

**DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MOMEN GAYA
BERBASISSENSOR KOIL DATAR MENGGUNAKAN
MIKROKONTROLER ATMEGA16**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh
RATIH KUMALASARI
NIM: 20210003
(Program Studi Magister Fisika)**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
April 2012**

ABSTRAK

DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MOMEN GAYA BERBASIS SENSOR KOIL DATAR MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA16

Oleh
Ratih Kumalasari
NIM: 20210003

Telah didesain dan dibuat alat ukur momen gaya dan modulus puntir berbasis sensor koil datar menggunakan mikrokontroler ATMEGA16. Dalam eksperimen digunakan elemen koil datar yang terdiri dari 30 lilitan dengan diameter 3 cm. Elemen koil datar berfungsi untuk mengindikasi sudut putar pada batang uji. Prinsip kerjanya didasarkan pada perubahan posisi dari elemen penganggu yang dilekatkan pada batang uji di depan elemen koil datar. Perubahan induktansi dari koil datar bertindak sebagai masukan resonasi pada pengolah sinyal yang diubah menjadi tegangan. Dengan bantuan ADC internal pada mikrokontroler ATMEGA16, perubahan tegangan ini diolah sebagai perubahan sudut yang kemudian digunakan dalam persamaan momen gaya dalam pemrograman ATMEGA16. Jarak yang diperoleh dari pengukuran digunakan sebagai setting awal kalibrasi tegangan terhadap sudut putar. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai kesalahan relatif maksimum alat ukur momen gaya dan modulus puntir yaitu 3,00% dan 2,97%. Hasil ini menunjukkan bahwa alat yang telah dibuat bekerja dengan baik dan dapat digunakan sebagai alat ukur momen gaya dan modulus puntir.

Kata kunci : ATMEGA16, koil datar, modulus puntir, momen gaya.

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURING TORQUE METER BASED ON FLAT COIL SENSOR USING ATMEGA16 MIKROKONTROLLER

Ratih Kumalasari
NIM: 20210003

Design and manufactured the apparatus to measure moment of force and shear modulus based on flat coil sensors using ATMEGA16 microcontroller have been done. Flat coil element has been made from a thin epoxy with a number of coils 30 and diameter of 3 cm. Flat coil element was used to measures rotating angle of tested shaft. Working principles of flat coil based on to position change of disturb element which attached to tested shaft in front of flat coil. Inductance changes of flat coil work as resonance input of signal condition. With an assistance of internal ADC on ATMEGA16 microcontroller, changes of potential was interpreted as change of angle, then used at torque equation. distance result from measurement was used as an initial setting for potential calibration to the rotating angle. The result shows the maximum relative error for moment of force and shear modulus apparatus about 3.00% and 2.9%. In conclusion we recommended that our apparatus were working very well to measured moment of force and shear modulus.

Keyword: ATMEGA16, flat coil, shear modulus, momen of force.

**DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MOMEN GAYA
BERBASIS SENSOR KOIL DATAR
MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA16**

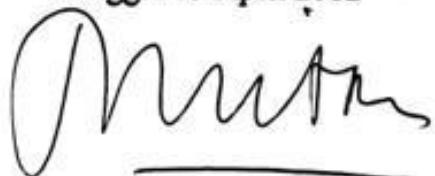
Oleh :

**RATIH KUMALASARI
NIM : 20210003**

Program Studi Fisika
Institut Teknologi Bandung

Disetujui Oleh :
Pembimbing

Tanggal 13 April 2012



Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamar
NIP. 196005221985031002

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung

Nashrun Minallah

Untuk

*Mama Sri Martuti, Papa Barnabas,
Ibu Widarningsih, Bapak Suhardono,
Mas.Chandra, Mbak.Virgo, Ab.Franz, de' Tyok, de'Angga,
Ananda Kumala Mahadewa, serta adik-adiknya*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan YME karena dengan kemudahan, kekuatan, keberkahan dan hidayah dari-Nya maka tesis dengan judul **“DESAIN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR MOMEN GAYA BERBASIS SENSOR KOIL DATAR MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA16”** dapat diselesaikan. Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister dari program studi Fisika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung.

Tesis ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan serta kerjasama dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal, selaku pembimbing tugas akhir dan wali akademik di Program Studi Fisika Institut Teknologi Bandung.
2. Bapak dan Ibu penguji selaku penguji sidang Tesis.
3. Seluruh staf dosen dan tata usaha Program Studi Fisika ITB.
4. Papa Mama Bapak Ibu serta kluarga besar di bekasi dan jepara yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis
5. Mas Chandra yang senantiasa sabar mendukung dan mendoakan penulis selama penyusunan Tesis.
6. Ananda Kumala Mahadewa yang tepat selama 9 bulan selalu menemani dan memberi kebahagian selama penulisan Tesis.
7. Teman-teman Sahabat Magister Fisika 2010 dan Teman-teman lab ELKA, terimakasih buat dukungan dan bantuannya selama penyusunan Tesis.
8. Teman-teman Kost Pelesiran 44, Terimakasih buat kebersamaannya.
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu persatu. Semoga Allah memberikan balasan yang jauh lebih baik.

Penulis menyadari bahwa tesis ini tidak sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik untuk perbaikan sangat penulis harapkan. Teriring doa penutup, semoga tesis ini bisa bermanfaat bagi kepentingan umat dan aplikasi ilmu pengetahuan.

Bandung, April 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PEDOMANA PENGGUNAAN TESIS.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan Penelitian	2
I.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
I.5. Hipotesis Penelitian	3
I.6. Metode Penelitian	3
I.7. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Momen Gaya Pada Batang Silinder	5
II.2. Prinsip Fisis Elemen Koil Datar	9
II.3.Induktansi	10
II.4. Induktansi Pada Koil Datar	12
II.5. Teori Dasar Osilator	15
II.6. Atmega 16	16

BAB III RANCANGAN ALAT	
III.1.Prototipe Sensor.....	19
III.1.1. Kalibrator Jarak.....	19
III.1.2. Elemen Koil Datar.....	20
III.1.3. Elemen Penganggu Koil datar.....	20
III.1.4.Desain Mekanik Sensor Momen Gaya.....	21
III.2. Sistim Pengukuran.....	23
III.3. Rangkaian Pengolah Isyarat Analog	24
III.3.1. Pengolah Isyarat Sensor.....	25
III.3.2.Tapis Lolos Rendah.....	27
III.3.3. Penguat Diferensial.....	27
III.4. Rangkai Digital dan tampilan.....	28
BAB IV HASIL DAN ANALIS DATA	
IV.1.Hasil Penelitian	31
IV.2. Analisi Data	46
BAB V PENUTUP	
V.1. kesimpulan	49
V.2. Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
IV.1. Data pengukuran modulus puntir pada material besi.....	43
IV.2. Data pengukuran modulus puntir pada material kuningan.....	43
IV.3. Data pengukuran modulus puntir pada material stainless steel.....	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
II.1.a. Tegangan meregang.....	5
II.1.b. Tegangan menekan	5
II.1.c. Tegangan memuntir	6
II.2.a. Batang yang belum dikenai gaya.....	6
II.2.b. Batang yang mengalami deformasi	7
II.3. Batang yang dipuntir	8
II.4. Elemen koil datar.....	10
II.5. Loop yang diliri arus	10
II.6. Dua elemen loop yang dialiri arus.....	11
II.7. Induktansi diri pada kumparan kawat.....	12
II.8. Induktansi bersama dua kawat kumparan.....	13
II.9. Diagram osilator	16
II.10. Konfigurasi pin ATmega16.....	18
III.1. Alat kalibrator jarak	19
III.2. Koil datar.....	20
III.3. Elemen penganggu	20
III.4. Sistem mekanik alat ukur momen gaya	21
III.5. Diagram sistem pengukuran	23
III.6. Blok diagram pengolah isyarat analog	24

III.7. Osilator LC Frankin	25
III.8. Osilator refrensi.....	26
III.9. Tapis RC lolos rendah.....	27
III.10. Penguat penyyangga.....	28
III.11. Tampilan digital alat ukur momen gaya.....	29
IV.1. Grafik respon jarak terhadap tegangan	31
IV.2. Grafik daerah kerja sensor koil datar.....	32
IV.3. Grafik sensitivitas maksimum sensor koil datar	33
IV.4. Kesalahan absolut pada daerah sensitivitas maksimum.....	34
IV.5. Kesalahan relatif pada daerah sensitivitas maksimum.....	34
IV.6. Grafik nilai sudut terhadap tegangan	36
IV.7. Grafik persamaan garis untuk sudut putar terhadap tegangan	37
IV.8. Grafik Talat terhadap Trefrensi pada material besi	38
IV.9. Grafik kesalahan absolut pada besi.....	38
IV.10. Grafik kesalahan relatif pada besi.....	39
IV.11. Grafik Talat terhadap Trefrensi pada material Kuningan	39
IV.12. Grafik kesalahan absolut pada kuningan	40
IV.13. Grafik kesalahan relatif pada kuningan	41
IV.14. Grafik Talat terhadap Trefrensi pada material Stainless steel	41
IV.15. Grafik kesalahan absolut pada stainless steel	42
IV.16. Grafik kesalahan relatif pada stainless stell.....	42
IV.17. Hasil pengukuran uji reproduksibilitas	45

IV.18. Grafik kesalahan absolute uji reproducibilitas	46
IV.19. Grafik kesalahan relatif uji reproducibilitas.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data hasil pengukuran jarak terhadap tegangan.....	53
Lampiran B Data kalibrasi sudut terhadap tegangan.....	56
Lampiran C Data hasil pengukuran.....	57
Lampiran D Data hasil uji reproduksibilitas.....	60
Lampiran E. Skematik rangkaian analog sensor koil datar.....	61
Lampiran F Skematik rangkaian digital mikrokontroler ATmega16.....	62
Lampiran G C Programer mikrokotroler ATmega16.....	63

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Dalam ruang lingkup teknik perhitungan mengenai momen gaya sering kali digunakan seperti material yang diputar, material yang diberi tekanan dan material yang diberi suatu tarikan. Selain itu beberapa contoh aplikasi lain pada benda yg dikenai momen gaya yaitu pada bidang struktural sperti jembatan, pegas, badan mobil, sayap pesawat, lambung kapal, dan lain – lain . Material yang digunakan dalam aplikasi tersebut tidak hanya membutuhkan kekuatan material tetapi juga kekuatan dalam menahan momen gaya. Meskipun pengecekan momen gaya tidak seumum pengukuran tegangan dan pada pengukuran momen gaya tidak memiliki standart prosedur pengukuran yang tetap, tetapi pengukuran momen gaya ini penting untuk aplikasi pada bidang teknik dan penting bagi pembelajaran mengenai sifat plastis suatu material. Selain itu perhitungan momen gaya juga dapat digunakan untuk mengukur kerapuhan suatu material seperti material berbahan baja, pengukuran momen gaya ini juga telah banyak digunakan pada pembutan perubahan bentuk material atau pengukuran momen gaya pada temperature yang makin tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut penulis berkeinginan mendesain dan membuat alat ukur momrn gaya serta modulus puntir suatu material dengan bahan yang sederhana serta murah. Sebagai sensor yang digunakan adalah sensor koil datar dimana prinsip kerja sensor koil datar tersebut sendiri adalah perubahan karena

adanya gangguan bahan konduktif dalam medan magnetnya (Yulkifli, 2006).

Perubahan indiktansi dari koil datar tersebut nantinya akan diindra sebagai perubahan tegangan oleh osilator.

Dalam penentuan momen gaya ada besaran- besaran lain yang mempengaruhi momen gaya tersebut antara lain yaitu panjang material, jari-jari material, dan modulus puntir suatu material, untuk mempermudah dalam pembuatannya maka digunakan mikrokontroler ATMEGA16, pemilihan ATMEGA16 sendiri dikarenakan fiturnya yang sudah lengkap yaitu adanya ADC internal 10 bit yang nantinya digunakan secara langsung untuk mengubah tegangan dari rangkaian analog, serta ATMEGA16 sendiri memiliki 40 pin port-port khusus input/output yang diharapkan akan mempermudah penulis dalam pengolahan data digital dari sensor momen gaya ini.

I.2 Rumusan Masalah

Dengan menggunakan sensor koil datar dan dengan menggunakan bantuan ATMEGA16 diharapkan diperoleh suatu alat ukur momen gaya dan alat ukur modulus puntir yang mempunyai ketelitian yang tinggi serta biaya yang murah.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mendesain dan membuat alat ukur momen gaya dan alat ukur modulus puntir dengan sensor koil datar berbasis mikrokontroler ATMEGA16.

- b. Mengetahui sifat dan karakteristik sistem sensor yang telah dibuat dengan jalan kalibrasi menggunakan massa yang sebenarnya.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pembuatan alat ukur yang akan diteliti merupakan sistem lengkap dengan menggunakan koil datar, pengolah sinyal, interface, sistem mekanik, dan software pada PC.

I.5 Hipotesis Penelitian

Desain yang dibuat dapat digunakan untuk mengukur momen gaya serta modulus puntir suatu material.

I.6 Metode Penelitian

Berdasarkan hipotesis penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Studi pustaka yaitu melakukan kajian dari perpustakaan, internet, dan buku-buku literatur untuk mendesain alat praktikum.
- b. Eksperimen yaitu melakukan pembuatan alat, menguji alat, pengambilan data, menganalisis data sehingga dapat dibuat suatu kesimpulan.

I.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap pembahasan, yaitu :

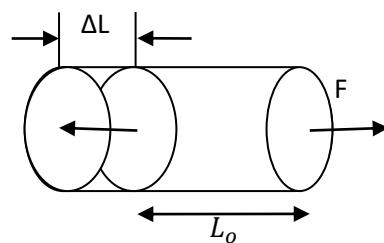
- a. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, hipotesis penelitian, metode penelitian dan sistematika penelitian.
- b. Bab II Teori Dasar, Membahas dasar-dasar teori yang mendukung penelitian tentang momen gaya menggunakan sensor koil datar dan ATMEGA16
- c. Bab III Pembuatan system sensor momen gaya, mekanik dan pembuatan digital dari alat ukur momen gaya dan modulus puntir
- d. Bab IV Hasil dan Analisa Data, berisi hasil pengukuran jarak, dan kalibrasi alat ukur momen gaya, serta analisis dari alat ukur momen gaya dan modulus puntir tersebut.
- e. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dan saran pengembangan lebih lanjut dari tesis ini.

BAB II

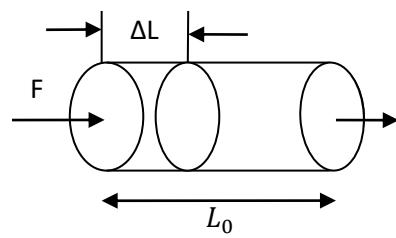
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Momen Gaya Pada Batang Silinder

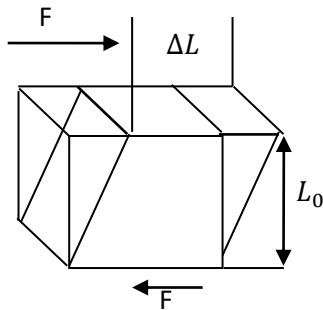
Suatu batang yang ditarik oleh suatu gaya dikatakan berada dibawah tegangan meregang (*tensile stress*), sedangkan apabila benda diberi tekanan menekan maka benda berada dibawah tekanan menekan (*compressive stress*) yang merupakan lawan dari tengangan meregang. Apabila suatu benda diberi gaya yang sama tetapi arahnya berlawanan dan tidak segaris maka benda tersebut berada dibawah tegangan memuntir (*shear stress*)(Haliday, Resnick, Walker, 2006), yang dapat dilihat pada Gambar II.1 dibawah ini.



Gambar II.1.a Tegangan meregang



Gambar II.1.b Tegangan menekan



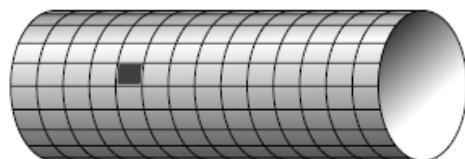
Gambar II.1.c Tegangan memuntir

Secara matematis kita dapat menulis persamaan untuk tegangan memuntir sebagai berikut :

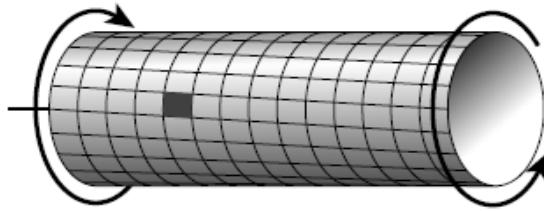
$$\Delta L = \frac{FL_0}{GA} \quad (\text{II.1})$$

Dimana ΔL adalah pertambahan panjang, L_0 adalah panjang mula-mula dan A adalah luas dari permukaan dimana gaya F bekerja. Dalam regangan geser dan memuntir gaya F bekerja sejajar dengan permukaan A , sedangkan ΔL tegak lurus terhadap L_0 , sedangkan G adalah modulus puntir.

Apabila sebuah batang diberikan tegangan memutir maka batang tersebut akan mengalami deformasi yang ditunjukkan seperti gambar II.2 berikut :



Gambar II.2.a Batang yang belum dikenai gaya



Gambar II.2.b Batang yang mengalami deformasi

Kita asumsikan torsi yang bekerja sepanjang batang $x = \text{konstan}$, tegangan memuntir $\tau = \tau_{x\phi}$ yang bekerja pada penanmpang dA menghasilkan gaya $dF = \tau dA$ dan momen $dM = dF\rho = (\tau dA)\rho$ sepanjang sumbu x . Jadi integral dari momen sepanjang sumbu x harus sebanding dengan torsi yang bekerja
(Sang,Hyuk Lee,et.al, 2007)

$$\begin{aligned}
 T &= \int_A (\tau dA)\rho = \int_A \frac{\rho}{R} \tau_{max} \rho dA \\
 &= \frac{\tau_{max}}{R} \int_{\sim} \rho^2 dA = \frac{\tau_{max}}{R} \int_A \rho^2 (\rho d\rho d\theta) = \frac{\tau_{max}}{R} \int_A \rho^3 d\rho d\theta
 \end{aligned}
 \tag{II.2}$$

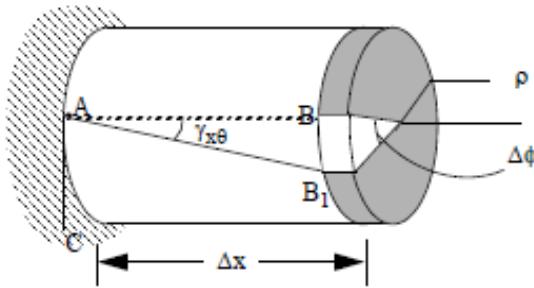
$$T = \frac{\tau_{max} J}{R} \tag{II.3}$$

Dimana J adalah polar momen inersia dengan penampang sebagai pusatnya.

$$J = \int_A \rho^2 dA = \int_A \rho^3 d\rho d\theta \tag{II.4}$$

untuk batang yang jari-jari R , maka nilai polar momen inersianya :

$$J = \frac{1}{2} \pi R^4 \tag{II.5}$$



Gambar II. 3. Batang yang diputir

Apabila sebuah batang yang diberi gaya torsi T pada salah satu ujungnya dan satu ujungnya lagi diam maka batang tersebut akan mengalami rotasi dimana besar sudut rotasinya = ϕ .

Untuk sudut yang kecil $BB' \approx R\phi_{BA} \approx X\gamma_{max}$

Sehingga

$$\phi = \frac{X\gamma_{max}}{R} \quad (\text{II.6})$$

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{\gamma_{max}}{R} = \frac{\gamma}{\rho} \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Jadi} \quad \gamma = \rho \frac{d\phi}{dx} \quad (\text{II.8})$$

Dengan hukum hooke maka persamaan menjadi

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{\frac{J_{eff}}{G} \rho}{GJ} = \rho \frac{d\phi}{dx} \quad (\text{II.9})$$

Sehingga diperoleh

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{T}{GJ} \quad (\text{II.10})$$

Jadi sudut rotasi dari batang silinder homogen

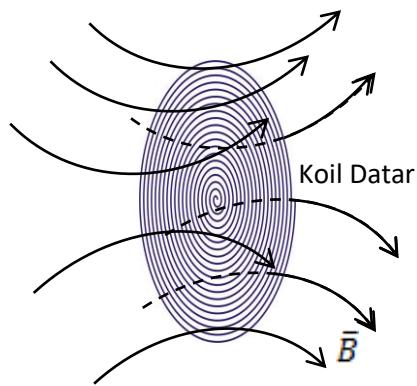
$$\phi_{BA} = \phi_B - \phi_A = \phi_B - 0 = \phi_B = \int_0^L d\phi = \int_0^L \frac{d\phi}{dx} dx = \int_0^L \frac{T}{GJ} dx \quad (\text{II.11})$$

Jika T, G dan J konstan sepanjang batang maka sudut rotasi menjadi :

$$\phi_{BA} = \frac{T}{GJ} \int_0^L dx = \frac{TL}{GJ} \quad (\text{II.12})$$

2.2 Prinsip Fisis Elemen Koil Datar

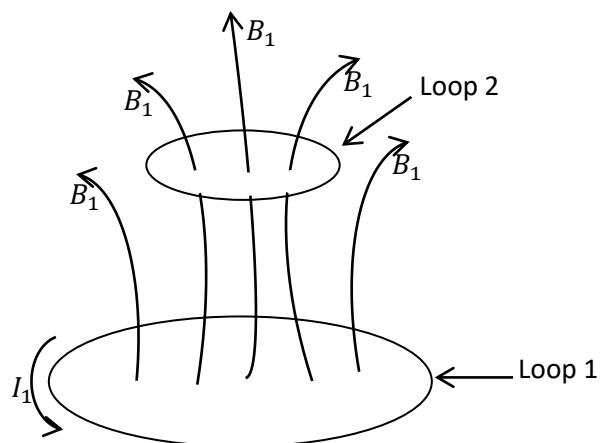
Prinsip fisis dari sensor koil datar berdasarkan perubahan induktansi koil datar karena adanya gangguan bahan konduktif baik bahan magnetik ataupun non magnetik. Induktansi elemen koil datar yang dialiri arus akan berubah jika suatu objek konduktif bahan pengganggu diletakkan dalam daerah medan magnetiknya. Perubahan induktansi ini disebabkan karena pada bahan tersebut terjadi arus pusar (*eddy current*). Arus pusar adalah arus yang mengalir pada lintasan tertutup (Kraus dan carver, 1981). Karena terjadi arus pusar maka koil datar menghasilkan medan magnetiknya sendiri dan berinterferensi saling menguatkan dengan induktivitas yang dihasilkan oleh elemen koil datar itu sendiri. Perubahan induktivitas total elemen koil datar digunakan sebagai bagian resonansi suatu rangkaian osilator (Philips, 1997).



Gambar II.4 Elemen Koil Datar

Setiap putaran atau lilitan dari koil datar seperti pada Gambar II.4 Diatas dianggap sebagai lingkaran koaksial dengan jejari kira-kira sama dengan jejari lilitan atau putarannya. Pada koil datar tersebut induktansi (L) dapat dihitung dengan menjumlahkan induktansi diri (L_j) dan Induktansi bersama (M_{jk}) (Setiadi, 2009).

II.3 Induktansi



Gambar II.5 Loop yang dialiri arus

Misal ada dua buah loop, bila loop 1 yang panjangnya l_1 berarus I_1 maka pada loop 2 yang berjarak r dari loop 1 terdapat medan magnet (Wiyanto, 2008)

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 \oint \frac{dl_1 \times \hat{r}}{r^2} \quad (\text{II.13})$$

Jadi B_1 adalah medan magnet yang terdapat pada loop 2 yang berjarak r dari loop 1. Dengan demikian flux magnetik pada loop 2 adalah

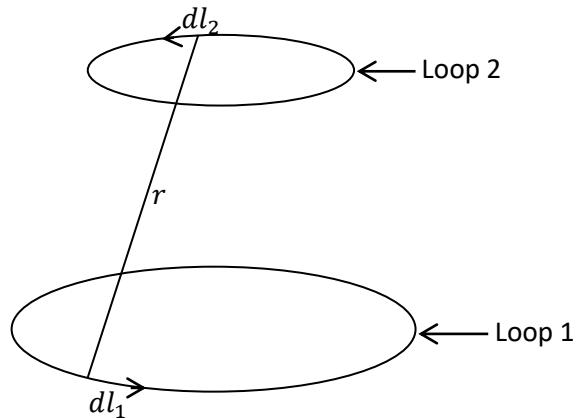
$$\Phi_2 = \int B_1 \cdot dl_2 \quad (\text{II.14})$$

Yang dapat ditulis dalam bentuk

$$\Phi_2 = M_{21} I_1 \quad (\text{II.15})$$

Dimana

$$\Phi_2 = \int B_1 \cdot dl_2 = \int (\nabla \times A_1) \cdot dl_2 = \oint A_1 \cdot dl_2 \quad (\text{II.16})$$



Gambar II.6 Dua elemen loop yang dialiri arus

potensial vektor $d \mathcal{A}_2$ akibat I_1 adalah

$$A = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{I_1 dl_1}{r} \quad (\text{II.17})$$

Total fluks potensial pada lilitan 2 akibat lilitan 1 adalah

$$\Phi_{12} = Adl_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{I_1 dl_1 dl_2}{r} \quad (\text{II.18})$$

Jika I_1 adalah konstan maka induktansi mutual dapat ditulis

$$M_{12} = \frac{\Phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{dl_1 dl_2}{r} \quad (\text{II.19})$$

Untuk kasus antara 2 lilitan konduktor linier

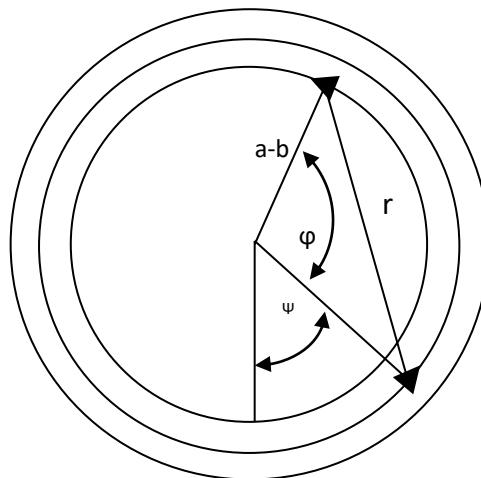
$$\frac{\Phi_{12}}{I_1} = \frac{\Phi_{21}}{I_2} \text{ dan } M_{12} = M_{21} \quad (\text{II.20})$$

Sehingga induktansi mutual secara umum dapat ditulis

$$M_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{dl_1 dl_2}{r} \quad (\text{II.21})$$

Persamaan diatas disebut persamaan Newmann

II.4 Induktansi pada koil datar



Gambar II.7 Induktansi diri pada kumparan kawat

koil datar dianggap tersusun sebagai lapisan koaksial, misal radius cincin koaksial a dengan radius internal adalah $a-b$, d radius $b < a$. Pada kasus konduktor dengan penampang sirkular, induktansi adalah perbandingan fluks terhadap arus yang

menimbulkan fluks(Setiaji, 2009). Induktansi diri pada coil bergantung pada jumlah lilitan dan ukuran dari coil tersebut.

Secara umum induktansi diri dirumuskan sebagai berikut :

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \oint \frac{dl_1 \cdot dl_2}{r} \quad (\text{II.22})$$

Berdasarkan rumusan geometri l dari jari-jari sirkular $a - b$ maka diperoleh

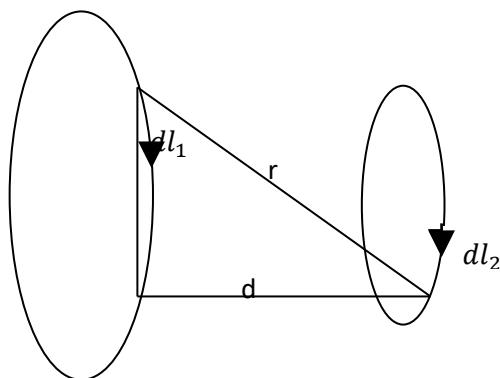
$$L = \frac{\mu_0}{2} a \sqrt{1 - \frac{b}{a}} \left[\left(\frac{2}{k} - k \right) K(k) - \frac{2}{k} E(k) \right] \quad (\text{II.23})$$

Dimana $K(k)$ dan $E(k)$ adalah integral eliptik lengkap. Karena koil datar tersusun atas beberapa lilitan konsentris, maka induktansi diri dari elemen koil datar pada lilitan ke $-j$ adalah

$$L_j = \frac{\mu_0}{2} a_j \sqrt{1 - \frac{b}{a_j}} \left[\left(\frac{2}{k_j} - k_j \right) K(k) - \frac{2}{k_j} E(k) \right] \quad (\text{II.24})$$

$$\text{Dimana } k_j = \frac{\sqrt{1 - \frac{b}{a_j}}}{1 - \frac{b}{2a_j}}$$

Sedangkan apabila ada kumparan, maka akan timbul induktansi bersama pada setiap kumparan. Yang diilustrasikan pada gambar berikut



Gambar II.8 Induktansi bersama dua buah kumparan

Misal jari-jari lingkaran pada Gambar II.8 adalah a_1 dan a_2 , jarak kedua ruang simpal adalah d , jarak antara elemen arus adalah r dan proyeksi jarak ini adalah r_1 . Sehingga induktansi total L dari sensor koil datar adalah penjumlahan antara induktansi diri L_j dan induktansi bersama M_{jk} .

$$\boxed{\mathcal{L} = \sum_{j=1}^N L_j + \sum_{j,k=1}^N M_{jk}} \quad (\text{II.25})$$

Dengan

$$L_j = \frac{\mu_0}{2} a_j \sqrt{1 - \frac{b}{a_j}} \left[\left(\frac{2}{k_j} - k_j \right) K(k) - \frac{2}{k_j} E(k) \right] \quad (\text{II.26})$$

$$M_{jk} = \frac{\mu_0 \sqrt{a_1 I_2}}{K_{jk}} \left[\left(2 - k_{jk}^2 \right) K(k_{kj}) - \frac{2}{k_{jk}} E(k_{\cap k}) \right] \quad (\text{II.27})$$

Sehingga induksansi total pada koil datar adalah

$$\begin{aligned} L &= \sum_{j=1}^N \frac{\mu_0}{2} a_j \sqrt{1 - \frac{b}{a_j}} \left[\left(\frac{2}{k_j} - k_j \right) K(k) - \frac{2}{k_j} E(k) \right] \\ &\quad + \sum_{j,k=1}^N \frac{\mu_0 \sqrt{a_1 I_2}}{K_{jk}} \left[\left(2 - k_{jk}^2 \right) K(k_{kj}) - \frac{2}{k_{jk}} E(k_{jk}) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.28})$$

Dimana $K(k)$ dan $E(k)$ adalah integral eliptik lengkap, yaitu :

$$K(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi}} \quad (\text{II.29})$$

$$E(k) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (\text{II.30})$$

$$k = \frac{\sqrt{1 - \frac{b}{a_j}}}{1 - \frac{b}{2a_j}} \quad (\text{II.31})$$

Dimana :

a = Jari-jari lingkaran

d = jarak antara elemen koil datar dengan objek

$a - b$ = setengah lebar lintasan elemen koil datar

j = jumlah lilitan elemen koil datar

k = jumlah lilitan yang terbentuk pada membrane penganggu

μ_0 = permeabilitas magnetik di ruang hampa

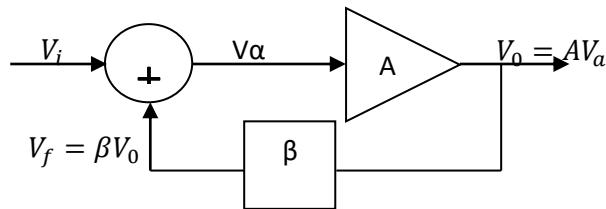
2.5 Teori Dasar Osilator

Osilator adalah piranti elektronik yang menghasilkan keluaran berupa isyarat tegangan. Bentuk isyarat tegangan terhadap waktu ada bermacam-macam, yaitu bentuk sinusoida, segitiga, gigi gergaji, atau denyut (Sutrisno, 1987). Yang menjadi permasalahan adalah bagaimana cara untuk memperoleh suatu bentuk osilator yang stabil sehingga dapat menjamin kestabilan tegangan keluaran selama pengukuran atau dengan memelihara osilasi, umpan balik positif, jaringan penentu frekuensi dan catu daya. Berdasarkan permasalahan tersebut maka digunakan suatu osilator yang mempergunakan prinsip kompensasi. rangkaian osilator tersebut adalah osilator LC, rangkaian ini merupakan bagian terpenting dari sistem dimana perubahan induktansi elemen koil datar diindera sebagai perubahan dari parameter fisis yang diukur.

Frekensi output osilator LC adalah gelombang frekwensi modulasi sinusoidal yang ditentukan daripada persamaan

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \sqrt{1 - R_s^2 \frac{C_s}{L_s}} \quad (\text{II.32})$$

Rangkaian osilator dapat dimodelkan dengan gambar berikut



Gambar 2.9. Diagram Osilator

Secara matematis gambar diatas dapat dimodelkan sebagai berikut

$$V_0 = A(V_i + \beta V_0) \text{ atau } V_0 - \beta A V_0 = AV_i \quad (\text{II.33})$$

Dapat juga ditulis

$$V_0(1 - \beta A) = AV_i \quad (\text{II.34})$$

Sehingga penguatan totalnya

$$G = \frac{V_0}{V_i} = \frac{A}{1 - \beta A} \quad (\text{II.35})$$

Dimana V_i dan V_0 masing-masing adalah isyarat tegangan masukan dan tegangan isyarat keluaran pada osilator. A adalah suatu penguat dan β adalah faktor umpan balik positif. Syarat untuk terjadi osilasi maka $\beta A_0 \approx 1$. Osilator pada sistem sensor koil datar terdiri dari dua, yang pertama diaplikasikan sebagai sumber frekuensi referensi dan yang kedua adalah osilator LC yang dibangun oleh koil datar. Frekuensi yang dihasilkan dari osilator referensi adalah tetap, sedangkan frekuensi yang dihasilkan oleh osilator koil datar berubah-ubah sesuai dengan gangguan yang diterima oleh koil datar.

II.6 ATmega 16

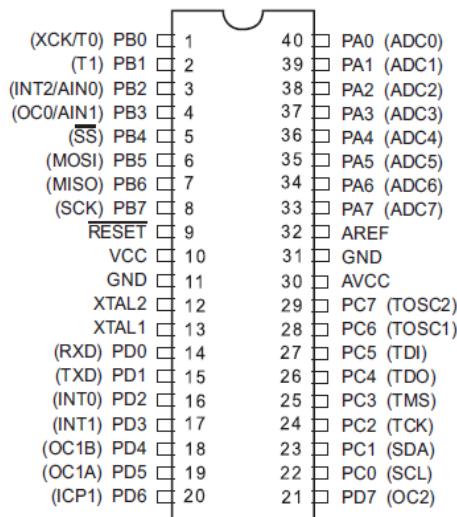
Penggunaan mikrokontroler saat ini telah banyak kita temui pada berbagai aplikasi alat elektronik dalam kehidupan sehari-hari, seperti handphone, televisi,

mesin cuci, dll. Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor di mana di dalamnya terdapat CPU, ROM, RAM, I/O dan peralatan internal lainnya yang terintegrasi dan dikemas dalam bentuk chip. Keuntungan menggunakan mikrokontroler yaitu harganya murah dan dapat kita program sesuai kebutuhan kita berkali-kali.

ATmega 16 adalah salah satu mikrokontroler dari keluarga AVR, yang dapat diprogram dengan menggunakan *low level language* (assembly) dan high level language (C, basic, pascal, java, dll) tergantung dengan compiler yang kita gunakan. Keunggulan menggunakan mikrokontroler jenis AVR ini dibandingkan dengan yang lain adalah mikrokontroler jenis AVR memiliki kecepatan eksekusi program lebih cepat. Selain itu mikrokontroler jenis AVR khususnya ATmega 16 memiliki fitur yang lengkap, secara khusus fitur-fitur tersebut adalah sebagai berikut (Ardianto,2008) :

- a. Mikrokontroler AVR 8 bit yang memiliki kemampuan tinggi dengan daya rendah.
- b. Arsitektur RISC dengan throughput mencapai 16 MIPS pada frekuensi 16 MHz.
- c. Memiliki kapasitas flash memori 16 Kbyte, EEPROM 512 Byte, dan SRAM 1Kbyte.
- d. Saluran I/O sebanyak 32 buah yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
- e. CPU yang terdiri atas 32 register
- f. Unit interupsi eksternal dan internal
- g. Port USART untuk komunikasi serial

Secara lebih jelas tentang fitur dari ATmega 16 dapat dilihat pada konfigurasi kaki-kaki pin ATmega 16 pada gambar dibawah ini :



Gambar II.10 Konfigurasi pin ATmega 16

Pada Gambar II.10 diatas, VCC dan GND berfungsi sebagai pin masukan catu daya dan pin ground. Sedangkan Port- port pada ATmega 16 diatas mempunyai fungsi khusus, antara lain port A(PA0..PA7) merupakan pin input/output dua arah dan pin masukan ADC, port B(PB0..PB7) merupakan pin input/output dua arah dan pin fungsi khusus, port C(PC0..PC7) merupakan pin input/output dua arah dan pin fungsi khusus, port D(PD0..PD7) merupakan pin input/output dua arah dan pin fungsi khusus. RESET merupakan pin yang digunakan untuk me-reset mikrokontroler, XTAL1 dan XTAL2 merupakan pin masukan clock eksternal, AVCC merupakan pin masukan tegangan untuk ADC, AREF merupakan pin masukan tegangan refrensi ADC.

BAB III

RANCANGAN ALAT

III.1 Prototipe Sensor

III.1.1 Kalibrator Jarak

Telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya bahwa sensor koil datar dapat diaplikasikan sebagai sensor getaran frekwensi rendah, sensor tekanan, dan sensor aliran fluida. Pada penelitian ini sensor sensor koil datar akan diaplikasikan sebagai sensor momen gaya. Dalam penggunaan sensor koil datar kita perlu mengetahui daerah kerja dari koil datar yang akan kita gunakan, sedangkan untuk mengetahui daerah kerja sensor koil datar maka kita harus mengetahui karakteristik dari sensor koil datar tersebut. Dalam penelitian ini untuk mengetahui karakteristik sensor koil datar kita menggunakan kalibrator jarak yang sudah ada yang telah didesain sebelumnya yang secara mekanik terdiri dari mikrokontroler digital yang dapat diatur perubahan jaraknya sebesar $1 \mu\text{m}$, bantalan objek didorong oleh mikrometer, tempat meletakkan sensor dan keseluruhan bagian tersebut disatukan dengan bodi.



Gambar III.1 Alat kalibrator jarak

Alat kalibrator jarak pada Gambar III.1 diatas dapat diugunakan untuk mengukur tanggapan koil datar terhadap jarak pada jarak 0 mm sampai 20 mm dari sensor koil datar, dengan cara memutar mikrometer digital untuk mendapatkan pergeseran dengan pergeseran minimum setiap $1\mu\text{m}$.

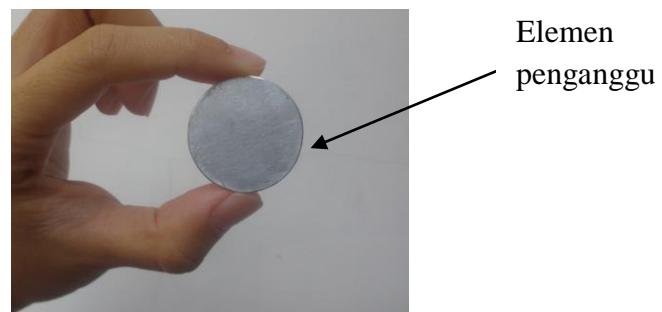
III.1.2 Elemen koil datar

Elemen koil datar yang digunakan terdiri dari 30 lilitan dengan diameter 3cm, dan memiliki induktansi $10.4 \mu\text{H}$. Terbuat dari epoksi, elemen ini diletakan sedemikian rupa sehingga ada jarak optimum antara elemen koil datar dengan massa penganggu, yang dimaksud jarak optimum yaitu jarak dimana massa penganggu berada pada daerah kerja dari elemen koil datar.



Gambar III.2 Koil datar

III.1.3 Elemen penganggu koil Datar

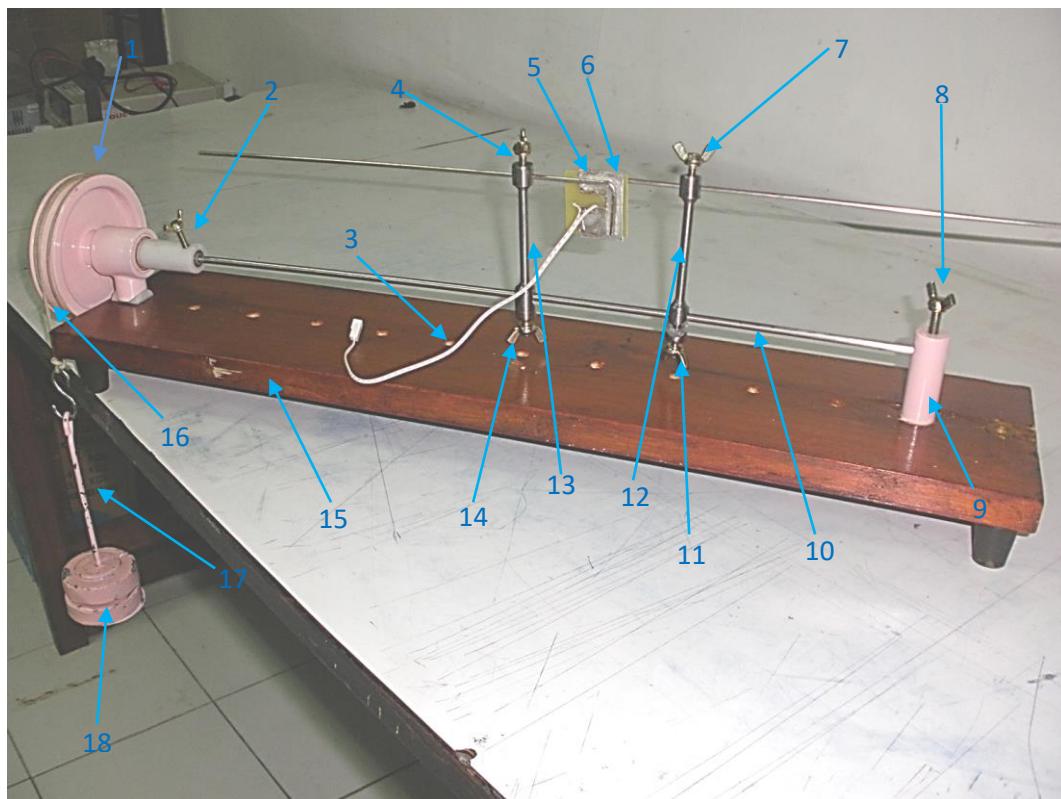


Gambar III.3 Elemen penganggu

Elemen penganggu koil datar ini terbuat dari alumunium dengan diameter 3cm.

Elemen penganggu ini nantinya diletakan di depan koil datar pada jarak optimumnya.

III.1.4 Desain Mekanik Sensor Momen Gaya



Gambar III.4. Sistem mekanik alat ukur momen gaya

Keterangan Gambar III.4 sebagai berikut :

- 1 = Katrol pemutar batang uji
- 2 = Pengikat batang uji terhadap katrol
- 3 = Kabel konektor dari sensor koil datar terhadap pengolah sinyal
- 4 = Pengikat sensor terhadap batang geser sensor
- 5 = Sensor koil datar

- 6 = Elemen penganggu
 7 = Pengikat elemen penganggu terhadap batang geser peganggu
 8 = Pengikat batang uji terhadap sumbu diam alat ukur momen gaya
 9 = Sumbu diam alat ukur momen gaya
 10 = Batang uji
 11 = Pengikat batang geser penganggu terhadap batang uji
 12 = Batang geser penganggu
 13 = Batang geser sensor koil datar
 14 = Pengikat batang geser sensor koil datar terhadap batang uji
 15 = Meja kalibrasi
 16 = Tali pengikat katrol terhadap penahan massa uji
 17 = Pengantung massa uji
 18 = Massa uji

Sistem kerja mekanik alat ukur momen gaya ini secara umum yaitu sebuah batang uji diletakan pada sistem mekanik dengan mengikatkan ujung yang satu dengan sumbu diam dan satunya lagi ke sumbu katrol kemudian katrol diberi gaya puntir sehingga terjadi puntiran pada batang uji, pada tengah batang uji tersebut telah dipasang sensor koil datar dan elemen penganggunya dengan set awal tertentu, kemudian sensor koil datar ini akan mengindra sudut putar pada batang uji yang terbaca sebagai perubahan tegangan yang nantinya akan kita kalibrasi sesuai dengan persamaan III.1 berikut :

$$\alpha = \frac{rmg2L}{G\pi R^4} \quad (\text{III.1})$$

Dimana : α = sudut putar batang

R= Jari-jari batang

L= Panjang pada batang (jarak antara pegangan sensor dan pegangan penganggu)

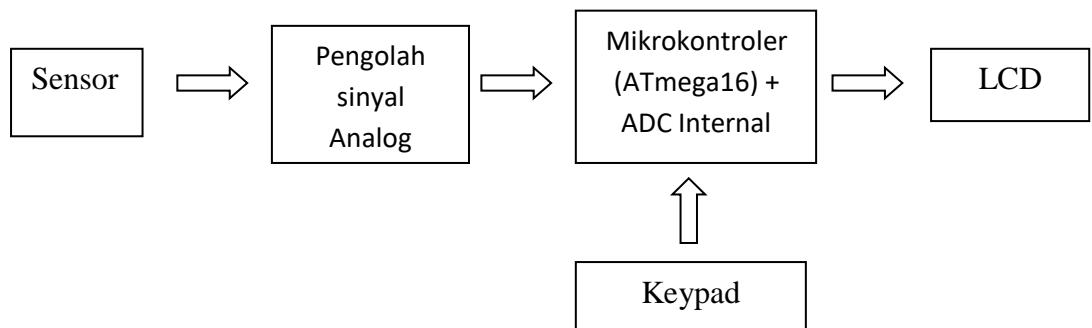
r = jari-jari katrol pemutar

m= masa beban

g= konstanta gravitasi

III.2 Sistem Pengukuran

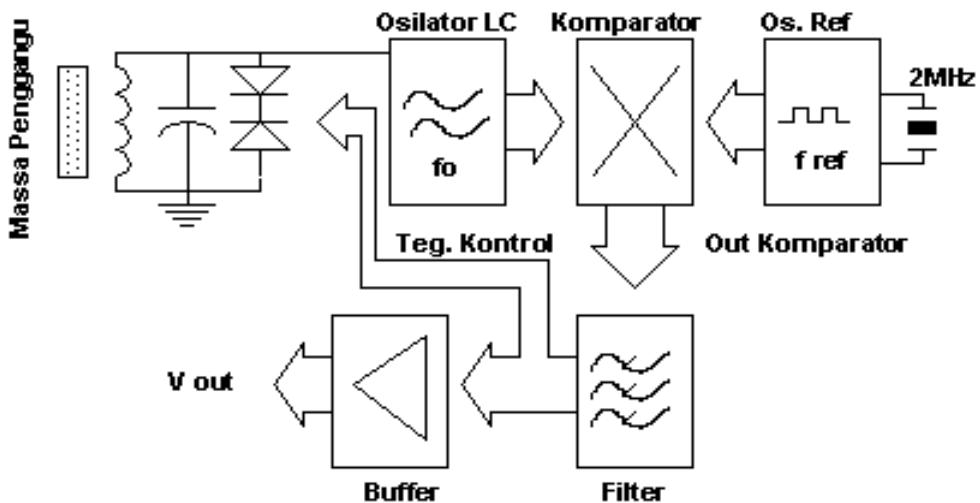
Sistim pengukuran sensor momen gaya terdiri dari 4 bagian yaitu pengindra besaran fisis (sensor), Pengolah sinyal analog, pengolah isyarat digital dengan menggunakan mikrokontrorler ATMEGA16, masukan masnual dari keypad, dan keluaran berupa tampilan dengan menggunakan LCD



Gambar III.5 Diagram sistem pengukuran

III.3 Rangkaian Pengolah Isyarat Analog

Rangkaian pengolah isyarat analog pada sistem sensor ini terdiri dari pengolah isyarat sensor, filter dan penguat diferensial. Blok diagram dari rangkaian pengolah isyarat analog dapat dilihat pada gambar III.6 dibawah ini.



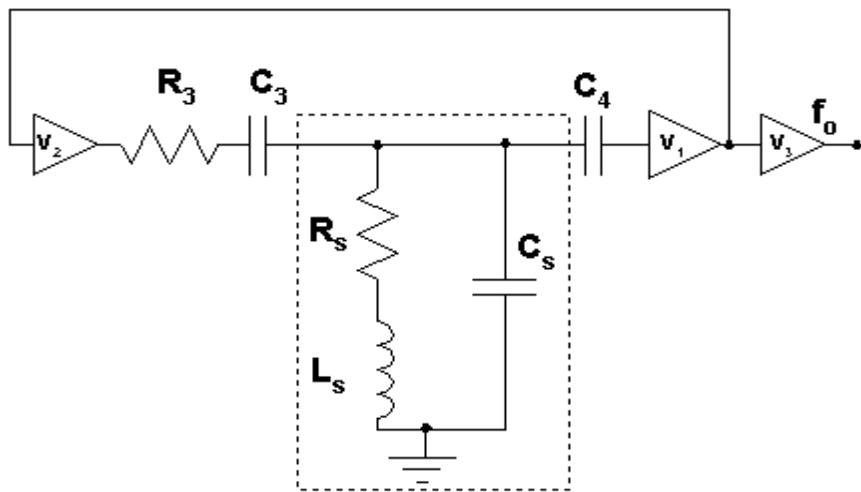
Gambar III.6 Blok diagram pengolah isyarat sinyal analog

Berdasarkan gambar blok diagram pengolah isyarat sinyal analog diatas diketahui frekuensi dari osilator LC dibandingkan dengan frekuensi dari VCO (*Voltage Controlled Oscillators*) pada komparator. Jika frekuensi dari osilator LC lebih besar dari VCO maka komparator akan menaikkan tegangan keluarannya. Tegangan keluaran ini digunakan untuk menaikkan frekuensi VCO. Tegangan ini akan naik sampai frekuensi VCO sama dengan frekuensi dari osilator LC, setelah kedua frekuensi sama tegangan keluaran komparator akan berhenti naik dan dipertahankan. Karena frekuensi osilator merupakan patokan frekuensi untuk VCO, maka tegangan keluaran merupakan representasi dari frekuensi osilator dan

karena frekuensi osilator bergantung pada jarak objek, maka tegangan juga merupakan representasi dari jarak objek ke sensor koil datar.

III.3.1 Pengolah Isyarat Sensor

Untuk dapat mencatat secara elektronik diperlukan sensor atau tranduser untuk mengubah besaran-besaran fisis menjadi tegangan listrik. Pada penelitian ini sistem sensor yang digunakan adalah rangkaian osilator LC dimana perubahan induktansi elemen koil datar dijadikan besaran fisis yang diukur. Osilator ini menggunakan prinsip kompensasi untuk memperoleh bentuk osilator yang stabil. Dasar rangkaian osilator adalah osilator LC Franklin (Djamal, 1996: Philips, 1997: Widanarto,2001).

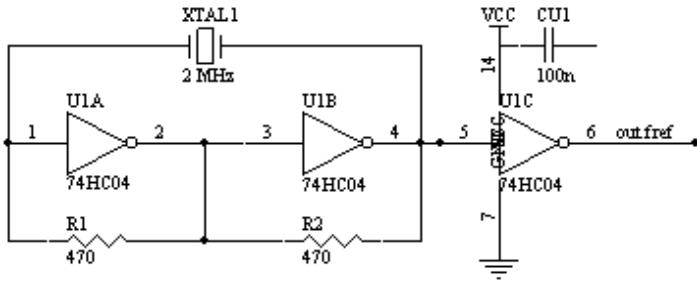


Gambar III.7 Osilator LC Franklin

Sinyal keluaran osilator LC merupakan gelombang frekuensi modulasi (FM) sinusoida yang frekuensinya ditentukan oleh persamaan :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \sqrt{1 - R_s^2 \frac{C_s}{L_s}} \quad (3.2)$$

dengan mengatur besar L_s dan C_s , frekuensi resonansi LC ini dibuat pada frekuensi tertentu yaitu sekitar 1,99980 - 2 MHz. Sinyal keluaran dari osilator LC (f_o) kemudian masuk ke *input* sinyal komparator.



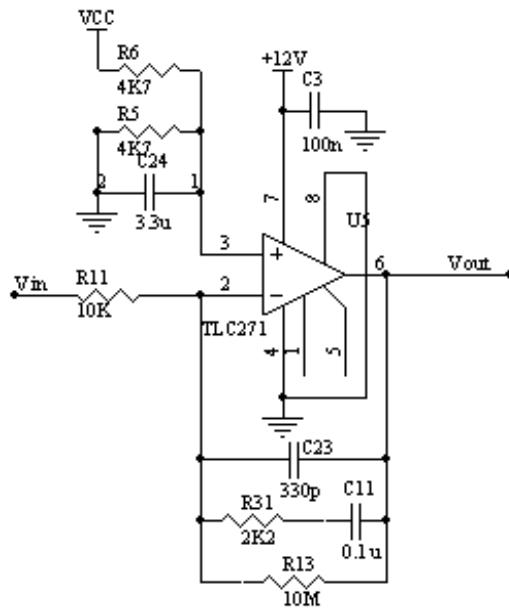
Gambar III.8 Osilator referensi

Sebagai frekuensi acuan (f_{ref}) digunakan sinyal keluaran osilator referensi yang menghasilkan gelombang persegi dengan frekuensi sama dengan osilator LC. Untuk memperoleh frekuensi acuan yang mantap digunakan kristal. Sinyal keluaran osilator referensi (f_{ref}) ini kemudian masuk ke *input* sinyal komperator (Lazuardi, 1996)

Komparator berfungsi untuk mengikat fasa frekuensi osilator LC terhadap frekuensi osilator referensi (f_{ref}). Frekuensi osilator LC (f_o) berubah tergantung pada jarak dari massa pengganggu ke elemen sensor koil datar. Rangkaian feedback dan buffer akan mengusahakan agar $f_o = f_{ref}$. Perubahan frekuensi pada tegangan keluaran penguat sebagai V_o , besar kecilnya tegangan V_o tergantung pada jarak massa pengganggu dengan elemen koil datar. Untuk massa pengganggu yang bersifat antimagnetic, tegangan V_o mengecil bila jarak massa pengganggu dengan elemen koil datar mengecil begitu sebaliknya.

III.3.2 Tapis Lolos Rendah

Filter atau tapis yang digunakan adalah tapis lolos rendah atau tapis takik (*notch filter*) karena terdiri dari rangkaian RC yang digandeng dengan rangkaian T kembar. Rangkaian ini juga dikenal sebagai rangkaian tapis RC lolos rendah. Artinya untuk frekuensi rendah tegangan keluaran sama dengan tegangan masukan, akan tetapi pada frekuensi tinggi isyarat keluaran diperkecil (Sutrisno, 1987).



Gambar III.9 Tapis RC lolos rendah

III.3.3 Penguat Diferensial

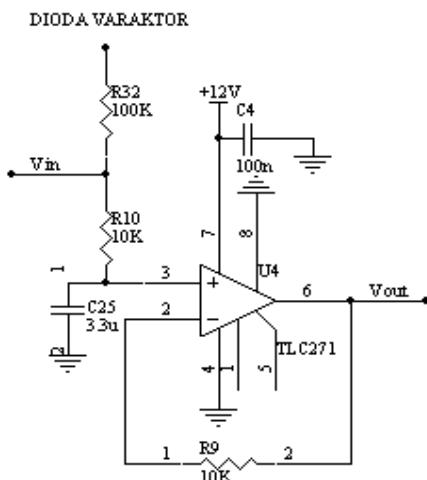
Penguat diferensial yaitu penguat yang membandingkan kedua masukannya dan selisihnya kemudian diperkuat dengan nilai penguatan tertentu. Sebagai pembanding digunakan tegangan referensi, sedangkan sinyal yang dibandingkan berasal dari keluaran filter RC. Penguat non-inverting digunakan untuk kalibrasi

tegangan keluaran rangkaian elektronik penguat sinyal secara keseluruhan.

Tegangan keluaran penguat diferensial diberikan kepada penguat non-inverting.

Keluaran sensor sering kali mempunyai nilai tegangan yang amat lemah, yaitu dalam orde beberapa puluh mikrovolt dengan keluaran yang mengambang yaitu kedua keluaran transduser atau sensor berada di atas pentahanan (ground).

Penguat diferensial mempunyai dua masukan dan dua keluaran. Fungsi utama penguat instrumentasi adalah untuk memperkuat tegangan yang langsung berasal dari suatu sensor atau tranduser secara akurat.(Sutrisno, 1987).



Gambar III.10 Penguat penyangga

III.4 Rangkaian Digital dan Tampilan

Setelah melalui pengolah sinyal analog maka output tegangan akan masuk kedalam ADC yang berada pada port A0 ada pada mikrokontroler ATmega 16, ADC pada mikrokontroler ATmega 16 ini adalah ADC 10bit. Dengan persamaan kalibrasi maka nilai tegangan yang masuk ke dalam ADC akan terbaca menjadi besarnya nilai sudut putar dari batang uji, kemudian nilai tersebut akan diolah

menjadi nilai torsi dan nilai shear modulus dengan bantuan mikrokontroler ATmega 16 dengan bantuan software compiler codevision avr 2.4.



Gamabar III.11 Tampilan digital alat ukur momen gaya

Keterangan Gambar III.11 :

1 = LCD

2 = Keypad

3 = Konektor output sensor koil datar terhadap pengolah sinyal

4 = Tombol reset

Dalam penentuan nilai torsi maupun modulus puntir suatu material maka ada besaran-besaran tertentu yang harus kita inputkan kedalam mikrokontroler secara manual seperti misalnya untuk penentuan nilai torsi, kita perlu memasukan nilai panjang dari batang geser sensor ke batang geser penganggu (L), nilai modulus puntir batang uji kita (G) dan nilai jari-jari batang uji kita (R). Sedangkan untuk penentuan nilai modulus puntir kita perlu memasukan secara manual nilai panjang dari batang geser ke batang sensor (L), nilai jari-jari batang uji kita (R), dan nilai

massa yang kita gantungkan pada katrol (m) yang kemudian menjadi inputan torsi bagi mikrokontroler ATMEGA16. Untuk dapat memasukan nilai besaran-besaran tersebut secara manual maka kita gunakan keypad 4x4 yang dihubungkan dengan port B pada mikrokontroler ATMEGA16.

Sedangkan untuk menampilkan hasil nilai modulus puntir dan torsi kita serta dalam menampilkan menu-menu kita maka kita LCD 2X16 sebagai displaynya. LCD tersebut kita hubungkan pada port C dari mikrokontroler ATmega 16. Sehingga setalah deprogram dengan compiler codevision avr 2.4 dan program tersebut kita downloadkan kedalam mikrokontroler ATMEGA16 maka antar ATMEGA16, Keypad, LCD dan ADC dapat berkomunikasi dengan baik dan dapat pula digunakan dengan baik untuk pengukuran. Serta dalam pengukuran ini dilengkapi dengan tombol reset sehingga kita dapat memasukan nilai dari awal ketika kita salah memasukan program dan juga memberikan kesempatan bagi kita untuk memilih menu yang lain.

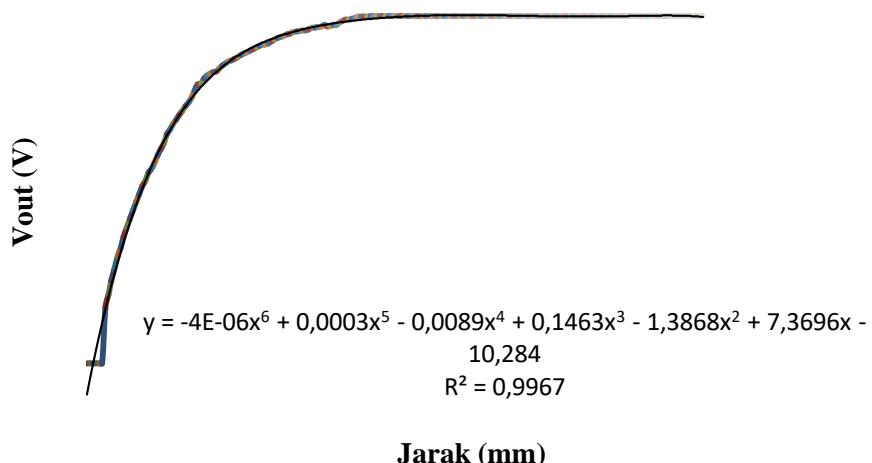
BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

IV.1 Hasil Pengukuran

IV. 1.1 Respon Pengukuran Jarak Sensor Koil Datar

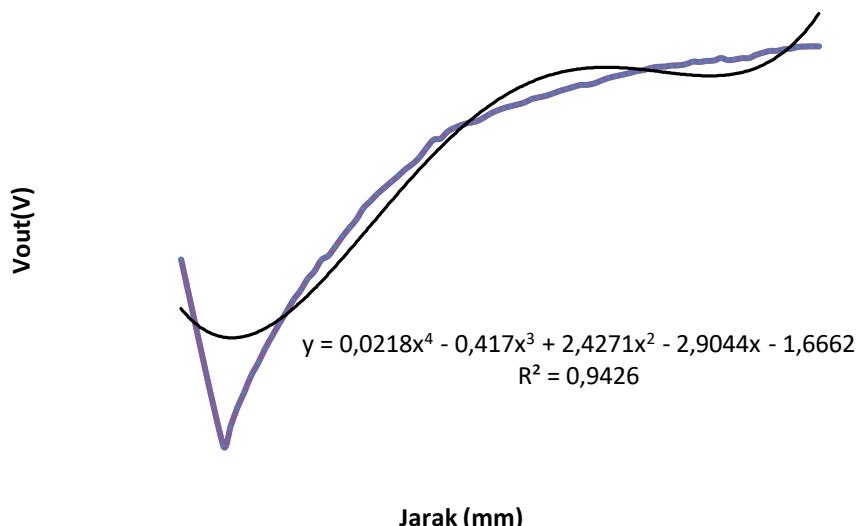
Sensor koil datar mempunyai respon terhadap perubahan jarak antara sensor dengan pengaggu yang ditunjukan dengan perubahan tegangan. Oleh karena itu dilakukan pengujian tanggapan sensor koil datar terhadap jarak. Pengukuran jarak dilakukan dengan mikrometer dengan daerah pengukuran 0 – 20 mm, dengan interval pengukuran 0.1mm. Koil datar yang digunakan terbuat dari PCB dengan jumlah lilitan 30 lilitan dan berdiameter 3cm, sedangkan bahan pengganggu yang digunakan adalah uang logam Rp.500,00 yang terbuat dari alumunium. Grafik hasil pengukuran respon jarak terhadap tegangan dapat dilihat pada Gambar IV.1 dibawah ini.



Gambar IV.1. Grafik respon jarak terhadap tegangan

Dari hasil Gambar IV.1 tampak bahwa tegangan keluaran sensor secara umum membesar kettika jarak penganggu semakin jauh, sebaliknya pada jarak yang cukup dekat titik balik tegangan keluaran sensor ini semakin kecil, ini dimungkinkan oleh karena adanya perubahan induksi koil datar secara drastis.

Dari bentuk grafik respon tegangan terhadap jarak pada Gambar IV.1, tidak semua hasil keluaran dapat digunakan sebagai data yang baik. Ada suatu daerah yang dapat menggambarkan respon sensor terhadap objeknya yang disebut daerah kerja sensor. Daerah kerja diambil berdasarkan pola yang dibentuk dari grafik tersebut apakah dapat didekati dengan fungsi .



Gambar IV.2 Grafik daerah kerja sensor koil datar

Dari grafik respon jarak terhadap tegangan pada Gambar IV.1 dapat diambil daerah kerja yaitu pada tegangan 0,6 mm hingga 9,1mm. Daerah grafik yang lebih kecil dari 0,6mm dan lebih besar dari 9,1mm tidak dimasukan dalam daerah kerja karena menghasilkan nilai yang konstan (saturasi) sehingga tidak kontinyu dengan

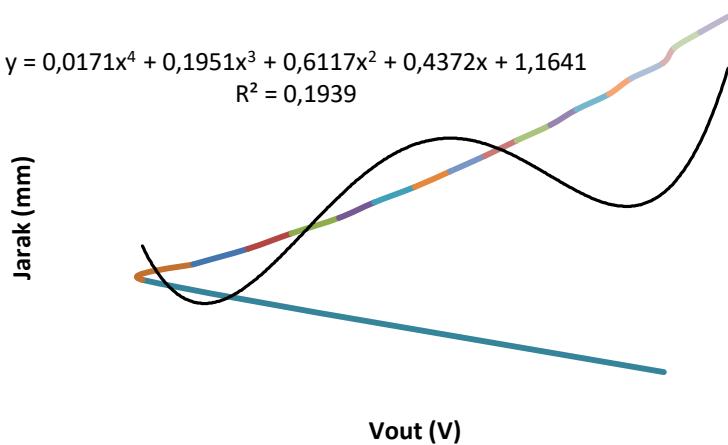
data yang lainnya sehingga akan sulit didekati oleh suatu fungsi . Sedangkan pada daerah kerja menghasilkan nilai yang kontinyu sehingga akan mudah untuk didekati oleh suatu fungsi dengan baik..

Dari grafik pada Gambar IV.2 diatas diperoleh respon jarak terhadap tegangan pada daerah kerja sesuai dengan persamaan polynomial orde 4 sebagai berikut :

$$y = -0.002x^4 + 0.082x^3 - 1.106x^2 + 6.803x - 9.819 \quad (\text{IV.1})$$

Persamaan diatas adalah persamaan yang mirip dengan persamaan keluaran sensor koil datar. Dengan persamaan diatas tingkat kebenaran ekspetasinya 0.9999 atau 99.9%

Dari grafik pada Gambar IV.2 diatas diketahui bahwa daerah paling sensitif yaitu pada rentang 0,6 mm sampai 2,3mm. Pada daerah ini terjadi perubahan yang besar untuk sedikit perubahan pada masukan. Daerah sensitif pada sensor koil datar ditunjukkan pada Gambar IV.3 berikut :

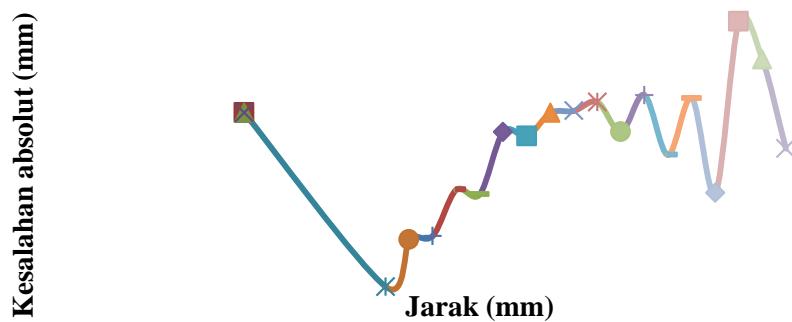


Gambar IV.3. Grafik sensitivitas maksimum sensor koil datar

Dari grafik diperoleh persamaan polynomial orde 4 yang mendekati kurva pada gambar diatas, yaitu :

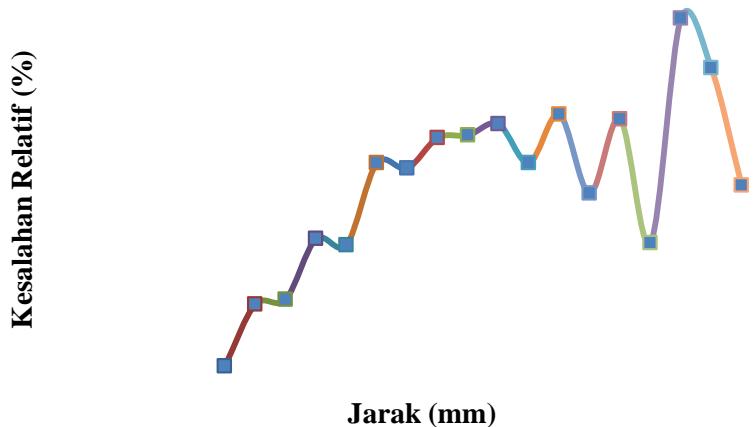
$$y = 0,00008x^4 + 0,001x^3 + 0,027x^2 + 0,342x + 2,029 \quad (\text{IV.2})$$

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat ditentukan kesalahan absolut hasil pendekatan dari persamaan IV.2 diatas. Grafik kesalahan absolut dapat dilihat dari Gambar IV.4 berikut:



Gambar IV.4 Kesalahan absolut pada daerah sensitivitas maksimum

Dari Gambar IV.4 diatas dapat dilihat kesalahan absolut sensor koil datar sebesar 0,051 mm, berdasarkan hasil kesalahan absolut dapat diketahui juga kesalahan relatif. Sehingga diperoleh kesalahan relatif maksimum sebesar 2,24 % seperti ditunjukkan pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Kesalahan relatif pada daerah sensitivitas maksimum

IV.1.2 Kalibrasi Sensor Momen Gaya dan Pengukuran

Dalam kalibrasi sensor momen gaya disini digunakan massa sebenarnya sehingga kita dapat menghitung nilai torsi sebenarnya. Pada kalibrasi sensor momen gaya kita kita gunakan 3 variasi bahan yaitu besi (*iron*), kuningan (*brass*) dan stainless steel. Bahan tersebut memiliki karakteristik elastisitas yang berbeda untuk tiap material, untuk batang yang diberi gaya puntir pada tiap masing-masing memiliki konstanta shear modulus tertentu, untuk besi memiliki shear modulus 77GPa, untuk kuningan memiliki shear modulus 25GPa, untuk Stainless steel memiliki shear modulus 57GPa(Young, Hugh D, 2007). Sedangkan untuk jari-jari batang yang kita gunakan menggunakan diameter 5mm, dan panjang yang dapat kita atur sendiri.

Untuk mendapatkan nilai sudut dari batang yang kita pakai yang nantinya akan kita kalibrasi dengan tegangan keluaran kita menggunakan Persamaan IV.3 dibawah ini :

$$T = \frac{\alpha G \pi R^4}{2L} \quad (\text{IV.3})$$

$$T = rmg \quad (\text{IV.4})$$

Dari persamaan IV.3 dan IV.4 diatas diperoleh persamaan untuk kalibrasi sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{rmg2L}{G\pi R^4} \quad (\text{IV.5})$$

Dimana : α = sudut putar batang

R= Jari-jari batang

L= Panjang pada batang (jarak antara pegangan sensor dan pegangan penganggu)

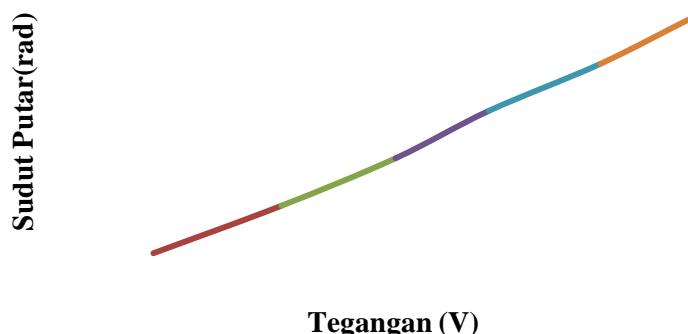
r = jari-jari katrol pemutar

m= masa beban

g= konstanta gravitasi

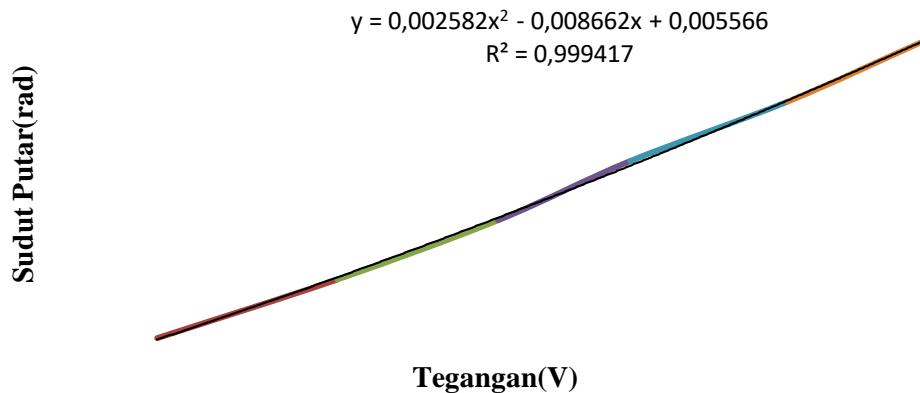
Dengan persamaan IV.5 kita peroleh nilai sudut putar dari batang yang nantinya akan kita kalibrasi dengan tegangan keluaran, kemudian persamaan hasil kalibrasi kita gunakan untuk persamaan konversi ADC pada mikrokontroler ATMEGA16.

Hasil kalibrasi dari sudut putar terhadap tegangan ditunjukan dalam tabel berikut :



Gambar IV.6 Grafik nilai sudut terhadap tegangan

Dari Gambar IV.6 diatas kita tarik garis persamaan untuk memperoleh nilai persamaan kalibrasi, yang dapat dilihat pada Gambar IV.7 dibawah ini :



Gambar IV.7 Grafik persamaan garis untuk sudut putar terhadap tegangan

Dengan menggunakan persamaan polynomial orde 2 diperoleh persamaan kalibrasi :

$$y = 0,002582x^2 - 0,008662x + 0,005566 \quad (\text{IV.6})$$

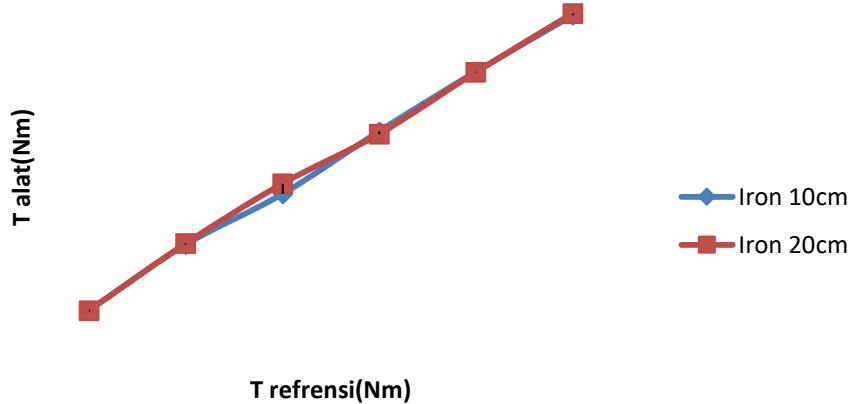
dengan nilai $R^2 = 0,999417$. Persamaan kalibrasi ini kita gunakan sebagai konversi untuk ADC pada mikrokontroler ATMEGA16.

Setelah persamaan polinomial orde 2 hasil perhitungan dimasukkan dalam mikrokontroller, maka pengujian alat dapat dilakukan dengan menggunakan kalibrator sebagai acuan. Ini dimaksudkan untuk membandingkan data hasil perhitungan Torsi pada alat dengan data hasil kalibrasi Torsi referensi. Untuk pengukuran alat kita gunakan 3 material yaitu Besi, Kuningan dan Stainlees steel.

Dengan melakukan variasi terhadap panjang penempatan jarak penyangga sensor.

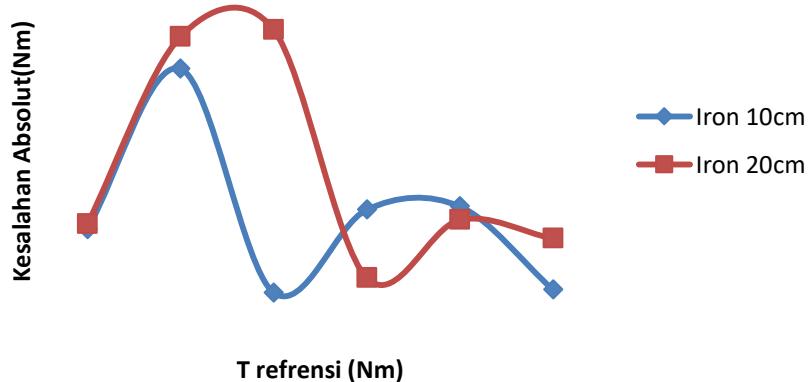
Hasil pengukuran alat dalam bentuk grafik adalah sebagai berikut:

- a. Hasil pengukuran momen gaya (torsi) dengan material besi



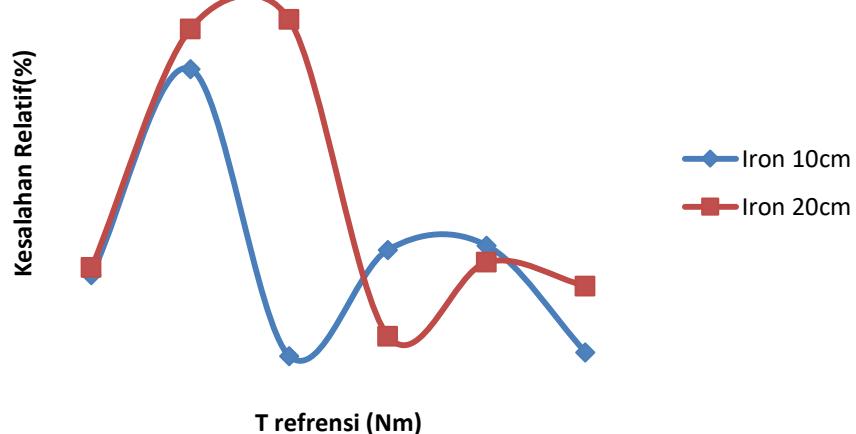
Gambar IV.8 Grafik T_{alat} terhadap $T_{refrensi}$ pada material besi

Dari Gambar IV.8 diatas dipeoleh kesalahan absolut untuk besi dengan panjang 10cm sebesar 0,020Nm dan untuk besi dengan panjang 20 cm sebesar 0,026Nm. Jadi kesalahan absolut maksimum pada besi sebesar 0,026Nm. Grafik kesalahan absolut dapat dilihat pada Gambar IV.9 berikut :

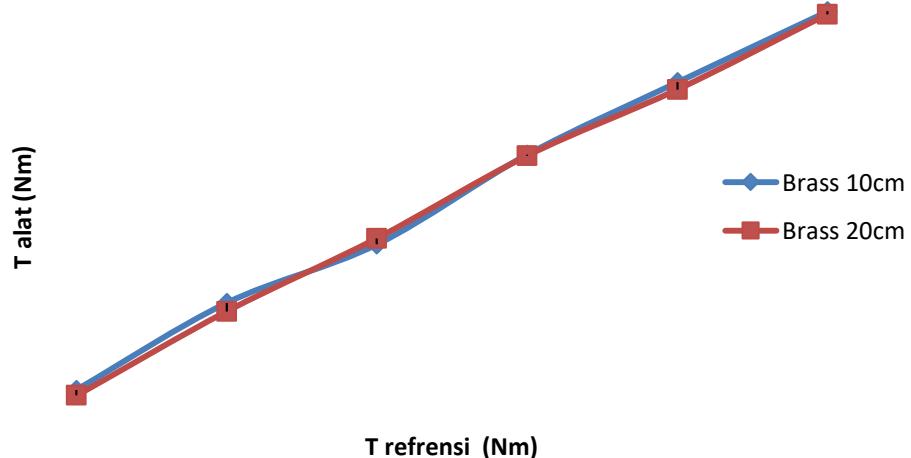


Gambar IV.9. Grafik kesalahan absolut pada besi

Dari grafik kesalahan absolut pada besi dari Gambar IV.9 dapat diperoleh kesalahan relatif, untuk besi dengan panjang 10cm kesalahan relatif maksimum sebesar 1,52% dan kesalahan relative maksimum untuk besi dengan panjang 20cm kesalahan relatif maksimum sebesar 2,00%. Jadi kesalahan relatif maksimum untuk besi sebesar 2,00%. Secara grafik nilai kesalahan relatif dapat dilihat pada Gambar IV.10 berikut :

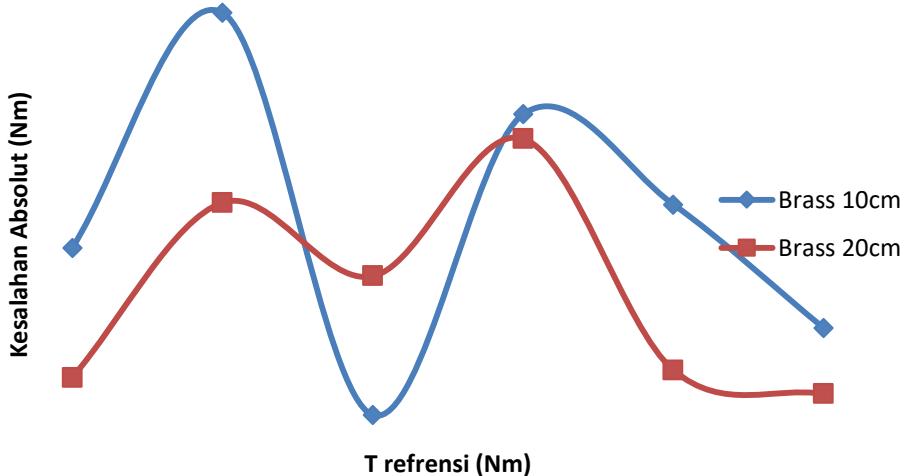


Gambar IV.10. Grafik kesalahan relatif pada besi
b. Hasil pengukuran momen gaya dengan material kuningan



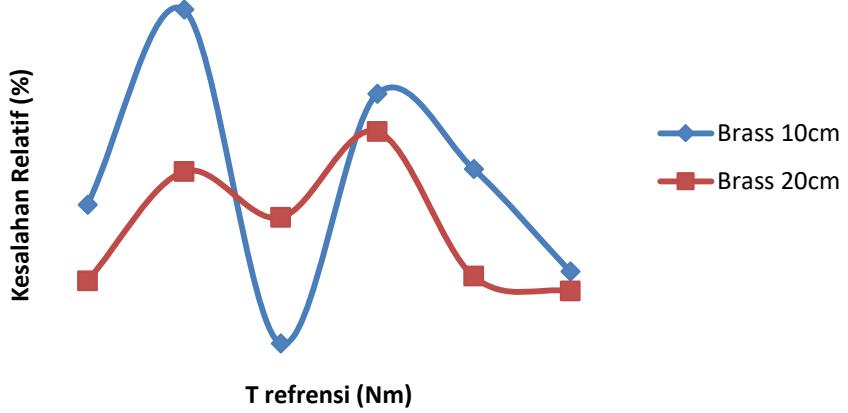
Gambar IV.11 Grafik T alat terhadap T refrensi pada material Kuningan

Dari Gambar IV.11 diatas diperoleh kesalahan absolut untuk kuningan dengan panjang 10cm sebesar 0,032Nm dan untuk kuningan dengan panjang 20 cm sebesar 0,023Nm. Jadi kesalahan absolut maksimal pada kuningan sebesar 0,032Nm. Grafik kesalahan absolut dapat dilihat pada Gambar IV.12 berikut :



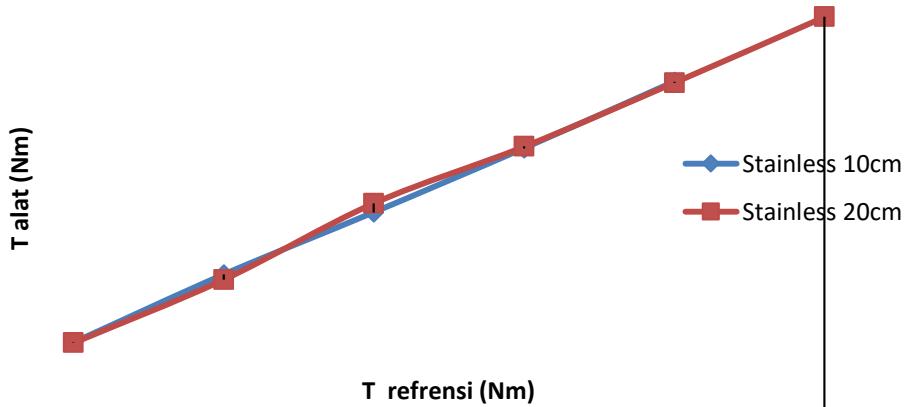
Gambar IV.12. Grafik kesalahan absolut pada kuningan

Dari grafik kesalahan absolut pada kuningan dari Gambar IV.12 dapat diperoleh kesalahan relatif, untuk kuningan dengan panjang 10cm kesalahan relatif maksimum sebesar 2,48% dan kesalahan relatif maksimum untuk kuningan dengan panjang 20cm sebesar 1,50%. Jadi kesalahan relatif maksimum untuk kuningan sebesar 2,48%. Secara grafik nilai kesalahan relatif dapat dilihat pada Gambar IV.13 berikut :



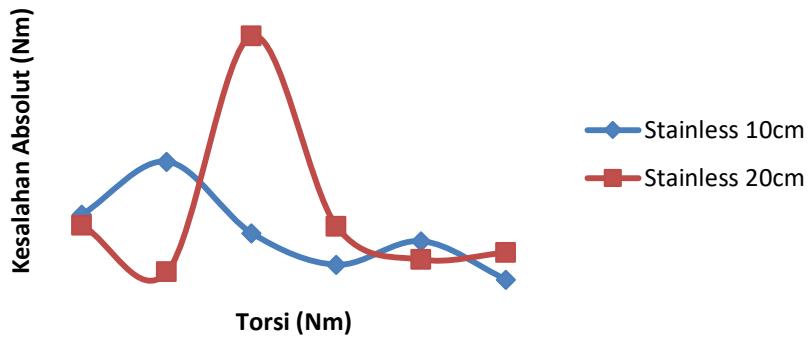
Gambar IV.13. Grafik kesalahan relatif pada kuningan

c. Hasil pengukuran momen gaya dengan material stainless steel



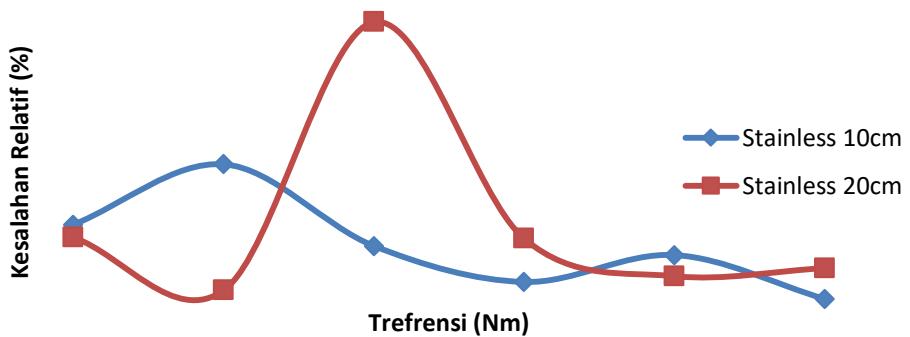
Gambar IV.14 Grafik T alat terhadap T refrensi pada material Stainless steel

Dari Gambar IV.14 diatas diperoleh kesalahan absolut untuk stainless steel dengan panjang 10cm sebesar 0,016Nm dan untuk Stainless steel dengan panjang 20 cm sebesar 0,039Nm. Jadi kesalahan absolut maksimum pada stainless steel sebesar 0,039Nm. Grafik kesalahan absolut dapat dilihat pada Gambar IV.15 berikut :



Gambar IV.15. Grafik kesalahan absolut pada stainless steel

Dari grafik kesalahan absolute pada stainless steel dari Gambar IV.15 dapat diperoleh kesalahan relatif, untuk stainless steel dengan panjang 10cm kesalahan relatif maksimum sebesar 1,21% dan kesalahan relatif maksimum untuk stainless steel dengan panjang 20cm kesalahan relatif maksimum sebesar 3,00%. Jadi kesalahan relatif maksimum untuk stainless steel sebesar 3,00%. Secara grafik nilai kesalahan relatif dapat dilihat pada Gambar IV.16 berikut :



Gambar IV.16. Grafik kesalahan relatif pada stainless steel

d. Hasil pengukuran modulus puntir dengan material besi

Dari hasil pengukuran modulus puntir pada material besi dengan menggunakan perulangan 6 kali torsi dan dengan variasi panjang dari batang geser sensor dan pengganggu diperoleh data sebagai berikut :

Tabel IV.1
Data pengukuran modulus puntir pada material besi

G refrensi (GPa)	L1=10cm (GPa)	L2=20cm (GPa)	KM 1 (GPa)	KM 2 (GPa)	KR1 (%)	KR2 (%)
77	76.878	77.674	0.414	0.023	0.538	0.030
77	77.329	77.889	0.037	0.527	0.048	0.677
77	77.342	76.871	0.050	0.491	0.065	0.639
77	77.448	77.574	0.157	0.212	0.202	0.273
77	77.321	76.513	0.029	0.849	0.038	1.110
77	77.432	77.651	0.140	0.289	0.181	0.372

Dari data diatas diketahui nilai kesalahan maksimum alat untuk pengukuran modulus puntir pada besi untuk pengukuran 10cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,414GPa dan untuk pengukuran pada jarak 20cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,538GPa. Dari data tersebut diperoleh nilai kesalahan relatif maksimum pada besi yaitu sebesar 1,11%

e. Hasil pengukuran modulus puntir dengan material kuningan

Dari hasil pengukuran modulus puntir pada material kuningan dengan menggunakan perulangan 6 kali torsi dan dengan variasi panjang dari batang sensor dan penganggu diperoleh data sebagai berikut :

Tabel IV.2
Data pengukuran modulus puntir pada material kuningan

G refrensi (GPa)	L1=10cm (GPa)	L2=20cm (GPa)	KM 1 (GPa)	KM 2 (GPa)	KR1 (%)	KR2 (%)
25	24.467	25.714	0.728	0.009	2.974	0.036
25	25.486	25.127	0.291	0.578	1.143	2.300
25	24.862	26.112	0.333	0.407	1.338	1.559
25	25.573	25.871	0.378	0.166	1.479	0.642
25	25.120	25.640	0.075	0.065	0.297	0.253
25	25.660	25.765	0.466	0.060	1.814	0.234

Dari data diatas diketahui nilai kesalahan maksimum alat untuk pengukuran modulus puntir pada material kuningan untuk pengukuran 10cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,728GPa dan untuk pengukuran pada jarak 20cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,578GPa. Dari data tersebut diperoleh nilai kesalahan relatif maksimum pada kuningan yaitu sebesar 2,97%.

f. Hasil pengukuran modulus puntir dengan material stainless steel

Dari hasil pengukuran modulus puntir pada material stainless steel dengan menggunakan perulangan 6 kali torsi dan dengan variasi panjang dari batang sensor dan penganggu diperoleh data sebagai berikut :

Tabel IV.3

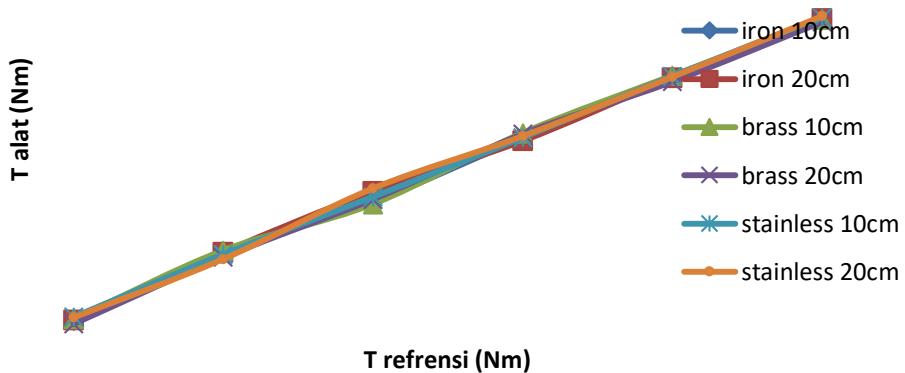
Data pengukuran modulus puntir pada material stainless steel

G refrensi (GPa)	L1=10cm (GPa)	L2=20cm (GPa)	KM 1 (GPa)	KM 2 (GPa)	KR1 (%)	KR2 (%)
57	57.230	57.000	0.073	0.402	0.127	0.705
57	57.320	57.216	0.017	0.186	0.031	0.325
57	57.864	56.947	0.561	0.455	0.986	0.799
57	57.643	57.459	0.340	0.057	0.593	0.100
57	57.271	57.913	0.032	0.511	0.054	0.883
57	56.487	57.876	0.815	0.474	1.409	0.819

Dari data diatas diketahui nilai kesalahan maksimum alat untuk pengukuran modulus puntir pada material stainless steel untuk pengukuran 10cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,815GPa dan untuk pengukuran pada jarak 20cm nilai kesalahan mutlak maksimum sebesar 0,511GPa. Dari data tersebut diperoleh nilai kesalahan relatif maksimum pada stainless steel yaitu sebesar 1,41%.

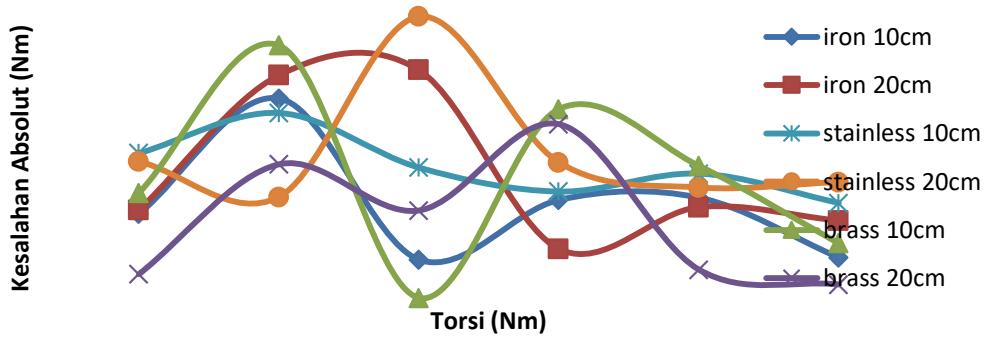
IV.1.3 Uji Reprodusibilitas dan Unjuk Kerja Sensor Momen Gaya

Karena dalam pengukuran sensor momen gaya kita gunakan 3 material uji yaitu besi, kuningan dan stainless steel, dan untuk masing-masing material kita variasikan jarak sebanyak 2 kali, serta telah dilakukan ulangan untuk masing-masing variasi material sebanyak 3 kali, maka untuk uji reproduabilitas dan ujuk kerja sensor momen gaya kita gabungkan nilai rata-rata hasil pengukuran dari setiap variasi pada pengukuran momen gaya pada material yang dicobakan, dari hasil pengukuran diperoleh grafik seperti Gambar IV.17 berikut :



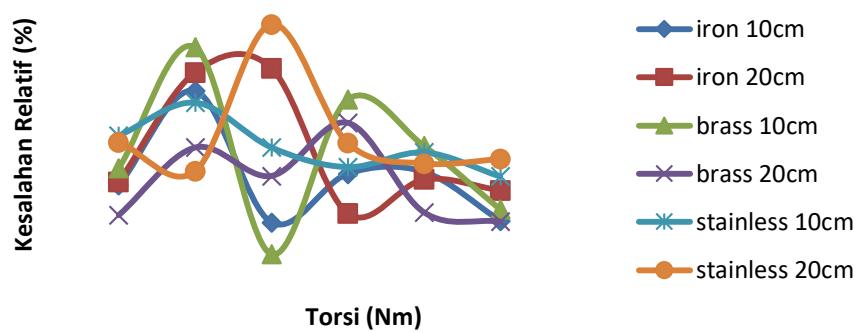
Gambar IV.17 Hasil pengukuran uji reproduabilitas

Dilihat dari grafik secara umum alat mempunyai reproduabilitas dan unjuk kerja yang cukup baik dan terjadi histerisis pada saat dilakukan pengukuran dari 0.27Nm sampai 1.59Nm. Dengan kesalahan absolut terbesar yaitu 0,039Nm yang dapat dilihat pada Gambar IV.18 berikut :



Gambar IV.18 Grafik kesalahan absolut uji reproduksibilitas

Dari hasil kesalahan absolut tersebut dapat kita peroleh nilai kesalahan relatif, dalam perhitungan ini nilai kesalahan relatif maksimum sebesar 3,00 % yang ditunjukan pada Gambar IV.19 berikut :



Gambar

IV.19 Grafik kesalahan relatif uji reproduksibilitas

4.2. Analisis Data

Berdasarkan data grafik hasil kalibrasi alat yang menunjukkan hubungan antara tegangan keluaran sensor terhadap sudut putar, dari grafik memperlihatkan bahwa tegangan keluaran tidak sama dengan nol pada saat sudut putar sama dengan nol. Untuk itu perlu dilakukan kompensasi secara *software* dengan jalan memasukkan

persamaan hasil kalibrasi ke mikrokontroller. Pada pembuatan alat ini pemrograman pada mikrokontroler ATMEGA16 dilakukan dengan compiler code vision avr 2.4. Dengan harapan dapat menggeser nilai titik nol alat sama dengan nilai titik nol pada alat kalibrator.

Setelah mendapatkan nilai yang tepat untuk kalibrasi tegangan terhadap sudut maka kita masukan dalam persamaan untuk memperoleh nilai torsi kedalam mikrokontroler sehingga alat ukur berfungsi sebagai alat ukur momen gaya (torsi). Setelah alat berfungsi sebagai alat ukur momen gaya maka langkah selanjutnya yaitu kita tentukan kesalahan relatif dari alat ukur yang kita buat. Pada penentuan nilai kesalahan relatif dari alat yang kita buat kita gunakan 3 variasi material yaitu dari besi, kuningan dan stainless stell, dari tiap percobaan material kita peroleh nilai kesalahan relatif, untuk besi kesalahan relatif maksimum sebesar 2,00%, untuk kuningan kesalahan relatif maksimum sebesar 2,48%, dan untuk stainless still kesalahan relative maksimum sebesar 3,00%. Untuk uji reproduksibilitas kita gunakan gabungan nilai torsi dari semua material yang kita cobakan dibandingkan dengan nilai torsi refrensi dan berdasarkan uji reproduksibilitas kita peroleh nilai kesalahan relatif maksimum sensor momen gaya yang kita buat adalah sebesar 3,00% yang terdapat pada Gambar IV.19.

Selain berfungsi sebagai sensor momen gaya, alat yang kita buat juga mempunyai fungsi tambahan yaitu sebagai alat ukur modulus puntir, dengan percobaan dengan 3 material diperoleh nilai kesalahan relatif maksimum dari masing-masing modulus puntir, untuk besi nilai kesalahan relatif maksimum 1,11% , nilai

kesalahan realtif maksimum untuk material kuningan sebesar 2,97%, sedangkan nilai kesalahan relatif maksimumn dari stainless still sebesar 1,41%.

Nilai kesalahan relatif dari torsi dan kesalahan relatif dari modulus puntir ini disebabkan beberapa faktor :

- a. Adanya gangguan sistem yaitu pada pada pengantung massa dalam alat kalibrasi dan alat ukur torsi yang dapat terganggu oleh gangguan fisis lingkungan seperti getaran kecil dan gaya gesek dari tali terhadap katrol yang sangat kecil dan dalam pengukuran alat ukur ini diabaikan ini diabaikan.
- b. Kestabilan dari pengikat sensor dan elemen penganggu, Pengikat sensor dan elemen penganggu terbuat dari besi sehingga ketika kita gunakan material dari besi sehingga ketika kita menggunakan besi sebagai material uji kita dapatkan nilai kesalahan relatif yang cukup kecil untuk nilai torsi dan nilai kesalahan relatif yang kecil pula dalam perhitungan modulus puntir. Sedangkan untuk material lain seperti kuningan dan stainless stell nilai kesalahan relatifnya sedikit lebih besar dikarenakan properties dari material tersebut yang memiliki nilai elastisitas lebih kecil dari besi, jadi kemungkinan sebelum material diberi torsi atau gaya memuntir material terlah terbebani oleh pengikat sensor.

Walaupun faktor- faktor tersebut tidak dimasukan dalam perhitungan kalibrasi sensor, namun secara umum nilai kesalahan relatif maksimum secara hanya 3,00%, ini berarti sensor koil datar ini sangat berfungsi baik ketika dijadikan sebagai sensor sudut dalam penentukan momen gaya (torsi) ataupun modulus

puntir yang diberikan kepada suatu material ataupun nilai modulus puntir suatu material.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan pada BAB IV maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sensor koil datar dapat dimanfaatkan sebagai pengukur momen gaya dan pengukur modulus puntir dengan memposisikan sinyal keluaran koil datar sebagai masukan sudut putar dari batang yang dikenai momen gaya.
2. Dari hasil pengukuran alat yang dibuat bekerja untuk mengukur momen gaya pada material yang dikenai momen gaya. Dengan nilai kesalahan relatif maksimum untuk pengukuran momen gaya untuk material besi sebesar 2,00%, untuk kuningan 2,48%, dan untuk stainless steel 3,00%.
3. Sebagai alat ukur modulus puntir alat yang kita buat memiliki kesalahan relatif, untuk besi sebesar 1,11%, untuk material kuningan sebesar 2,29%, dan untuk material stainless steel kesalahan relatif maksimum sebesar 1,41%.

V.2. Saran

Berdasarkan kendala-kendala dalam proses pembuatan alat ukur momen gaya dengan koil datar berbasis Mikrokontroler ATmega 16 maka beberapa hal yang perlu disarankan dan diperhatikan yaitu :

1. Pada pemasangan material uji dengan alat ukur momen gaya harus tepat sehingga ketika diberi gaya tidak terjadi slip pada material uji.

2. Dalam pemasangan koil datar dan penganggu harus tepat dalam pengesetan awal sehingga nilai sudut awal tepat, jika diperlukan dapat menggunakan multimeter dalam seting awal jarak sensor.
3. Perlu dikembangkan lagi alat yang dapat mengukur torsi dan shear molus untuk semua jenis material dengan tingkat kesalahan relative yang jauh lebih kecil dan relatif sama untuk semua material.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, Heri. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega 16*. Bandung : Informatika Bandung.
- Djamal,Mitra. 1996. *A Study of Flat Coil Sensor For Measuring Displacements*. Bandung : Journal Deparment of Physics, Faculty of Mathematics and Sciences, ITB.
- Djamal,Mitra,et al. 2011. *Development of a Low Cost Vibration Sensorbased on Flat Coil Element*. International journal of mathematical models and methods in applied sciences (Issue 3, Volume 5, 2011).
- Grant, I. S, et al. 1990. *Elektromagnetism*. New Delhi : Thompson Press.
- Krauss, John Daniel. 1982. *Elektromagnetics*. Mexico : Mc Graw Hill International Book Company.
- Haliday, et al. 2006. *Fundamentals of Physics, extended, Sixth Edition*. New Delhi: Wiley India.
- Lazuardi. 1996. *Studi Awal Sensor Getaran Berdasarkan Prinsip Induktif*. Bandung : Tesis Program Magister Fisika S2, Jurusan Fisika ITB, 1996.
- Sang, Hyuk Lee, et al. 2007. Torque Sensor Calibration Using Virtual Load For a Manipulator. Sandiego : Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System.
- Philips, Semikonduktor. 1997. *Data sheet 74HC/HCT4 : phase locked loop with VCO*, S. L : Philips
- Setiadi, Rahmon Nanda. 2009. *Tesis Magister Fisika : Sensor Getaran Frekwensi Rendah Berbasis Koil Datar*. Bandung : ITB Bandung.
- Sutrisno. 1987. *Elektronika Teori Dan Penerapannya*, Jilid 1 dan 2. Bandung : ITB Bandung.
- Widanarto, R. Wahyu. 2001. *Tesis Magister Fisika : Desain Sensor Aliran Dengan Menggunakan Koil Datar*. Bandung : ITB Bandung.
- Winoto, Ardi. 2010. Mikrokontroler AVR ATmega8/16/32/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR. Bandung : Informatika bandung.
- Wiyanto. 2008. *Elektromagnetika*. Yogyakarta : Graha Ilmu.

Yulkifli. 2002. Tesis Magister Fisika : Desain dan Pembuatan Alat Ukur Tekanan Elektronik dengan Menggunakan Sensor Koil Datar Berbasis Mikrokontroler AT89C51. Bandung : ITB Bandung046A.

Young, Hugh D. 2007. *Sears and Zemansky's university physics: with modern physics.-12th ed.* Adisson Willey.

Lampiran A

Data Hasil Pengukuran Jarak Terhadap Tegangan

Jarak (mm)	Tegangan 1 (V)	Tegangan 2 (V)	Tegangan 3 (V)
0	-8.85	-8.85	-8.85
0.1	-8.85	-8.85	-8.85
0.2	-8.85	-8.85	-8.85
0.3	-8.85	-8.85	-8.85
0.4	-8.85	-8.85	-8.85
0.5	-7.12	-8.85	-7.53
0.6	-6.638	-6.287	-5.69
0.7	-6.135	-5.67	-5.179
0.8	-5.575	-5.015	-5.049
0.9	-4.97	-4.488	-4.939
1	-4.384	-3.917	-4.379
1.1	-3.888	-3.492	-4.002
1.2	-3.397	-3.0002	-3.379
1.3	-2.9236	-2.5797	-2.4653
1.4	-2.5048	-2.1596	-2.0921
1.5	-2.1119	-1.7734	-1.8998
1.6	-1.6974	-1.3684	-1.8217
1.7	-1.5579	-1.0554	-1.3543
1.8	-1.1132	-0.6634	-0.5976
1.9	-0.6905	-0.4004	-0.0218
2	-0.3742	-0.0151	0.0279
2.1	-0.01726	0.127	0.4125
2.2	0.02364	0.4378	0.6798
2.3	0.3332	0.7746	0.9689
2.4	0.6285	1.0712	1.2304
2.5	0.8492	1.3527	1.4661
2.6	1.1203	1.7406	1.7397
2.7	1.4323	1.9732	1.9606
2.8	1.7777	2.2215	2.1146
2.9	2.0257	2.4289	2.3692
3	2.2039	2.6338	2.6245
3.1	2.463	2.8321	2.8087
3.2	2.6663	3.054	3.0017
3.3	2.8699	3.228	3.161
3.4	2.9353	3.456	3.396
3.5	3.207	3.772	3.704
3.6	3.398	4.047	4.063
3.7	3.656	4.085	4.225
3.8	3.666	4.321	4.354
3.9	3.844	4.452	4.467
4	4.165	4.547	4.581
4.1	4.274	4.617	4.676
4.2	4.348	4.661	4.787

4.3	4.427	4.77	4.861
4.4	4.586	4.917	4.968
4.5	4.707	5.027	5.058
4.6	4.846	5.115	5.121
4.7	4.979	5.18	5.231
4.8	4.999	5.24	5.3
4.9	5.05	5.309	5.362
5	5.163	5.423	5.444
5.1	5.266	5.48	5.45
5.2	5.355	5.532	5.555
5.3	5.444	5.61	5.607
5.4	5.456	5.696	5.648
5.5	5.551	5.766	5.678
5.6	5.635	5.836	5.702
5.7	5.699	5.901	5.845
5.8	5.714	5.907	5.882
5.9	5.808	5.958	5.91
6	5.862	6.056	6.004
6.1	5.944	6.138	6.053
6.2	6.001	6.196	6.128
6.3	6.089	6.247	6.166
6.4	6.109	6.304	6.209
6.5	6.189	6.367	6.259
6.6	6.269	6.406	6.361
6.7	6.339	6.473	6.397
6.8	6.346	6.513	6.426
6.9	6.439	6.522	6.518
7	6.503	6.555	6.544
7.1	6.569	6.564	6.61
7.2	6.607	6.604	6.638
7.3	6.652	6.686	6.678
7.4	6.659	6.678	6.682
7.5	6.698	6.713	6.727
7.6	6.746	6.725	6.731
7.7	6.801	6.809	6.788
7.8	6.927	6.74	6.857
7.9	6.824	6.761	6.912
8	6.842	6.805	6.961
8.1	6.909	6.808	6.992
8.2	6.967	6.916	7.022
8.3	7.008	6.989	7.058
8.4	7.033	7.051	7.086
8.5	7.08	7.053	7.116
8.6	7.101	7.105	7.135
8.7	7.14	7.128	7.176
8.8	7.147	7.185	7.187

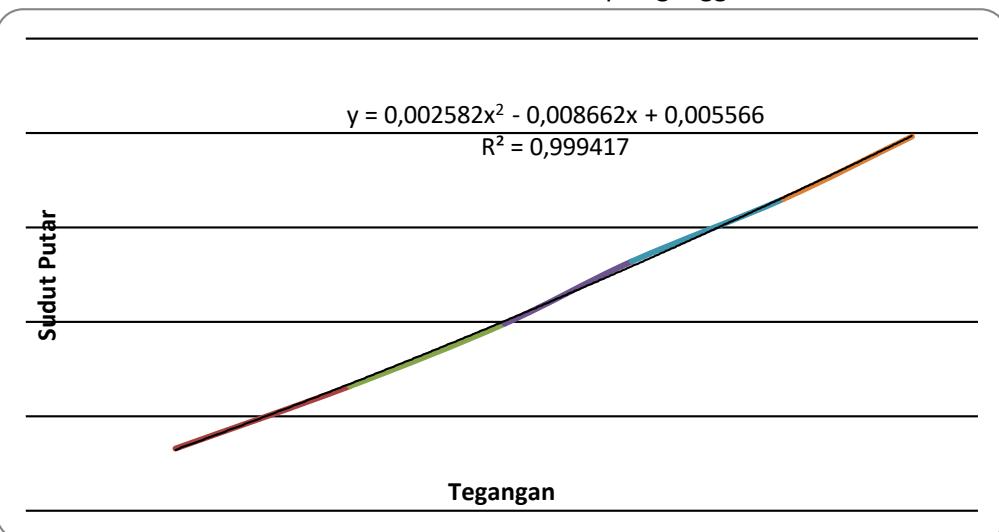
8.9	7.179	7.198	7.212
9	7.201	7.205	7.218
9.1	7.215	7.204	7.22
9.2	7.218	7.22	7.22
9.3	7.219	7.22	7.221
9.4	7.22	7.22	7.221
.	7.22	7.22	7.221
.	7.22	7.22	7.221
20	7.22	7.221	7.221

Lampiran B

Data Kalibrasi Sudut terhadap Tegangan

Torsi	Konstanta	Sudut	Tegangan
0.265825	804.625	0.0003304	2.563
0.53165	804.625	0.0006607	2.6361
0.797475	804.625	0.0009911	2.7012
1.0633	804.625	0.0013215	2.7547
1.329125	804.625	0.0016519	2.8183
1.59495	804.625	0.0019822	2.8723

Grafik Kalibrasi Sudut Terhadap Tegangan



Lampiran C

Data Hasil Pengukuran Torsi Alat Terhadap Torsi Referensi Pada Material Besi

Torsi Referensi	Torsi alat 1 (L=10cm)	Torsi Alat 2 (20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif 1 (%)	Kesalahan Relatif 2(%)
0.265825	0.256927	0.25784	-0.0089	-0.00799	-0.8898	-0.7985
0.53165	0.551219	0.556926	0.019569	0.025276	1.9569	2.5276
0.797475	0.777316	0.824028	-0.02016	0.026553	-2.0159	2.6553
1.0633	1.057841	1.04578	-0.00546	-0.01752	-0.5459	-1.752
1.329125	1.324245	1.3219	-0.00488	-0.00722	-0.488	-0.7225
1.59495	1.575295	1.5844	-0.01966	-0.01055	-1.9655	-1.055

Data Hasil Pengukuran Torsi Alat Terhadap Torsi Referensi Pada Material Kuningan

Torsi Refrensi	Torsi alat 1 (L=10cm)	Torsi Alat 2 (20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif 1(%)	Kesalahan Relatif 2(%)
0.265825	0.262091	0.242061	-0.00373	-0.02376	-0.28359	-1.36227
0.53165	0.564307	0.53495	0.032657	0.0033	2.480199	0.189173
0.797475	0.76789	0.7894	-0.02959	-0.00808	-2.24689	-0.4629
1.0633	1.08025	1.0765	0.01695	0.0132	1.2873	0.75669
1.329125	1.3321	1.30650	0.002975	-0.02262	0.225942	-1.29698
1.59495	1.5788	1.56865	-0.01615	-0.0263	-1.22654	-1.50765

Data Hasil Pengukuran Torsi Alat Terhadap Torsi Referensi Pada Material Stainless steel

Torsi Refrensi	Torsi alat 1 (L=10cm)	Torsi Alat 2 (20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif 1(%)	Kesalahan Relatif 2 (%)
0.265825	0.27189	0.269831	0.006065	0.004006	0.460565	0.302559
0.53165	0.54766	0.526905	0.01601	-0.00475	1.215771	-0.35837
0.797475	0.8	0.8372	0.002525	0.039725	0.191744	3.000289
1.0633	1.0599	1.0671	-0.0034	0.0038	-0.25819	0.287001
1.329125	1.33016	1.32671	0.001035	-0.00241	0.078596	-0.1824
1.59495	1.58875	1.59387	-0.0062	-0.00108	-0.47082	-0.08157

Data Hasil Pengukuran Modulus Puntir Alat Terhadap Modulus Puntir Referensi Pada Material Besi

G refrensi	G alat (L=10cm)	G alat (L=20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif1 (%)	Kesalahan Relatif 2 (%)
77	76.878	77.674	0.414	0.023	0.538	0.030
77	77.329	77.889	0.037	0.527	0.048	0.677
77	77.342	76.871	0.050	0.491	0.065	0.639
77	77.4486	77.574	0.157	0.212	0.202	0.273
77	77.321	76.513	0.029	0.849	0.038	1.110
77	77.432	77.651	0.140	0.289	0.181	0.372

Data Hasil Pengukuran Modulus Puntir Alat Terhadap Modulus Puntir Referensi Pada Material Kuningan

G refrensi	G alat (L=10cm)	G alat (L=20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif1 (%)	Kesalahan Relatif 2 (%)
25	24.467	25.714	0.728	0.009	2.974	0.036
25	25.486	25.127	0.291	0.578	1.143	2.300
25	24.862	26.112	0.333	0.407	1.338	1.559
25	25.573	25.871	0.378	0.166	1.479	0.642
25	25.12	25.64	0.075	0.065	0.297	0.253
25	25.6603	25.765	0.466	0.060	1.814	0.234

Data Hasil Pengukuran Modulus Puntir Alat Terhadap Modulus Puntir Referensi Pada Material Stainless Steel

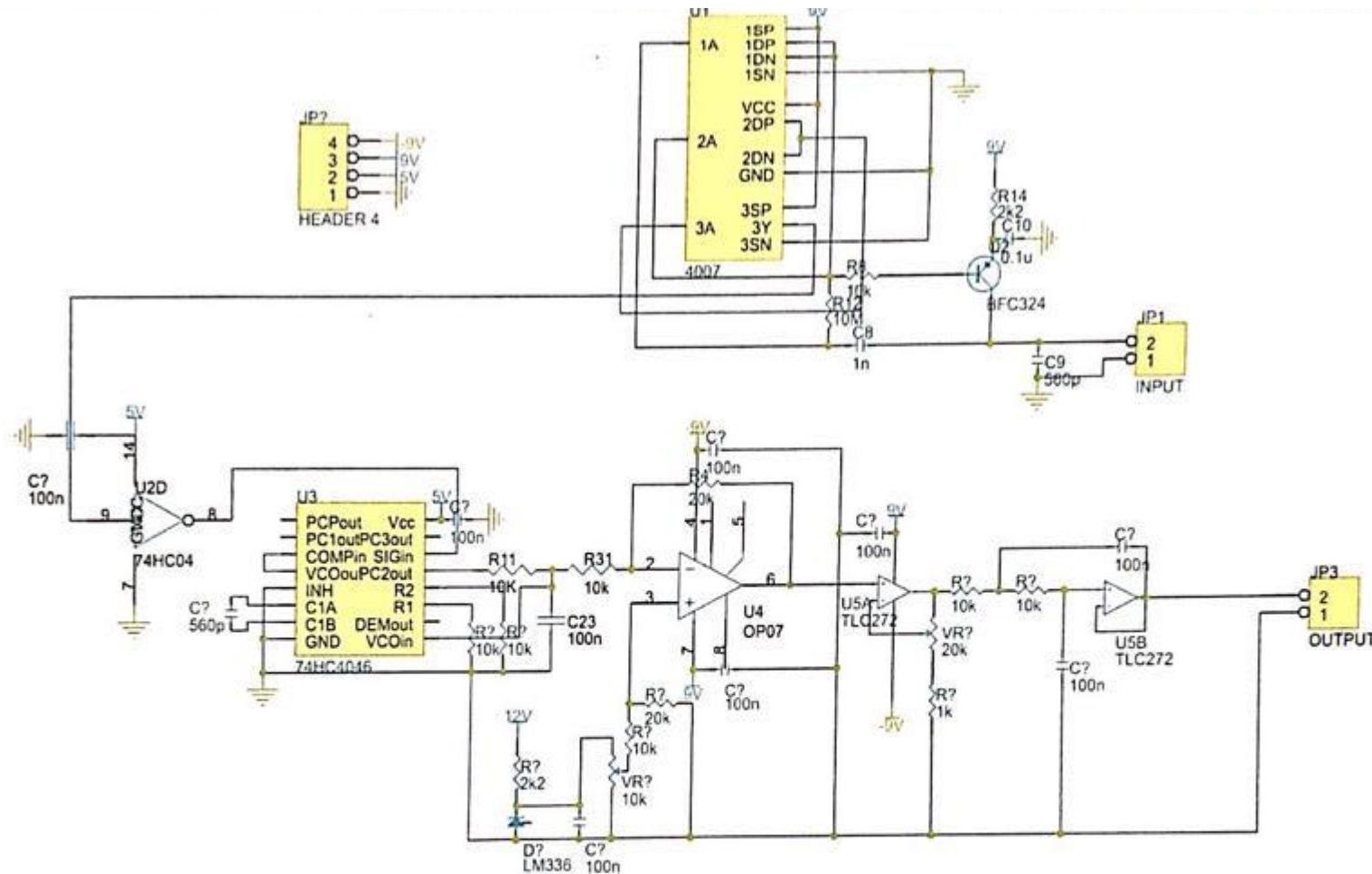
G refrensi	G alat (L=10cm)	G alat (L=20cm)	Kesalahan Absolut 1	Kesalahan Absolut 2	Kesalahan Relatif1 (%)	Kesalahan Relatif 2 (%)
57	57.230	57.000	0.073	0.402	0.127	0.705
57	57.320	57.216	0.017	0.186	0.031	0.325
57	57.864	56.947	0.561	0.455	0.986	0.799
57	57.643	57.459	0.340	0.057	0.593	0.100
57	57.271	57.913	0.032	0.511	0.054	0.883
57	56.487	57.876	0.815	0.474	1.409	0.819

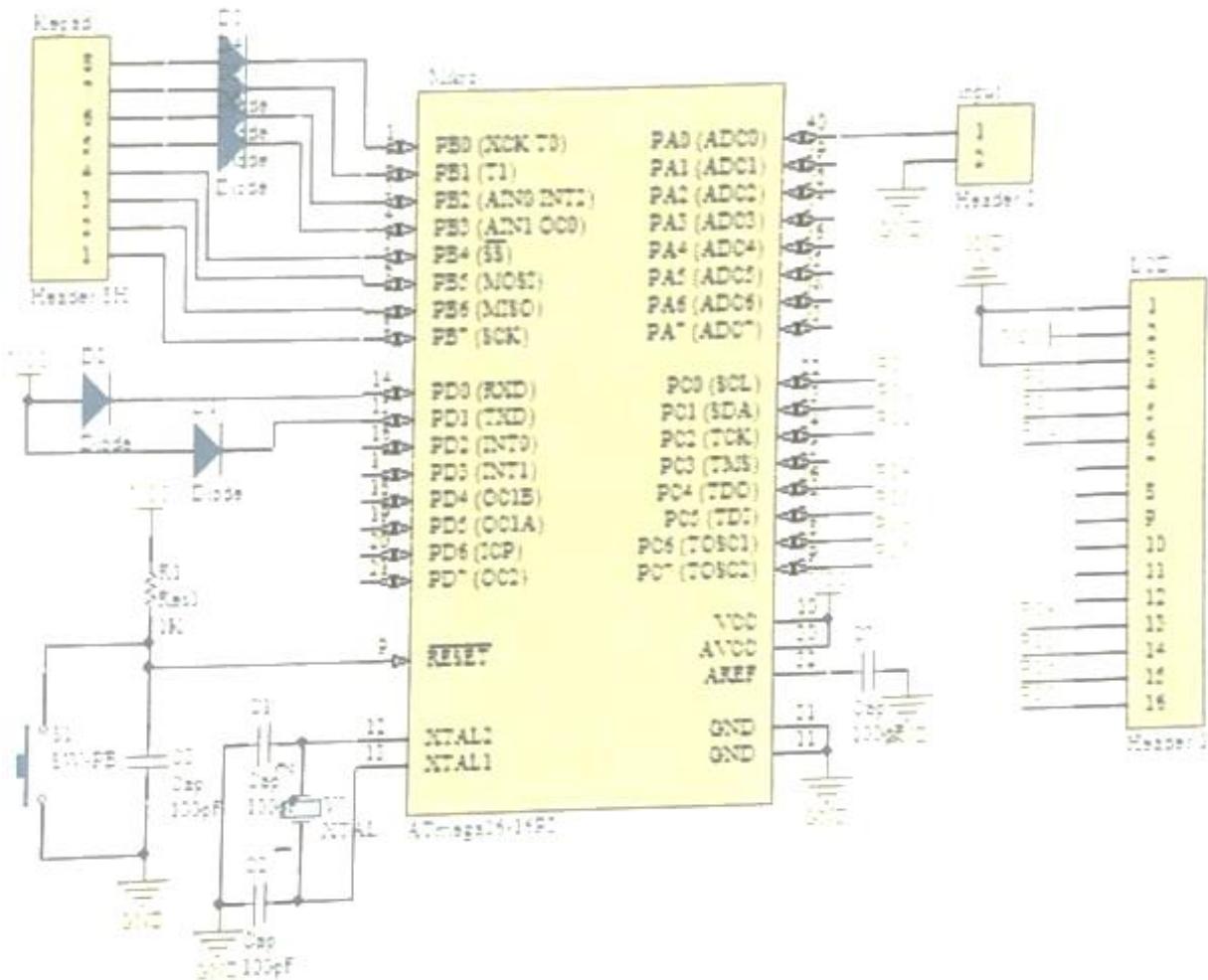
Lampiran D

Data Hasil Uji Reproduksibilitas

Torsi Referensi	Torsi Alat Ke-1	Torsi Alat Ke-2	Torsi Alat KE-3	Torsi Alat Ke-4	Torsi Alat ke-5	Torsi Alat Ke-6
0.265825	0.256927	0.25784	0.262091	0.242061	0.27189	0.269831
0.53165	0.551219	0.556926	0.564307	0.53495	0.54766	0.526905
0.797475	0.777316	0.824028	0.76789	0.7894	0.8	0.8372
1.0633	1.057841	1.04578	1.08025	1.0765	1.0599	1.0671
1.329125	1.324245	1.3219	1.3321	1.3065	1.33016	1.32671
1.59495	1.575295	1.5844	1.5788	1.56865	1.58875	1.59387

Skematik Rangkaian Analog Sensor Koil Datar





Lampiran G

Program Mikrokontroler ATmega 16

```
*****
Date      : 1/7/2012
Programer : Ratih Kumalasari

Chip type          : ATmega16
Program type       : Application
AVR Core Clock frequency : 11.059000 MHz
Memory model      : Small
External RAM size : 0
Data Stack size   : 256
*****/
```

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

*****
FUNGSI PROTOTYPE & DEKLARASI GLOBAL
*****/
```

```
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input);
void pilih_menu();
void menu_1();
void menu_2();
void enter_radius();
void scanning_radius();
void simpan_radius();
void tampil_radius();
void data_radius();

void enter_panjang();
void scanning_panjang();
void simpan_panjang();
void tampil_panjang();
void data_panjang();
```

```

void enter_panjangm();
void scanning_panjangm();
void simpan_panjangm();
void tampil_panjangm();
void data_panjangm();

void enter_torsim();
void scanning_torsim();
void simpan_torsim();
void tampil_torsim();
void data_torsim();

void enter_modulus();
void scanning_modulus();
void simpan_modulus();
void tampil_modulus();
void data_modulus();

void enter_radiusm();
void scanning_radiusm();
void simpan_radiusm();
void tampil_radiusm();
void data_radiusm();

void hasil();
void akhir();

float torsi=0, radius=0, radiusm=0, panjang=0, panjangm=0, modulus=0, nilai=0, value=0, torsim=0,
modulusm=0;
char indeks=0, temp[12], array[10], i=0;
unsigned char lcd_buffer[33];

void pilih_menu();
unsigned read_adc(unsigned char adc_input);

*****
PROGRAM UTAMA
*****
void main(void)
{
// init IO port
PORTB=0xff; DDRB=0x0f;

```

```

PORTD=0x00; DDRD=0x03;//bit 0-1 sbg output
PORTD.0=1; PORTD.1=1;

// init ADC
// ADC Clock freq:691.188kHz; ADC Voltage Ref:AVCC; ADC Auto Trigger Source:None
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x84;

// init LCD
lcd_init(16);

lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("Torque Sensor");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("Ratih Kumalasari");
delay_ms(500); // 500ms
lcd_clear();

while (1)
{
    pilih_menu();
}
}

*****
SUB RUTIN
*****
// ADC 10 bit
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
delay_us(10); // delay dibutuhkan untuk stabilisasi input tegangan ADC
ADCSRA |=0x40; // mulai konversi
while ((ADCSRA & 0x10)==0); // tunggu hingga konversi selesai
ADCSRA |=0x10;
return ADCW;
}

// memilih menu program
void pilih_menu()
{
while (indeks==0)
{
    lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf(">> A : Menu 1");
}
}

```

```

lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf(">> B : Menu 2");
delay_ms(30); // 300ms
PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30); // 300ms
if (PINB.6 == 0) {menu_1(); delay_ms(30);} //300ms
if (PINB.5 == 0) {menu_2(); delay_ms(30);} //300ms
lcd_clear();
}

}

// menu 1
void menu_1()
{
indeks=1;
PORTD.0=0;
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("MENU 1");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("Torque");
delay_ms(300); // 300ms
while (indeks==1)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("press C");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("for entry data");
delay_ms(30); // 300ms
lcd_clear();

PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30); // 300ms
if (PINB.4 == 0)
{
indeks=3; // indeks input radius
data_radius();
delay_ms(100); //1000ms
}
}

// menu 2
void menu_2()
{

```

```

indeks=2;
PORTD.0=0;
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("MENU 2");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("Shear Modulus");
delay_ms(30); // 300ms
while (indeks==2)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("press C");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf("for entry data");
delay_ms(30); // 300ms
lcd_clear();

PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30); // 300ms
if (PINB.5 == 0)
{
indeks=8; // indeks input panjang modulus
data_panjangm();
delay_ms(100); //1000ms
}
}

*******/

RADIUS
*****void simpan_radius()
{
if (i==1){radius=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){radius=(radius*10)+array[i];}
}

void tampil_radius()
{
if (radius>0)
{
ftoa(radius,0,temp);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(temp);
}
}

```

```

}

void scanning_radius()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; radius=0; delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111101;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_radius(); delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_radius(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}

PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -
if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_radius();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir
}

void data_radius()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==3)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter radius");
scanning_radius();
tampil_radius();
delay_ms(30); // 300ms
}
}

```

```

}

void enter_radius()
{
indeks=4;
PORTD.0=0;
nilai=radius*radius*radius*radius;
data_panjang();
delay_ms(100);//1000ms
}

/*****************/
PANJANG
/*****************/
void simpan_panjang()
{
if (i==1){panjang=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){panjang=(panjang*10)+array[i];}
}

void tampil_panjang()
{
if (panjang>0)
{
ftoa(panjang,0,temp);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(temp);
}
}

void scanning_panjang()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; panjang=0; delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111101;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_panjang(); delay_ms(300);}

```

```

if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_panjang(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}
PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -
if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_panjang();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir
}

void data_panjang()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==4)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter length");
scanning_panjang();
tampil_panjang();
delay_ms(30); // 300ms
}
}

void enter_panjang()
{
indeks=5;
PORTD.0=0;
nilai=nilai/(2*panjang);
data_modulus();
delay_ms(100);//1000ms
}

*****
MODULUS
*****/

```

```

void simpan_modulus()
{
if (i==1){modulus=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){modulus=(modulus*10)+array[i];}
}

void tampil_modulus()
{
if (modulus>0)
{
    ftoa(modulus,0,temp);
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_puts(temp);
}
}

void scanning_modulus()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; modulus=0; delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111101;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_modulus(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}
PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -
if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_modulus();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir

```

```

}

void data_modulus()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==5)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter modulus");
scanning_modulus();
tampil_modulus();
delay_ms(30); // 300ms
}
}

void enter_modulus()
{
indeks=6;
PORTD.0=0;
nilai=nilai*modulus;
hasil();
delay_ms(100); //1000ms
}

void hasil()
{
indeks=7;
PORTD.0=0;
while (indeks==7)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("Torque");
lcd_gotoxy(0,1);
torsi = (((float)read_adc(0)*0.00488232421875)*((float)nilai)*1.5708);
sprintf(lcd_buffer, "%2f Nm",torsi);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(100); // 5000ms
}
}

```

```

/***********************
PANJANG MODULUS
***********************/

void simpan_panjangm()
{
if (i==1){panjangm=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){panjangm=(panjangm*10)+array[i];}
}

void tampil_panjangm()
{
if (panjangm>0)
{
ftoa(panjangm,0,temp);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(temp);
}
}

void scanning_panjangm()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; panjangm=0; delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111101;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_panjangm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}

PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -

```

```

if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_panjangm();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir
}

void data_panjangm()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==8)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter length");
scanning_panjangm();
tampil_panjangm();
delay_ms(30); // 300ms
}
}

void enter_panjangm()
{
indeks=9;
PORTD.0=0;
value=2*panjangm;
data_torsim();
delay_ms(100); // 1000ms
}

/*****************
TORSI UNTUK MODULUS
*****************/
void simpan_torsim()
{
if (i==1){torsim=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){torsim=(torsim*10)+array[i];}
}

void tampil_torsim()
{
if (torsim>0)
{
ftoa(torsim,0,temp);
}

```

```

    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_puts(temp);
}
}

void scanning_torsim()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; torsim=0; delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111101;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_torsim(); delay_ms(300);}

PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_torsim(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}

PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -
if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_torsim();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir
}

void data_torsim()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==9)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter massa");
scanning_torsim();
}
}

```

```

tampil_torsim();
delay_ms(30); // 300ms
}

}

void enter_torsim()
{
indeks=10;
PORTD.0=0;
value=value*torsim*5.425*9.8;
data_radiusm();
delay_ms(100); //1000ms
}

/*****************
RADIUS UNTUK MODULUS
*****************/
void simpan_radiusm()
{
if (i==1){radiusm=array[i];}
if (i>=2 && i<=8){radiusm=(torsim*10)+array[i];}
}

void tampil_radiusm()
{
if (radiusm>0)
{
ftoa(radiusm,0,temp);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(temp);
}
}

void scanning_radiusm()//scanning pendektsian penekanan keypad
{
PORTB = 0b11111110;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=1; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=4; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=7; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {lcd_clear();i=0; radiusm=0; delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111101;
}

```

```

delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=2; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=5; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=8; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {i++; array[i]=0; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
PORTB = 0b11111011;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {i++; array[i]=3; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.5 == 0) {i++; array[i]=6; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {i++; array[i]=9; simpan_radiusm(); delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {delay_ms(300);}
PORTB = 0b11110111;
delay_ms(30);
if (PINB.4 == 0) {delay_ms(300);} // tombol -
if (PINB.5 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.6 == 0) {delay_ms(300);}
if (PINB.7 == 0) {enter_radiusm();delay_ms(300);} // tombol + : eksekusi akhir
}

void data_radiusm()
{
lcd_clear();
delay_ms(30); // 300ms
while(indeks==10)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("enter radius");
scanning_radiusm();
tampil_radiusm();
delay_ms(30); // 300ms
}
}

void enter_radiusm()
{
indeks=11;
PORTD.0=0;
value=value/(radiusm*radiusm*radiusm*radiusm);
akhir();
delay_ms(100);//1000ms
}

```

```
void akhir()
{
indeks=12;
PORTD.0=0;
while (indeks==12)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf("Shear Modulus");
lcd_gotoxy(0,1);
modulsm = (((float)nilai)*1.5708)/((float)read_adc(0)*0.00488232421875);
sprintf(lcd_buffer,"%2f",modulsm);
lcd_puts(lcd_buffer);
delay_ms(100); // 5000ms
}
}
```