

PEMBUATAN SISTEM PENGUKURAN JARAK BENDA DIGITAL BERBASIS SENSOR FLUXGATE

Rezy Prima^{*)} Asrizal^{**)} dan Yulkifli^{***)}

^{*)}Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, email:
rezy_prima@yahoo.com

<sup>**)Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, email:
asrizal_unp@yahoo.com</sup>

<sup>***)Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang, email:
yulkifliamir@yahoo.com</sup>

ABSTRACT

Measurement of the magnetic field is important because many objects have magnet and useful in life. To measure the magnetic field of an object is required a sensor. One type of sensor to detect the magnetic field is fluxgate sensor. Fluxgate magnetic sensor is a sensor that works by changing the magnetic flux around the sensor element. By utilizing the working principle of the fluxgate sensor can be made the object distance measuring system base on digital fluxgate sensor. The purpose of this research is to determine: static characteristics of sensor fluxgate Z61, performance specifications and design specifications of the digital object distance measuring system based fluxgate sensor. Measurements of magnetic that influenced of distance from the sensor output voltage has been done. The data obtained through measurements was analyzed in two methods, those are statistics and graphs. Base on data and analysis conducted to know the sensitivity and accuracy of the fluxgate sensor Z61. Based on the data and alysis can be presented three results. First Z61 fluxgate sensor static characteristics include transfer function of $V_0=0.622x+0.0245x^2+3977$, sensitivity $S=0.049x-0.622$ and accuracy 0.999. The second device length is approximately 30 cm with 20 cm wide with a capacity measurement of 7 millimeters to 15 millimeters by using a magnet as the source of the magnetic field, Z61 type fluxgate sensors, a micrometer screw and microcontroller ATMEGA 8535. Third design specifications of the digital object distance measuring system based fluxgate sensor consists of a percentage error of 12%, precision 0.875 and accuracy 0.831.

Keywords: measurements system, magnetic field, fluxgate sensor

PENDAHULUAN

Kemajuan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) pada era globalisasi sekarang ini mengalami peningkatan yang pesat. Hasil dari kemajuan IPTEK telah memberikan kemudahan dan keuntungan bagi manusia. Salah satu disiplin ilmu yang memberikan andil cukup besar dalam perkembangan teknologi adalah fisika. Fisika telah memberikan dasar yang kuat pada kemajuan teknologi.

Kemajuan IPTEK tidak dapat dipisahkan dari teknologi elektronika. Per-

kembangan teknologi elektronika saat ini telah memberikan banyak manfaat dan kemudahan bagi kehidupan manusia.

Teknologi elektronika menjanjikan prospek masa depan yang lebih baik karena mampu menyederhanakan dimensi dan meningkatkan kemampuan berbagai peralatan sebagai produk teknologi. Dengan kemajuan teknologi yang semakin berkembang pesat dan persaingan dipasar bebas yang semakin ketat, menuntut perkembangan instrumen harus berkembang dari segi kualitas ataupun harganya.

Salah satu instrumen elektronika yang dikembangkan sekarang ini adalah sensor. Meningkatnya kebutuhan sensor untuk otomatisasi, keamanan, dan kenyamanan menggiring orang untuk mengembangkan sensor dengan prinsip dan metoda yang berbeda-beda. Jumlah sensor dan sistem sensor yang diperlukan juga meningkat. Saat ini teknologi sensor telah memasuki bidang aplikasi baru dan pasar yang semakin luas seperti otomatif, penelitian dan pengembangan, serta rumah cerdas (*smart home*), dan teknologi pengolahan (Meijer, 2008).

Perkembangan elektronika ini telah menghasilkan komponen elektronika yang canggih, baik sensor maupun produk lainnya. Sensor merupakan salah satu elemen utama pembangun sebuah sistem pengukuran dan pengontrolan. Melalui sensor dapat dirancang berbagai sistem yang dapat bekerja secara otomatis dan mampu menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di alam. Selain itu, sensor dapat berfungsi untuk menggantikan tugas manusia yang terbatas.

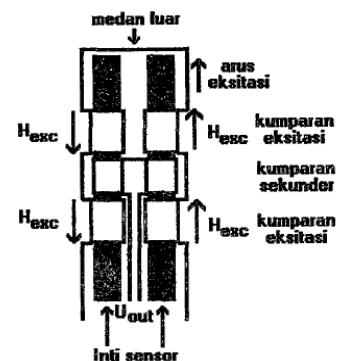
Tantangan utama teknologi sensor sekarang ini adalah mengukur besaran-besaran yang selama ini sulit atau tidak bisa diukur dan meningkatkan nilai informasi sensor dengan menggunakan metoda-metoda pengukuran yang sudah dikenal (Traenker, 2007). Dalam pengembangan sensor dan sistem sensor perlu dipilih prinsip-prinsip pengukuran yang cocok, pengukuran-pengukuran khusus perlu dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan dari sensor (Traenker, 1998). Dalam hal ini perlu dikompromikan antara biaya dan permintaan, sehingga pembuatan sensor dan sistem sensor lebih mudah dan biaya murah tentu dengan kualitas yang dapat bersaing dengan produk luar negeri.

Salah satu sensor yang banyak dikembangkan saat ini adalah sensor-sensor yang berbasiskan pada konsep perubahan medan magnetik di sekitar objek yang diukur. Sensor-sensor yang menggunakan konsep ini disebut sensor magnetik (Fraden, 2004). Salah satu jenis dari sensor

magnetik ini adalah sensor *fluxgate*. Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan dari flux magnetik disekitar elemen sensor (Gopel, dkk., 1989). Sensor *Fluxgate* adalah sensor magnetik yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sensor-sensor lain seperti efek Hall, GMR, AMR, dan SQUID.

Fluxgate sensors are used as proximity sensors, for navigational and geomagnetic field measurement instruments, and for position and speed sensing (John R. Brauer:2006). Menurut J.Kubik (2009), *A fluxgate sensor is a vectorial magnetic field sensor used in navigation, geophysical research, space research and detection of ferrous objects. The fluxgate sensor measures DC or low-frequency AC magnetic field with field measurement range up to 1 mT with achievable resolution of 10 pT.* Berdasarkan kedua kutipan dapat dijelaskan bahwa sensor *fluxgate* adalah salah satu dari sensor magnetik yang dapat mengukur medan magnet pada rentang < 1 mT dan digunakan sebagai sensor kedekatan untuk navigasi, mengukur medan magnet bumi, dan sebagai sensor posisi dan kecepatan.

Salah satu bentuk probe sensor dalam sensor *fluxgate* adalah berbentuk lurus, probe ini terdiri dari inti yang terbuat dari logam khusus, kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up*. Probe yang dirancang di sini adalah probe sensor yang terdiri dua buah inti. Pada masing-masing inti dililitkan kumparan eksitasi dan kumparan *pick-up*, tampak seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Elemen Sensor *Fluxgate*
(Suyatno, 2008)

Kumparan eksitasi dan kumparan *pickup* merupakan kumparan dengan panjang (*l*) yang diberi sejumlah lilitan (N). Medan eksitasi yang muncul pada kumparan eksitasi disebabkan oleh arus bolak-balik (*i*) yang berasal dari rangkaian eksitasi. Untuk memudahkan memahami konsep timbulnya medan eksitasi akan ditinjau konsep medan magnet pada solenoida.

Pada kumparan eksitasi, arus yang dialirkan dikendalikan oleh sebuah osilator frekuensi. Frekuensi osilator ditentukan oleh frekuensi dari kristal untuk *fluxgate* magnetometer yaitu 1-20 kHz. Frekuensi osilator yang digunakan adalah 4 kHz, dengan frekuensi sebesar ini hasil yang diperoleh lebih optimal. Frekuensi yang digunakan untuk kumparan eksitasi adalah setengah dari frekuensi ini yaitu 2 kHz (f), dan frekuensi 4 kHz (2f) digunakan untuk detektor fasa.

Untuk mengevaluasi tegangan keluaran sensor *fluxgate* digunakan fungsi transfer. Fungsi transfer sensor magnetik *fluxgate* menggambarkan hubungan antara tegangan keluaran *Vo* dengan medan magnet yang diukur. Fungsi transfer dapat dihitung menggunakan pendekatan polinomial kemudian mencari komponen frekuensi yang ada di dalam kerapatan fluks magnetik inti sensor. Penggunaan pendekatan polinomial teknik harmonisasi kedua akan memudahkan untuk menyederhanakan fungsi transfer ke dalam komponen frekuensi (Göpel, W, *et al.*, 1989). Dengan asumsi bahwa inti (*core*) sensor bertipe linear dan medan eksitasi berbentuk sinusoida, maka berdasarkan penurunan inti ini akan disaturasikan dengan medan eksitasi sinusoida sebagai

$$H_{ref} = H_{ref\ max} \sin \omega t \quad (1)$$

yang akan disuperposisikan dengan medan magnet eksternal. Medan magnet di dalam inti sensor kemudian akan menjadi

$$H_{int} = \frac{H_{ext} + H_{ref\ max} \sin \omega t}{1 + D(\mu_r - 1)} \quad (2)$$

dengan μ_r adalah permeabilitas relatif dan *D* adalah faktor demagnetisasi untuk inti linear (Djamal, M., *et al.*, 2005:2007).

Untuk mengukur rapat flux di dalam inti, ada baiknya menormalisasi kuat medan magnet internal menjadi H_0^* , dalam bentuk:

$$H_0^* = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{B_{sat} [1 + D(\mu_r - 1)]}{\mu_r \mu_0} \quad (3)$$

Disini kuat medan magnet dalam inti menjadi

$$h_{int} = \frac{H_{int}}{H_0^*} = h_{ext} + h_{ref\ max} \sin \omega t \quad (4)$$

Komponen harmonisasi kedua sebanding dengan kuat medan magnet luar. Tegangan keluaran *V_{out}* dari kumparan sekunder juga sesuai dengan turunan waktu rapat flux di dalam inti, amplitudo tegangan keluaran induksi dilukiskan dengan hukum faraday (Bashiroto, A., *et al.*, 2006):

$$V_{out} = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} \quad (5)$$

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

$$V_{out} = -\frac{V_{out}}{NA} = \frac{dB}{dt} = B_0 \cdot \frac{db}{dt} \quad (6)$$

Komponen tegangan keluaran harmonisasi kedua *V_{out2h}* dari kumparan sekunder adalah:

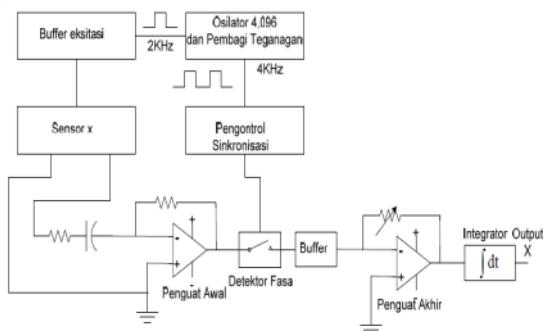
$$U_{out} = -3B_0 NA \omega A_3 h_{ext} h_{ref\ max}^2 \sin 2\omega t \quad (7)$$

$$V_{out2h} = h_{ext} K \sin 2\omega t \quad (8)$$

disini *h_{ext}* adalah kuat medan magnet eksternal, *h_{ref}* adalah kuat medan magnet referensi, *N* adalah jumlah lilitan, *A* adalah luas bidang potong inti sensor, *B₀* adalah rapat fluks magnetik, dan *K* adalah tetapan.

Untuk menghasilkan sensor *fluxgate* dengan karakteristik yang baik dibutuhkan rangkaian pengolah sinyal dan elemen *fluxgate* yang optimum. Pengolah sinyal

sensor *fluxgate* terdiri dari dua bagian utama, yaitu rangkaian eksitasi dan rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up*. Secara skematis rangkaian elektronik pengolah sinyal sensor *fluxgate* terlihat pada Gambar 2



Gambar 2. Skema Rangkaian Elektronik Pengolahan Sinyal Sensor *Fluxgate* (Yulkifli,2011)

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa rangkaian elektronik pengolah sinyal sensor *fluxgate* terdiri dari dua bagian utama yaitu rangkaian eksitasi dan rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up*. Rangkaian eksitasi terdiri dari rangkaian osilator, rangkaian *buffer*, dan rangkaian pembangkit sinyal eksitasi. Untuk rangkaian pengolah sinyal lilitan *pick-up* terdiri dari rangkaian penguat awal, rangkaian *buffer*, detektor fasa, penguat akhir dan integrator.

Pengembangan sensor *fluxgate* untuk berbagai sensor maupun alat ukur berdasarkan pada konsep magnetik dan proksimiti. Sensor-sensor atau alat ukur yang dikembangkan antara lain: sensor medan magnet lemah, alat ukur jarak, sensor getaran, sensor kecepatan sudut, sensor arus listrik dc, dan sensor muai panjang.

Permasalahan yang ditemui di lapangan adalah mahalnya harga sebuah sensor, seperti pada sensor jarak *SRF04-Original Ultrasonic Range* seharga Rp. 320.000 atau sensor jarak *SRF10-The World Smallest Dual Transducer Ultrasonic Range* seharga Rp. 525.000. Hal ini disebabkan oleh proses pembuatan yang sangat kompleks akibatnya harga jualnya mahal. Selain itu susah untuk mendapatkannya dan kalau terjadi kerusakan sulit untuk memperbaikinya. Salah satu teknik pembuatan *fluxgate*

saat ini menggunakan teknologi mikro. Teknik ini menghasilkan *fluxgate* dengan sensitivitas rendah karena luas penampang sensor *fluxgate* yang dihasilkan kecil.

Berdasarkan aplikasi sensor *fluxgate* yang telah dikemukakan, maka peneliti tertarik untuk membuat sebuah sistem pengukuran jarak digital yang dapat bekerja secara optimal dan efisien sesuai dengan kebutuhan penggunannya. Sistem pengukuran jarak benda digital ini penting dibuat karena dapat mengukur jarak dalam orde milimeter. Karena itu sebagai judul dari penelitian ini adalah “*Pembuatan Sistem Pengukuran Jarak Benda Digital Berbasis Sensor Fluxgate*”.

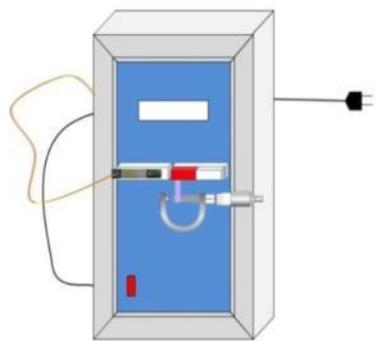
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik statik sensor *fluxgate* Z61, menentukan spesifikasi performansi dan menentukan spesifikasi desain dari sistem pengukuran.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang. Kegiatan ini dimulai dari Juli 2011 sampai dengan Juli 2012.

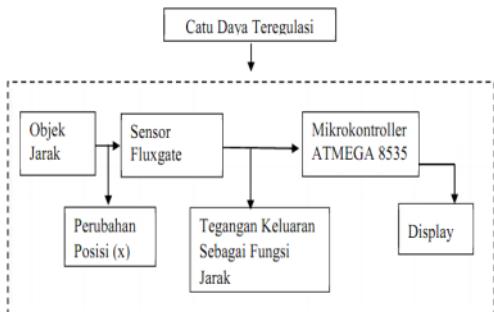
1. Desain Perangkat Keras

Sistem pengukuran jarak benda digital berbasis sensor *fluxgate* ini dirancang bisa bekerja dan menghasilkan data yang akurat sehingga harus memenuhi spesifikasi tertentu. Spesifikasi merupakan pendeskripsian secara mendetail produk hasil penelitian. Secara umum ada dua tipe spesifikasi yaitu spesifikasi performansi dan spesifikasi desain. Spesifikasi performansi mengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap komponen pembentuk sistem. Spesifikasi performansi biasa disebut juga dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi desain atau spesifikasi produk menjelaskan tentang ketepatan dan ketelitian dari sensor, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem dan dimensi sistem.



Gambar 3. Desain Perangkat Keras Sistem Pengukuran Jarak

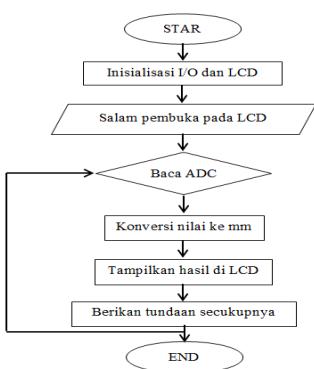
Pembuatan sistem pengukuran jarak benda digital berbasis sensor *fluxgate* dibangun oleh beberapa rangkaian elektronika. Secara umum blok diagram secara keseluruhan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Blok Diagram Sederhana

2. Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak dari sistem ini berupa *flowchart* dari program untuk mikrokontroler yang menggunakan bahasa bascom. *Flowchart* dari sistem pengukuran jarak benda digital berbasis sensor *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Flowchart Sistem Pengukuran Jarak

Untuk menentukan ketepatan dan ketelitian dari sistem pengukuran ditentukan menggunakan teori kesalahan. Kesalahan

adalah simpangan antara nilai yang dipercaya dengan nilai yang diukur. Kesalahan absolut dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai yang dipercaya dari variabel dengan nilai yang diukur dari variabel tersebut yang dapat diungkapkan dalam bentuk:

$$e = Y_n - X_n \quad (9)$$

Disini :

Y_n = Nilai yang dipercaya atau nilai sebenarnya.

X_n = Nilai yang diukur atau nilai yang terbaca.

Ketepatan merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya (Cooper W.D, 1985). Ketepatan dari sistem pengukuran dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai aktual dengan nilai yang terlihat. Persentase kesalahan dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\text{Percent error} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100 \% \quad (10)$$

Persentase kesalahan (*percent error*) merupakan persentase simpangan antara harga besar yang diukur dengan nilai yang dipercaya (*expected value*).

Ketepatan pengukuran dari suatu sistem pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (11)$$

Pada persamaan A menyatakan akurasi relatif yang sering dikenal dengan ketepatan (Jones, L.D: 1995).

Ketelitian dari pengukuran merupakan kesamaan harga dari sekelompok pengukuran. Nilai yang paling mungkin dari suatu pengukuran variabel adalah nilai rata-rata dari total pengukuran yang dilakukan. Nilai rata-rata pengukuran dapat diberikan oleh persamaan berikut :

$$\overline{X_n} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n X_n \quad (12)$$

Disini X_n adalah nilai pengukuran ke-n dan n adalah jumlah total pengukuran. Ketelitian dari suatu pengukuran adalah suatu kuantitas atau angka yang menunjukkan

berapa dekatnya hasil dari set pengukuran berulang dari variabel sama dengan rata-rata set pengukuran (Jones, L.D: 1995). Ketelitian dapat diekspresikan dalam bentuk matematika seperti:

$$\text{Precision} = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (13)$$

Dimana,

X_n = nilai dari pengukuran ke n

\bar{X}_n = rata-rata dari set n pengukuran.

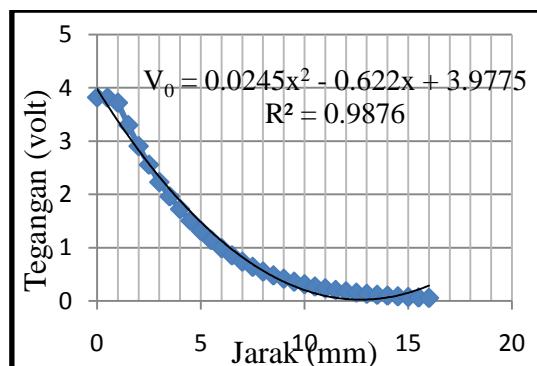
HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian pada akan difokuskan pada penjelasan mengenai sistem yang dibuat secara terperinci, termasuk data hasil pengukuran.

Analisis data yang dilakukan pada sistem pengukuran jarak benda ini meliputi pengaruh perubahan jarak terhadap tegangan keluaran sensor, tegangan keluaran penguat, ketepatan dan ketelitian sistem.

1. Karakteristik Sensor *Fluxgate* Z61

Untuk menyelidiki pengaruh perubahan jarak terhadap tegangan keluaran sensor dapat dilakukan dengan cara memvariasikan jarak yang akan dirubah. Data yang diperoleh dapat diplot grafik dengan menempatkan jarak pada sumbu horizontal (X) dan tegangan sensor pada sumbu vertikal (Y), seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Jarak Terhadap Tegangan Keluaran

Gambar 6 terlihat bahwa titik-titik pengukuran data menunjukkan tegangan keluaran dari sensor *fluxgate* Z61 berbanding terbalik dengan perubahan jarak yang diberikan. Kecenderungan hasil dari

hubungan tegangan keluaran dengan jarak berupa polynomial melalui pendekatan polynomial orde 2 diperoleh persamaan fungsi transfer dari tegangan keluaran sensor yaitu:

$$V_0 = 0.0245x^2 - 0.622x + 3.977 \quad (9)$$

Dari persamaan dapat dijelaskan angka 0.0245 adalah konstanta penggali untuk variabel X^2 , angka -0.622 adalah konstanta penggali untuk variabel X . Angka 3.977 Volt merupakan nilai tegangan keluaran sensor *fluxgate* pada saat jarak sensor ke magnet 0 mm. Koefisien determinasi pendekatan polynomial orde 2 diperoleh sebesar 0.9876, artinya 98.7 % tegangan keluaran sensor *fluxgate* dipengaruhi oleh jarak magnet dengan sensor.

Sensitivitas dari sensor *fluxgate* Z61 dapat ditentukan dengan cara menurunkan persamaan (9), sehingga diperoleh persamaan sensitivitas sensor *fluxgate* Z61 adalah:

$$S = 0.049x - 0.622 \quad (10)$$

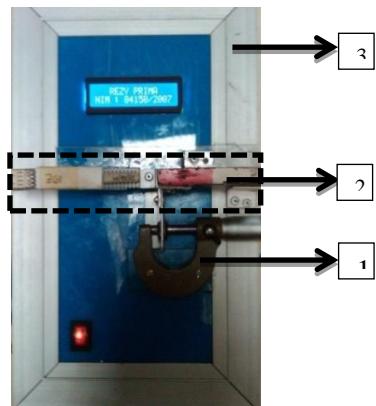
Dari persamaan (10) dapat dikatakan bahwa sensitivitas sensor *fluxgate* Z61 tidak konstan. Nilai sensitivitasnya akan berubah sesuai dengan jarak magnet yang diberikan pada sensor. Angka 0.049 adalah konstanta penggali untuk variabel X dan angka -0.622 dapat diartikan sebagai besar sensitivitas sensor *fluxgate* Z61 pada jarak sama dengan nol.

Untuk mengetahui ketelitian dari sensor *fluxgate* Z61, melakukan pengukuran berulang, yaitu pengukuran untuk setiap variasi tegangan sebanyak 10 kali perulangan. Berdasarkan pengukuran dapat ditentukan tegangan rata-rata, dan ketelitian. ketelitian dari sensor yang didapat berdasarkan pengukuran berulang sebanyak 10 kali terhadap tegangan keluaran dengan variasi jarak 2,4,6,8 dan 10 milimeter. Semakin besar jarak maka tegangan keluaran rata-rata dari sensor semakin kecil, sehingga ketelitian dari sensor juga semakin kecil.

2. Spesifikasi Performansi Sistem

Spesifikasi performansi sistem merupakan pengidentifikasi atau penguraian fungsi setiap bagian pembentuk sistem pen-

gukuran jarak. Sistem pengukuran jarak ini menggunakan magnet dengan pengindera sensor *fluxgate* Z61, yang mampu mengukur jarak dalam orde millimeter. Sistem Pengukuran jarak ini dibuat dengan ukuran panjang sekitar 30 cm dan lebar 20 cm dengan kapasitas pengukuran 7 milimeter sampai 15 milimeter. Bagian dari sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Foto Sistem Pengukuran Jarak Tampak Depan

Dari Gambar 7 dapat dilihat sistem pengukuran jarak terdiri dari 3 bagian utama. Pertama tempat mikrometer sekrup, yang berfungsi sebagai alat ukur standar. Kedua tempat letaknya magnet batang dan sensor *fluxgate* Z61. Ketiga ruang alat yang berfungsi sebagai tempat rangkaian elektronika. Seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Elektronika Sistem pengukuran Jarak

Rangkaian elektronika tersebut terdiri dari empat bagian yaitu, rangkaian catu daya (1), rangkaian eksitasi (2), sistem minimum mikrokontroler atmega8535 (3) dan penguatan instrumentasi (4).

Rangkaian catu daya berfungsi untuk mensuplay arus dan tegangan ke seluruh rangkaian yang ada. Rangkaian catu daya

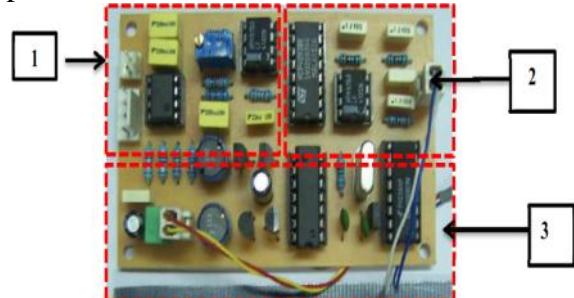
ini terdiri dari satu keluaran, yaitu 5 Volt. Tegangan 5 Volt digunakan untuk menghidupkan mikrokontroler, sensor *fluxgate* dan LCD. Rangkaian regulator dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Regulator Sistem Pengukuran Jarak

Rangkaian catu daya ini terdiri atas transformator *stepdown*, dioda, dan kapasitor. Transformator *stepdown* berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 Volt AC menjadi 12 Volt AC. Kemudian 12 Volt AC akan disearahkan oleh dua buah dioda, selanjutnya 12 Volt DC akan diratakan oleh kapasitor 2200 μ F. Regulator tegangan 5 Volt (LM7805CT) dan digunakan agar keluaran yang dihasilkan tetap 5 Volt walaupun terjadi perubahan pada tegangan masukan.

Kedua rangkaian eksitasi dan pengolah sinyal yang dibangun dalam satu PCB, rangkaian ini berfungsi untuk mengeksitasi sensor *fluxgate* Z61 dan merubah keluaran sensor dari tegangan yang lemah menjadi tegangan yang lebih kuat lagi agar tegangan input yang masuk ke ADC mikrokontroler dapat diolah dalam pemograman. Rangkaian eksitasi dan pengolah sinyal sensor *fluxgate* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian Eksitasi dan Pengolahan Sinyal

Pada Gambar 10 adalah rangkaian eksitasi dan pengolahan sinyal. Rangkaian eksitasi dan pengolahan sinyal dapat dibagi menjadi tiga blok. Blok pertama adalah rangkaian penguat akhir yang berfungsi untuk memperkuat sinyal keluaran yang masih lemah agar dapat diukur. Blok kedua adalah rangkaian differensiator atau rangkaian penguat awal yang berfungsi untuk memperkuat sinyal yang diterima oleh *pick-up*. Blok ketiga merupakan rangkaian eksitasi yang berfungsi sebagai pembangkit isyarat atau pembangkit fungsi jika isyarat keluaranya dapat mempunyai berbagai bentuk.

Ketiga, sistem minimum mikrokontroler berfungsi untuk mengaktifkan kerja mikrokontroler. Mikrokontroler bertugas melakukan proses deteksi data masukan, mengolah data dan mengatur keluaran sesuai dengan fungsi sistem yang dikehendaki. Bentuk rangkaian mikrokontroler dalam sistem pengukuran jarak benda digital dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11.Rangkaian Mikrokontroler ATMEGA 8535

Untuk menjalankan aktivitas tersebut mikrokontroler dihubungkan dengan beberapa perangkat eksternal baik itu sebagai masukan ataupun keluaran. Mikrokontroler memiliki saluran *I/O* sebanyak 32 buah, saluran yang digunakan diantaranya port PA0 (kaki 40) dihubungkan dengan keluaran sensor *fluxgate*. Port A merupakan pin *I/O* dua arah dan pin masukan *ADC*, sehingga keluaran dari sensor *fluxgate* tersebut akan dibaca oleh *ADC* dan kemudian data dikalkulasikan dengan rumusan tertentu sehingga pada tahap berikutnya sistem dapat menentukan berapa jarak. Port C digunakan sebagai output yang terhubung dengan LCD.

Rangkaian instrumentasi digunakan untuk memperkuat tegangan keluaran dari sensor *fluxgate* sebelum diinputkan ke mikrokontroler, untuk lebih lanjut diproses oleh *ADC*. Tujuan penggunaan regulator tegangan agar tegangan keluaran yang dihasilkan tetap 5 Volt walaupun terjadi perubahan pada tegangan masukan. Di samping itu rangkaian ini juga dilengkapi dengan LED yang berfungsi sebagai indikator ketika sistem dinyalakan.

Untuk menampilkan hasil pembacaan sistem pengukuran jarak ini, digunakan sebuah LCD 2x16. Pada LCD akan ditampilkan jarak yang terukur. Jarak yang ditampilkan dalam satuan millimeter (mm). Tampilan LCD dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12.Tampilan LCD

Dalam mengoperasikan sistem pengukuran ini terdapat tombol ON/OFF yang berfungsi untuk menghidup dan mematikan sistem pengukuran. Setelah tombol dalam keadaan ON, LCD akan menampilkan bacaan jarak dalam orde millimeter (mm). Sistem pengukuran jarak ini akan terpengaruh oleh medan magnet bumi, karena alat ini berada pada orde yang lemah.

3. Spesifikasi Desain Sistem

Ketepatan pengukuran ditentukan dengan cara membandingkan data hasil pengukuran sistem dengan pengukuran alat ukur standar. Pengambilan data dilakukan setiap perubahan jarak 0.5 milimeter dengan jarak pengukuran 0 mm sampai 16 mm. Melalui perhitungan dapat ditentukan nilai rata-rata, persentase kesalahan, ketepatan relatif dan persentase ketepatan. Ketepatan Sistem Pengukuran Jarak Benda Digital Berbasis Sensor *Fluxgate* Z61 didapat rata-rata persentase kesalahan sebesar 12%, ketepatan relatif rata-rata sebesar 0.875 sedangkan persentase ketepatan rata-rata dari sistem

pengukuran jarak benda digital sebesar 87.53% dengan kata lain sistem Pengukuran Jarak Benda Digital Berbasis Sensor *Fluxgate* Z61 cukup baik digunakan sebagai alat ukur.

Ketelitian dari sistem didapat berdasarkan pengukuran berulang sebanyak 10 kali sebesar 0.831 dan persentase kesalahan relatifnya sebesar 0.337 % dengan standar deviasi 0.003. Dengan demikian ketelitian dari sistem pengukuran jarak benda digital termasuk tinggi.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis data sistem pengukuran jarak dengan *keluaran* digital didapatkan ketepatan rata-rata pengukuran sebesar 0.875. Pada pengukuran berulang untuk setiap variasi jarak benda menunjukkan hasil yang hampir sama. Hal ini menyebabkan ketelitian rata-rata bernilai 0.831 dengan standar deviasi 0.003 dan kesalahan relatif 0.337%. Kondisi ini terjadi karena pemograman mikrokontroler menggunakan data interval ADC, jika data dimasukkan mulai dari jarak 0 sampai 16 mm dengan interval 0.5 mm. Untuk jarak diantara interval tersebut, maka jarak yang muncul adalah jarak batas bawah atau batas atas. Jika jarak tersebut lebih mendekati interval jarak bawah, maka yang ditampilkan jarak interval bawah tersebut, begitu juga sebaliknya untuk setiap pengukuran.

Sistem pengukuran jarak benda digital masih mempunyai beberapa kelemahan dan keterbatasan diantaranya; Kelemahan pertama, susahnya cara menentukan posisi utara dan selatan dari sistem pengukuran jarak benda, supaya sistem pengukuran jarak benda tegak lurus terhadap medan magnet bumi, hal ini disebabkan karena tidak adanya penunjuk arah mata angin disistem pengukuran jarak benda yang dibuat, Kelemahan Kedua skala terkecil yang terbaca bagus oleh sensor pada sistem ini adalah 7.0 mm dan skala terbesar yang terbaca bagus pada sistem ini adalah 15 mm, sedangkan skala yang terbaca antara 1.5 mm sampai 6.5 mm terdapat selisih 0.5

mm dengan alat ukur standar, hal ini disebabkan karena posisi magnet batang dengan posisi sensor *fluxgate* Z61 terlalu jauh. Kelemahan ini dapat diantisipasi dengan cara mendekatkan posisi magnet batang dengan sensor *fluxgate* Z61, dengan hal itu maka range pengukuran bisa lebih lebar.

Kelemahan ketiga, karena penilitian tidak dilakukan di ruang faraday, maka kalibrasi dari alat harus dilakukan dengan cara mengubah posisi sensor. Hal ini dapat mempengaruhi hasil dari keluaran sensor. Kelemahan ini dapat diatasi dengan cara melakukan pengukuran dan pengambilan data diruang faraday, sehingga hasil keluaran dari sistem ini tidak dipengaruhi oleh medan magnet bumi.

Kelemahan keempat, terjadinya pemutusan arus oleh PLN dan sistem pengukuran yang dirancang tidak memiliki sambungan otomatis dengan sumber listrik cadangan, yang menyebabkan sistem pengukuran jarak benda digital tidak bisa dioperasikan lagi. Oleh sebab itu seharusnya dibuat sambungan otomatis dengan sumber listrik cadangan sehingga tidak merusak sistem pengukuran jarak yang dibuat.

Sistem pengukuran yang dibuat belum memiliki sumber catu daya tersendiri, sehingga disaat PLN mati sistem tidak bisa digunakan. Dalam kelanjutan dari pembuatan alat ukur jarak ini, akan lebih efektif menggunakan sumber catu daya tersendiri. Salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan membuat tempat sumber catu daya seperti batere.

Sistem ini diharapkan dapat memiliki kemampuan pengukuran sesuai dengan kemampuan sensor *fluxgate*. Dalam kelanjutan pembuatan sistem ini sangat diharapkan menemukan cara penggunaan sensor pada sistem pengukuran jarak agar tidak terpengaruh oleh medan magnet bumi, sehingga pada saat dilakukan pengukuran sistem dapat digunakan walaupun posisinya berubah-ubah.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil dan analisis terhadap besaran yang terdapat dalam sistem pengukuran dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Fungsi transfer dari sensor *fluxgate* Z61 didapatkan dalam bentuk hubungan $V_0 = 0.0245x^2 - 0.622x + 3.977$, sensitivitas sensor berbentuk linear sebagai fungsi dari jarak $S = 0.049x - 0.622$ dan ketelitiannya 0.999
2. Sistem pengukuran jarak benda digital ini dibangun oleh sensor *fluxgate*, rangkaian penguat instrumentasi, rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATMega8535, daya teregulasi; jarak yang diukur ditampilkan pada LCD, mikrometer sekrup sebagai alat ukur standar dan dapat beroperasi pada tegangan 220V/50Hz. Sistem ini mampu mengukur jarak 7 sampai 15 milimeter dengan nilai skala terkecil 0.5 milimeter.
3. Ketepatan dari sistem pengukuran jarak ini benda digital ini termasuk tinggi dengan ketepatan 0.875, kesalahan rata-rata 12%, ketelitian rata-rata dari sistem pengukuran ini adalah 83% dengan standar deviasi rata-rata 0.003 dan kesalahan relatif rata-rata 33.7%.

DAFTAR PUSTAKA

- Baschirotto, A, dkk. 2006. *Development and Comparative Analysis of Fluxgate Magnetic Sensor Structure in PCB Technology*. IEEE Transaction on Magnetics
- Colmar Hinnrichs, dkk. 2001. *Dependence of Sensitivity and Noise of Fluxgate Sensor on Racetrack Geometry*. Germany
- Gerard C.M. Meijer (ed.). 2008. *Smart Sensor System*. John Willey & Sons.
- Jacob Fraden. 2004. *Handbook Of Modern Sensors Physics, Designs, And Applications (Third Edition)*. Springer: New York.
- J.Kubik, dkk. 2009. *Triaxial Fluxgate Sensor With Electroplated Core*. Tyndall National Institute, Lee Maltings, Prospect Row, Cork, Ireland
- Michal Janosek. 2009. *PCB Sensors in Fluxgate Magnetometer with Controlled Excitation*.
- Mitra Djamal, dkk. 2007. *Sensor Magnetik Fluxgate dan Aplikasinya*. Jurnal Materi Indonesia
- Pavel Ripka. 2008. *Sensor Based on Bulk Soft Magnetic Material:Advances and Challenges*.
- Pavel Ripka. 2001a. *Magnetic Sensor and Magnetometers*, Artec House.
- Suyatno, dkk. 2008. *Desain dan Pengembangan Fluxgate Magnetometer dan Beberapa aplikasinya*. Jurnal Fisika Dan Aplikasinya.
- Traenkler, H.R. 1998. *Zukunftsmark Intelligente Hausinstrumentierung*. Laporan penelitian: "Verteilte intelligente Mikrosysteme fuer den privaten Lebensbereich (VIMP)", Neubiberg.
- W.Gopel, dkk. 1989. *Sensors,A Comprehensive Survey Magnetic Sensors*. VCH Publishers Inc. Suite
- Yulkifli,dkk. 2007. *Linieritas Tegangan Keluaran Sensor Magnetik Fluxgate Menggunakan Elemen Sensor Multi-Core*. Jurnal Sains dan Materi : Batan.
- Yulkifli. 2011. *Sensor Fluxgate*. STAIN: Batusangkar