukuran, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dimensi sistem dan uji produk.. Penentuan spesifikasi desain meliputi karakteristik statistik yaitu *accuracy*, *precision*, *error*, *resolution*, *repeatability*, *span* dan *linieritas*.

B. Momen Inersia

1. Definisi Momen inersia

Momen inersia (Satuan SI : kg m^2) adalah suatu besaran yang memperlihatkan tentang usaha suatu benda untuk menentang gerak rotasinya (Hasra, 2013). Lambang I dan kadang-kadang juga J biasanya digunakan untuk merujuk kepada momen inersia. Momen inersia 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. Momen inersia bergantung pada distribusi massa terhadap sumbu putarnya. Semakin jauh massa-massa itu dari sumbu putar, semakin besar pula momen inersianya. Secara matematis momen inersia ditulis sebagai berikut:

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad (1)$$

dengan r_i = jarak ke sumbu putar (Prasetio, 1992:156).

Aplikasi dari momen inersia dapat dilihat dari benda tegar, dimana benda tegar merupakan keadaan suatu benda untuk mempertahankan posisinya ketika mendapat gaya atau tekanan dari luar. Setiap benda tegar memiliki momen inersia yang berbeda karena disebabkan beberapa faktor yaitu pusat rotasi benda, massa benda dan jari-jari benda tegar itu sendiri. Hubungan energi kinetik rotasi dengan momen inersia dari benda tegar adalah

$$K = \frac{1}{2} I \omega \quad (\text{Energi Kinetik benda tegar yang berotasi}), \quad (2)$$

Persamaan (2) memberikan bentuk pengertian fisika sederhana tentang momen inersia, semakin besar momen inersia maka semakin besar energy kinetik benda tegar yang berotasi dengan laju sudut ω tertentu. Jadi, semakin besar momen

inersia benda, semakin sulit benda itu melakukan perputaran dari keadaan diam dan semakin sulit dia berhenti dari keadaan berotasi. Untuk alasan ini I sering juga disebut inersia rotasi (Young & Freedman, 2002:274).

2. Momen Inersia Diri

Momen inersia diri merupakan nilai momen inersia diri dari alat momen inersia yang digunakan. Alat momen inersia ini bekerja berdasarkan metoda osilasi. Osilasi terjadi karena torsi yang diberikan pada pegas spiral dipasang pada poros alat ini dan dilengkapi dengan jarum penunjuk skala derajat transparan untuk memudahkan pengukuran.

Pengukuran interval pada osilasi dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan stopwatch atau untuk akurasi yang lebih baik dapat digunakan timer counter AT-01 atau gerbang cahaya. Proses perhitungan momen inersia dapat diturunkan dari Hukum II Newton dengan memfokuskan pada gerak rotasi benda yang akan diukur momen inersianya sehingga dapat diartikan secara matematis bahwa momen inersia adalah hasil kali massa benda dengan kuadrat jarak benda terhadap sumbu putar, hal ini dinyatakan sebagai:

$$I = \sum MR^2 \quad (3)$$

Persamaan (3) menunjukkan bahwa semakin besar massa dan jarak benda terhadap sumbu putar maka semakin besar momen inersia suatu benda. Besarnya torka yang menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi adalah sebanding dengan gaya dan jari-jari benda, dapat dituliskan

$$\tau \approx R \times F \quad (4)$$

Apabila torka tersebut bekerja pada suatu sistem benda yang putarannya di tahan oleh pegas spiral, maka besarnya torka tersebut sebanding dengan simpangan, yang dapat dituliskan:

$$\tau \approx k \times \theta \quad (5)$$

Dengan k adalah konstanta spiral, semakin besar konstanta pegas spiral maka semakin besar pula torka yang bekerja pada suatu benda, dari persamaan (4) dan (5) di peroleh

$$\theta = \frac{R}{k} F \quad (6)$$

Persamaan (6) menunjukkan bahwa simpangan sebanding dengan gaya. Sehingga apabila dibuat grafik simpangan terhadap gaya dapat berupa kurva linier. Sifat linieritas akan muncul sepanjang masih dalam batas elastisitas Hooke dari pegas spiral tersebut. Torka yang bekerja pada alat momen inersia sebanding dengan momen inersia dan percepatan sudut $\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ yang dapat dituliskan: $\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$.

Persamaan dapat dijabarkan kembali

$$\begin{aligned} \tau &= I \frac{d^2\theta}{dt^2} \\ -k\theta &= I \frac{d^2\theta}{dt^2} \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k}{I} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Dengan I adalah momen inersia benda terhadap sumbu putar. Persamaan (7) merupakan persamaan gerak osilasi sederhana, dari persamaan (7) didapatkan perioda osilasi

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}} \quad (8)$$

Dari persamaan (8) perioda osilasi sebanding dengan akar momen inersia dan berbanding terbalik dengan akar konstanta pegas, berdasarkan hal ini dapat diperoleh besar momen inersia alat momen inersia yaitu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{k}}$$

$$T^2 = \left(2\pi \sqrt{\frac{I}{k}}\right)^2$$

$$T^2 = \left(4\pi^2 \frac{I}{k}\right)$$

$$I = \frac{k}{4\pi^2} T^2 \quad (9)$$

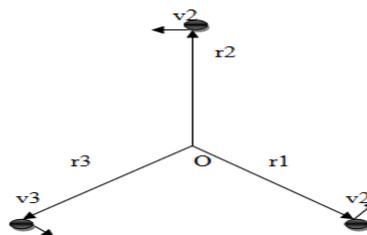
Berdasarkan persamaan (9) dapat dituliskan nilai momen inersia diri alat momen inersia yaitu

$$I_0 = \frac{k}{4\pi^2} T_0^2 \quad (10)$$

Dengan I_0 adalah momen inersia diri dan T_0 adalah perioda diri alat momen inersia. Semakin besar perioda diri alat momen inersia, maka semakin besar momen inersia diri alat momen inersia yang didapatkan.

3. Momen Inersia Benda

Sebuah sistem yang terdiri dari tiga buah partikel dengan massa m_1 , m_2 , dan m_3 membentuk suatu benda tegar seperti Gambar 1,



Gambar 1. Sistem Dengan Tiga Partikel Bermassa (Hasra,2013)

Gambar 1 adalah sistem dengan tiga partikel bermassa, apabila m_1 berada pada posisi r_1 dan bergerak rotasi dengan kecepatan ω , memiliki kecepatan linier $v_1 = \omega \times r_1$, momentum sudut partikel tersebut adalah:

$$\begin{aligned} L_1 &= r_1 p_1 = m_1 r_1 v_1 \\ L_1 &= m_1 r_1 (\omega r_1) \end{aligned} \quad \text{Atau:} \quad L_1 = m_1 r_1^2 \omega \quad (11)$$

dengan cara yang sama untuk m_2 , dan m_3 , besarnya momentum sudut total dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} L_1 + L_2 + L_3 &= (m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2) \omega \\ L &= I \omega \end{aligned} \quad (12)$$

dengan ,

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 \quad (13)$$

Persamaan (11) menunjukkan hubungan antara L, I , dan ω . Hubungan ini mirip dengan hubungan antara momentum linier p , m , dan v pada gerak translasi, $p = mv$. Jadi, besaran I identik dengan massa m pada gerak translasi dan disebut momen inersia benda tegar. Untuk suatu sistem N partikel yang membentuk benda tegar, momen inersianya adalah:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \quad (14)$$

Berdasarkan persamaan (14) dapat dihitung momen inersia untuk berbagai benda. Nilai momen inersia dari beberapa benda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Momen Inersia Benda

Benda	Letak Sumbu	Momen Inersia
Slinder Pejal	Sumbu Slinder	$\frac{1}{2}(mR^2)$
Slinder Berongga	Sumbu Slinder	$\frac{m}{2}(R^2 + r^2)$
Bola Pejal	Pusat Bola	$\frac{2}{5}(mR^2)$
Kerucut	Sumbu	$\frac{3}{10}(mR^2)$

(Hasra,2013)

Tabel 1 merupakan tabel yang menunjukkan persamaan untuk menghitung momen inersia berbagai benda. Momen inersia suatu benda dipengaruhi oleh massa dan jari-jari benda tersebut, semakin besar massa dan jari-jari benda tersebut maka semakin besar momen inersia benda. Apabila sebuah benda di pasang pada alat momen inersia kemudian diosilasikan, maka perhitungan momen inersia benda didapatkan dari nilai perioda osilasi benda tersebut, dengan perioda osilasi benda merupakan penjumlahan momen inersia diri pada persamaan (10) dengan momen inersia benda tersebut, dapat dituliskan

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k}(I_0 + I)$$

$$T^2 = \frac{T_0^2}{I_0}(I_0 + I)$$

$$I = \left(\frac{T^2}{T_0^2} - 1\right)I_0$$

(15)

Persamaan (15) merupakan momen inersia benda yang terpasang pada alat momen dimana nilai I_0 dan T_0 merupakan suatu konstanta yaitu momen inersia diri dan perioda diri alat momen inersia, I dan T adalah nilai momen inersia benda dan perioda benda.

C. Komponen Elektronika

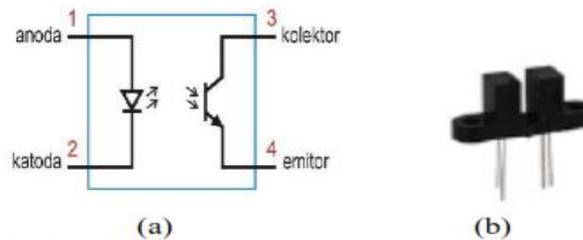
1. Sistem Digital dalam Elektronika

Sistem Digital adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengukur suatu nilai atau besaran yang bersifat tetap atau tidak teratur dalam bentuk diskrit berupa digit digit atau angka angka. Contoh : komputer, kalkulator, audio dan video digital, system telepon. Ciri-ciri sistem digital bagian-bagiannya terdiri atas beberapa rangkaian digital, gerbang logika dan komponen lainnya, outputnya merupakan fungsi pengalihan tenaga, Input dan outputnya berupa suatu tenaga/energi. Sedangkan, kelebihan dari sistem digital adalah secara umum lebih mudah dirancang, penyimpanan informasi lebih mudah, ketelitian lebih besar, operasi dapat diprogram,dll.

2. Sensor Optocoupler

Optocoupler dapat didefinisikan sebagai piranti elektronika yang memanfaatkan sinar sebagai pemicu *on-off*. Optocoupler atau isolator optik (*opto-isolator*) merupakan rangkaian terpadu yang terdiri dari fototransistor dan LED (*light emitting diode*) kombinasi antara emitter dan detektor. Opto berarti optik (cahaya) dan coupler berarti pemicu. Optocoupler merupakan komponen yang memanfaatkan sinar sebagai pemicu *on/off*-nya. Dapat diartikan bahwa sensor optocoupler merupakan suatu komponen yang bekerja berdasarkan picu

cahaya (Sukendar, 2013). Sensor optocoupler biasanya digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis. Bentuk fisik dan rangkaian dasar sensor optocoupler dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Rangkaian Dasar Optocoupler

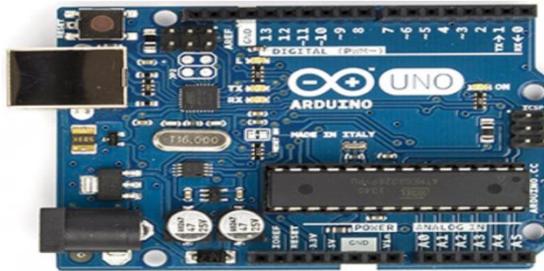
(b) Bentuk Fisik Optocoupler (Subito:2012)

Prinsip kerja dari optocoupler dapat dilihat pada Gambar 2 yaitu jika antara transistor dan LED terhalang maka fototransistor tersebut akan off sehingga keluaran dari kolektor akan berlogika high. Namun jika antara transistor dan LED tidak terhalang maka fototransistor tersebut akan on sehingga keluaran dari kolektor akan berlogika low.

3. Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. Menurut (Yohandri, 2013) mikrokontroler sudah dilengkapi dengan peripheral pendukung sehingga membentuk sebuah komputer lengkap dalam level chip, secara sederhana mikrokontroler adalah sebuah IC yang terdiri atas ROM, RAM, parallel I/O, serial I/O, counter, dan *clock circuit*. Istilah lain dalam menggambarkan mikrokontroler adalah pengontrol yang kecil, karena fungsinya dapat sebagai pengontrol objek, proses atau kejadian.

Arduino Uno adalah kit berbasis mikrokontroler ATmega328. Kit ini memiliki 14 pin input / output digital dan 6 diantaranya adalah pin output PWM, 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB dan tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung kerja mikrokontroler. Arduino Uno dapat aktif apabila terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan yang bisa diperoleh dari adaptor AC-DC ataupun baterai untuk menggunakannya. Bentuk fisik dari Arduino Uno seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Papan Kerja Arduino Uno Rev3(Arduino.cc)

Arduino Uno dapat beroperasi pada tegangan 7 Volt sampai 12 Volt. Memori pada ATmega328 ini memiliki 32 KB dengan 0,5 KB digunakan untuk penanaman program, 2 KB dari SRAM dan 1 KB dari EEPROM. Masing-masing dari 14 pin digital pada Uno dapat digunakan sebagai input atau output dan beroperasi di 5 volt.

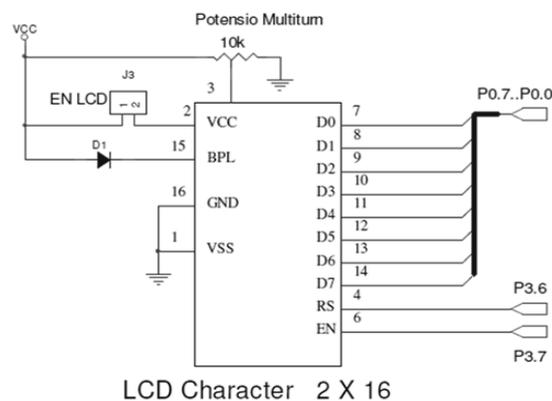
Menurut Guntoro (2013:40) arduino memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

- a) Arduino telah dilengkapi dengan *bootloader* didalamnya sehingga tidak perlu menggunakan *chip* programmer karena *bootloader* akan menangani *upload* program dari komputer.

- b) Arduino memiliki sarana komunikasi USB, sehingga untuk laptop yang tidak memiliki port komunikasi serial bisa menggunakannya.
- c) *Software* arduino telah dilengkapi dengan *library* yang cukup lengkap sehingga programnya relatif lebih mudah.
- d) Arduino memiliki modul siap pakai seperti ethernet, SD card, dll yang dapat ditancapkan pada *board* Arduino.

4. *Liquid Crystal Display*

Liquid Crystal Display (LCD) merupakan perangkat yang digunakan untuk menampilkan data. LCD memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan perangkat lain untuk menampilkan sebuah data, antara lain hemat energi, ringan dan proses perancangan yang relatif lebih mudah. Disamping itu, LCD mampu menampilkan karakter sesuai dengan yang diinginkan. Bentuk fisik LCD dan rangkaian display LCD dapat dilihat seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk dan Rangkaian Display LCD

(Triwiyanto, 2009)

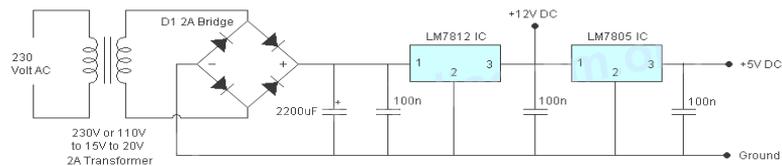
Gambar 4 merupakan rangkaian display LCD, display karakter pada LCD ini diatur oleh pin EN, RS dan RW. Jalur EN diset *Enable* untuk memberitahu LCD bahwa data sedang dikirim. Untuk itu, program EN harus dibuat logika low “0” dan set pada dua jalur kontrol yang lain RS dan RW. Ketika dua jalur yang lain telah siap, set EN dengan logika “1” dan tunggu untuk sejumlah waktu tertentu (sesuai dengan datasheet dari LCD tersebut) dan berikutnya set EN ke logika low “0” lagi.

Jalur RS adalah jalur *register select*. Ketika RS berlogika low “0”, data akan dianggap sebagai sebuah perintah atau instruksi khusus (seperti *clear screen*, posisi kursor dan lain-lain). Ketika RS berlogika *high* “1”, data yang dikirim adalah data teks yang akan ditampilkan pada display LCD. Jalur RW adalah jalur kontrol *Read/ Write*. Ketika RW berlogika low (0), maka informasi pada bus data akan dituliskan pada layar LCD. Ketika RW berlogika *high* ”1”, maka program akan melakukan pembacaan memori dari LCD. Sedangkan pada aplikasi umum pin RW selalu diberi logika low ”0” (Triwiyanto:2009).

5. Power Supply

Sebuah power supply adalah suatu perangkat yang menyalurkan energi listrik, menurunkan tegangan AC serta mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Power supply merupakan komponen yang dibutuhkan hampir untuk semua peralatan elektronika. Hal ini disebabkan pada umumnya untuk mengoperasikan peralatan elektronika dibutuhkan tegangan DC. Power supply dibangun dengan menggunakan IC regulator tegangan.

Sutrisno (1999: 80) menyatakan bahwa untuk regulasi tegangan yang tak terlalu besar dapat menggunakan IC tiga terminal yang dikenal dengan 78xx dan 79xx. Contoh untuk mendapatkan tegangan teregulasi 12 volt digunakan IC 7812. Rangkaian catu daya teregulasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Power Supply

Gambar 5 merupakan salah satu contoh rangkaian power supply yang paling sering ditemui dalam dunia elektronika. Hanya dengan menggunakan beberapa komponen inti dari power supply yakni satu buah dioda bridge atau 4 buah dioda biasa dan satu buah kapasitor. Dioda bridge atau 4 buah dioda biasa ini digunakan sebagai penyearah gelombang bolak balik yang dihasilkan oleh trafo step down atau trafo penurun tegangan dan kapasitor digunakan sebagai penghilang riak gelombang yang telah disearahkan oleh dioda bridge.

Tegangan 220 volt dari listrik PLN diturunkan oleh trafo atau transformator penurun tegangan yang menerapkan perbandingan lilitan, dimana perbandingan lilitan dari suatu transformator akan mempengaruhi perbandingan tegangan yang dihasilkan. Tegangan yang dihasilkan oleh trafo masih berbentuk gelombang AC dan harus disearahkan dengan menggunakan penyearah. Rangkaian penyearah yang digunakan memanfaatkan 4 buah dioda yang telah dirancang untuk bisa meloloskan kedua siklus gelombang AC menjadi satu arah saja. Pada keluaran dari penyearah dihubungkan dengan kapasitor sebagai filter, sehingga dihasilkan keluaran DC.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terhadap besaran fisika yang ada pada alat ukur momen inersia benda secara digital ini dapat dikemukakan beberapa kesimpulan dari penelitian yaitu :

1. Sistem ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian rangkaian elektronik dan bagian mekanik. Bagian rangkaian elektronik meliputi rangkaian penyusun sistem alat ukur momen inersia benda secara digital, seperti rangkaian sensor optocoupler, rangkaian power supply, rangkaian catu daya dan board rangkaian Mikrokontroler Arduino Uno Rev3. Bagian mekanik terdiri dari tempat dudukan benda, busur derajat, pegas.
2. Hasil Spesifikasi desain alat ukur ini adalah sebagai berikut :
 - a. Ketepatan dari sistem alat ukur momen inersia benda ini cukup baik, bahwa persentase kesalahan rata-rata 3,948 %, dengan persentase ketepatan sistem yaitu 96,05%.
 - b. Ketelitian rata-rata dari sistem pengukuran juga cukup baik. Untuk pengukuran momen inersia beberapa benda diperoleh ketelitian rata-ratanya adalah 0,979 dengan standar deviasi rata-rata 0,000009152 dan kesalahan relatif rata-rata 0,834%.

B. Saran

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

1. Alat ukur momen inersia benda secara digital ini dapat digunakan di Laboratorium Mekanika Jurusan Fisika sebagai sarana praktikum menentukan momen inersia beberapa benda.
2. Desain mekanik alat ukur momen inersia benda secara digital dikembangkan agar bentuknya lebih efisien dan lebih mudah saat diatur posisi dan tingginya sehingga tidak menjadi faktor penghambat yang dapat mempengaruhi proses pengukuran.
3. Sensor optocoupler yang digunakan sebaiknya memiliki celah antara transmitter dan receiver yang lebih lebar agar dapat dilewati benda selain berupa plat.
4. Sensor yang digunakan sebaiknya memiliki respon yang lebih cepat dari sensor optocoupler agar dalam pengukuran momen inersia suatu benda yang nilai momen inersianya kecil, tidak terjadi kesalahan dalam mendeteksi osilasi benda yang terlalu cepat, sehingga didapatkan data yang selalu tepat.