

PEMBUATAN SENSOR PROXIMITY BERBASIS SENSOR INDUKTIF METODE DIFFRENSIAL BERBENTUK KOIL DATAR

Yulkifli

*Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang 25131
Email: yulkifliamir@gmail.com*

ABSTRACT

The physical principle of flat coil sensor was based on the changing inductivity of a flat coil due to disturbance of conductive material in its electromagnetic fields, so that eddy current on the conductive material was occurred. The displacement between flat coil and conductive material was a function of the total inductance L of the sensor system, which will be measured as resonance frequency by using an inductive capacitive oscillator. The measurement system consists of a flat coil, oscillator circuit LC, multimeter and micrometer. In measuring, as independent variables were distance of object and time, while dependent variable was output voltage of flat coil sensor by using differential technique. Data was collected through two ways i.e. direct and indirect measurement. Then data was analyzed by using graph methods and error analysis. Data analysis shown that: 1). The output sensor without differential technique isn't linear with distance of conductive material; 2). The output sensor with differential technique is inversely proportional with distance of conductive material with negative sensitivity 1,2783 Volt/mm ; 3). The precision of sensor was high with average of precision is 0,999, and 4). The stability of sensor was also high with small output voltage variation.

Key words: sensor, flat coil, characteristics, sensitivity, precision, stability

PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan untuk otomatisasi, keamanan dan kenyamanan menggiring orang untuk mengembangkan berbagai instrumen pengukuran dan karakterisasi. Instrumen adalah suatu piranti atau mekanisme yang digunakan untuk menentukan nilai dari suatu besaran yang diobservasi. Dalam instrumen pengukuran diperlukan suatu media atau sarana agar pengukuran itu mudah dilihat, dibaca maupun diambil datanya, salah satu bagian penting dari sebuah instrumen pengukuran adalah sensor. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan ini jumlah sensor dan sistem sensor yang diperlukan juga meningkat. Saat ini teknologi sensor telah memasuki bidang aplikasi baru dan pasar yang semakin meluas seperti otomatis, *Research and development*, rumah cerdas (*smart home*) dan teknologi pengolahan (Meijer

2008). Berdasarkan data mengenai pasar sensor dunia diketahui bahwa perkembangan rata-rata produksi sensor dalam sepuluh tahun terakhir meningkat 4.5% setiap tahunnya (Intechno, 2009)

Untuk mendapatkan data-data yang akurat pengukuran memerlukan ketepatan yang sangat tinggi, hasil yang akurat dan tepat akan didapatkan dari alat instrumen yang sensitivitasnya tinggi. Alat-alat instrumen dengan sensitivitas tinggi yang banyak dipakai saat ini adalah sensor. Sensor merupakan suatu bagian yang sangat penting dalam instrumentasi. Ada empat peran penting sensor dalam instrumentasi yaitu sebagai gerbang dalam instrumentasi, untuk mengubah besaran yang tak terukur menjadi terukur, sebagai isyarat masukan bagi instrumentasi, dan sebagai isyarat pembanding dalam suatu pengontrolan (Trankler, 1990). Karakteristik suatu instrumentasi dipengaruhi oleh

karakteristik sensor. Karena itu penyelidikan terhadap karakteristik sensor menjadi penting dalam bidang instrumentasi.

Secara umum sensor didefinisikan sebagai piranti yang mengubah besaran-besaran input fisis seperti: magnetik, radiasi, mekanik, dan termal atau kimia menjadi besaran listrik sebagai output (Meijer, dkk., 2008). Berbagai bentuk dan model sensor telah dikembangkan untuk mengindera perubahan parameter seperti berdasarkan perubahan resistansi, kapasitansi, dan induktansi. Pada penelitian sebelumnya telah mengembangkan sensor jarak berbasis *fluxgate magnetometer* orde kecil yang mampu mendeteksi perubahan jarak dengan resolusi 10 μm , kesalahan absolut 0.12 μm dan kesalahan relatif 2.5% (Yulkifli, 2007). Pada tulisan ini akan dipaparkan aplikasi sensor koil datar pada pengukuran jarak orde kecil (*proximity* sensor). Aplikasi sensor koil datar yang sudah pernah dikembangkan adalah pada pembuatan alat ukur tekanan secara elektronik (Yulkifli, 2002), aplikasi pengukuran getaran (Lazuardi 1996).

Prinsip sensor koil datar dengan menggunakan transduser pengukur jarak, dengan berubahnya jarak antara sensor dengan bahan pengganggu (bahan konduktor) maka terjadi perubahan besaran tegangan keluaran pada sensor koil datar, perubahan tegangan ini terjadi karena perubahan induktif pada sensor. Prinsip fisis sensor induktif berdasarkan perubahan induktansi koil datar itu sendiri karena adanya gangguan bahan konduktif dalam medan magnetiknya sehingga pada bahan tersebut terjadi arus pusar yang dikenal *eddy current* (Djamal, M, 1996 dan Akhmad, A, 2005). Perubahan jarak antara koil datar dan bahan pengganggu dalam orde milimeter dapat mengubah besarnya induktansi total L , karena induktansi diri dan bersama berinterferensi saling menguatkan. Induktansi tersebut digunakan sebagai bagian dari resonansi suatu rangkaian osilator.

Dalam pemakaian sensor induktif berbentuk koil datar sering terjadi kebingungan dalam memakai bahan pengganggu, baik dari segi jenis bahan pengganggu maupun dari ukurannya (Yulkifli, 2004). Selain itu jika digunakan bahan pengganggu tunggal output tegangan sensor kurang linier karena adanya noise dari lingkungan. Untuk itu diperlukan teknik gangguan yang dapat mengatasi per-

masalahan tersebut setidaknya dapat mengurangi noise lingkungan.

Salah-satu alternatif yang dapat dilakukan adalah menggunakan teknik diferensial. Melalui teknik ini bahan konduktif sebagai objek yang bergerak ditempatkan antara dua sensor koil datar. Bila bahan konduktif bergerak mendekati salah satu sensor maka bahan konduktif bergerak menjauhi sensor yang lain karena jarak antara dua sensor dibuat tetap. Melalui cara ini permasalahan pada sensor koil datar dapat dikurangi. Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan peneliti merasa tertarik untuk mengetahui karakteristik keluaran sensor koil datar dengan dengan teknik diferensial.

Secara umum tujuan penelitian adalah merancang dan membuat instrumen pengukuran jarak dengan sensor induktif berbentuk koil datar menggunakan teknik diferensial dan menentukan karakteristik statik keluarannya. Sementara itu secara khusus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui: 1). hubungan antara tegangan keluaran sensor koil datar dengan jarak dan menentukan sensitivitas sensor tanpa menggunakan teknik diferensial, 2). hubungan antara tegangan keluaran sensor koil datar dengan jarak dan menentukan linearitas dan sensitivitas sensor menggunakan teknik diferensial, 3). ketelitian dari sensor koil datar menggunakan teknik diferensial untuk pengukuran jarak objek, dan 4). kestabilan tegangan keluaran sensor koil datar menggunakan teknik diferensial untuk pengukuran jarak sebagai variasi waktu.

Prinsip sensor koil datar dengan menggunakan transduser pengukur jarak, dengan berubahnya jarak antara sensor dengan bahan pengganggu maka terjadi perubahan besaran tegangan keluaran pada sensor koil datar. Perubahan tegangan ini terjadi karena perubahan induktif pada sensor (Drajat, 1996). Prinsip fisis ini berdasarkan perubahan induktansi koil datar karena adanya gangguan bahan konduktif. Induktansi elemen koil datar yang dialiri arus akan berubah jika suatu bahan pengganggu diletakkan dalam daerah medan magnetiknya. Hal ini disebabkan karena pada bahan tersebut terjadi arus pusar, sehingga menghasilkan medan magnetiknya sendiri dan berinterferensi saling menguatkan dengan induktivitas yang dihasilkan oleh elemen koil datar itu sendiri

(Djamal, M,1996). Perubahan induktivitas total elemen koil datar digunakan sebagai bagian resonansi suatu rangkaian osilator LC (Akhamad, N. 1996).

Setiap lilitan dari koil dianggap sebagai lingkaran koaksial dengan jejari kira-kira sama

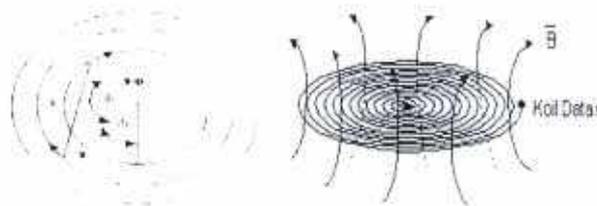
dengan jejari lilitan atau putarannya. Induktansi L dapat dihitung dengan menjumlahkan induktansi diri (L_j) dan Induktansi bersama M_{jk} (Lazuardi, 1996). Induksi diri dan induksi bersama lilitan didapatkan dari rumus Neumann's, yaitu:



Gambar 1 Dua elemen Garis Arus

Disisi lain induktansi diri dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_j = \frac{\Phi_{21}}{I_2} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_2 \iint_{(1)(2)} \frac{ds_1 ds_2}{r}$$

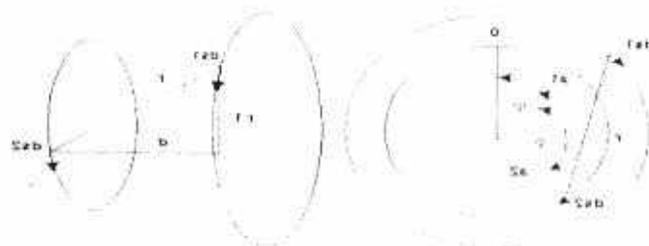


Gambar 2 Induktansi Diri Pada Simpal Kawat Sirkular

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

dimana $k_j = \frac{\sqrt{1 - b/a_j}}{1 - b/2a_j}$

Induktansi mutual antara dua koaksial simpal arus sirkular ditentukan dari Gambar 3.



Gambar 3 Dua Simpal Arus Sirkular

Misal jari-jari lingkaran pada Gambar 2 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 . Untuk elemen koil datar yang tersusun atas beberapa lilitan konsentris, maka induktansi mutual dari elemen koil datar dengan jumlah lilitan tertentu adalah:

$$M_{jk} = \frac{\mu_0 \sqrt{a_1 a_2}}{k_{jk}} \left[(2 - k_{jk}^2) K(k_{jk}) - \frac{2}{k_{jk}} E(k_{jk}) \right] \quad (3)$$

$$\text{dimana: } k_{jk} = 2 \sqrt{\frac{a_1 a_2}{d^2 + (a_1 + a_2)^2}}$$

$$K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\alpha}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}} \quad (4)$$

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha} d\alpha \quad (5)$$

Disini K dan E adalah integral eliptik, $a =$ jari-jari lingkaran, $d =$ jarak antara elemen koil datar dengan objek, $j =$ jumlah lilitan dari elemen koil datar, $k =$ jumlah lilitan yang terbentuk pada membran pengganggu, dan $\mu_0 =$ permeabilitas magnetik di ruang hampa

Berdasarkan persamaan 2 dan 3 induktansi total L dari sensor koil datar adalah penjumlahan antara induktansi diri L_j dan induktansi bersama M_{jk} sehingga diperoleh :

$$L = \sum_{j=1}^N L_j + \sum_{j,k=1}^N M_{jk} \quad (6)$$

Persamaan 6 merupakan rumusan Neumann's Bagian terpenting dari sistem sensor ini adalah rangkaian osilator LC dimana perubahan induktansi elemen koil datar diindera sebagai perubahan dari parameter fisis yang diukur. Permasalahannya bagaimana memperoleh suatu bentuk osilator yang stabil yang dapat menjamin kestabilan tegangan keluaran selama pengukuran, atau dengan kata lain syarat utama bagian suatu osilator adalah penguatan untuk memelihara osilasi, umpan balik positif, jaringan penentu frekuensi dan catu daya.

Untuk mengatasi itu dipergunakan suatu osilator yang mempergunakan prinsip kompensasi. Bagian terpenting dari rangkaian ini

adalah osilator LC yang berfungsi sebagai pengindera besaran fisis yang akan diukur. Output osilator LC adalah gelombang frekuensi modulasi sinusoidal yang frekuensinya ditentukan oleh persamaan

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_s}} \sqrt{1 - R^2} \quad (7)$$

Dengan mengatur harga L_s sensor dan kapasitor paralel C_s , frekuensi resonansi LC ini dibuat pada frekwensi tertentu (Floit, 1995).

METODE PENELITIAN

Instrumen pengukuran jarak terdiri dari sensor koil plat datar, rangkaian osilator LC, multimeter digital dan mikrometer sekrup. Pada sistem terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Sebagai variabel bebas adalah jarak bahan konduktif dan waktu. Disisi lain variabel terikat adalah tegangan keluaran dari sensor koil datar.

Berdasarkan masalah yang dikemukakan bahwa model penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimen laboratorium. Penelitian eksperimen ini bertujuan untuk melihat hubungan sebab akibat antara variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dikontrol dan dimanipulasi oleh peneliti sedangkan variabel terikat dibiarkan bervariasi. Setelah menentukan tujuan dari eksperimen, maka dilakukan perencanaan dan persiapan untuk melakukan eksperimen. Dalam eksperimen dilakukan pengambilan data secara berulang, kemudian data dianalisis, diambil kesimpulan dan dilaporkan hasilnya.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui pengukuran terhadap besaran fisis yang terdapat dalam sistem pengukuran jarak. Teknik pengukuran yang dilakukan meliputi dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah pengukuran yang tidak bergantung pada besaran-besaran lain. Pengukuran tidak langsung adalah pengukuran suatu bilangan yang nilainya dipengaruhi oleh oleh besaran-besaran lain dan nilainya tidak langsung didapat. Data yang diperoleh secara langsung adalah jarak dan waktu sedangkan data dari pengukuran tidak langsung adalah

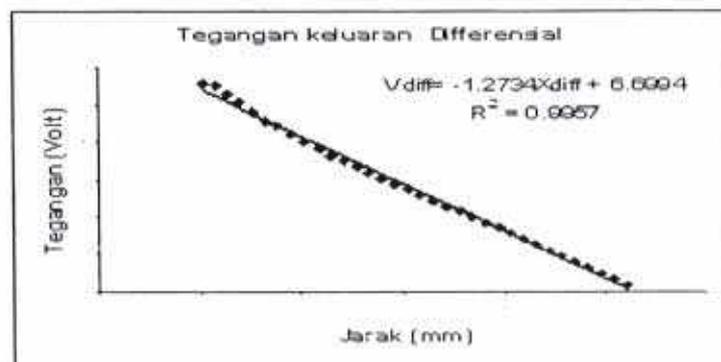
sensitivitas, kestabilan dan ketelitian dari instrumen pengukur jarak.

Untuk mendapatkan kesimpulan maka perlu dilakukan analisis data. Teknik analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda grafik dan analisis kesalahan. Metoda grafik digunakan untuk mengetahui hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan jarak bahan konduktif. Analisis kesalahan yang dilaku-

kukan meliputi nilai rata-rata, kesalahan mutlak, kesalahan relatif, dan ketelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data yang dilakukan meliputi penentuan model persamaan tegangan keluaran sensor dengan jarak, penentuan ketelitian dan kestabilan dari sensor koil datar,



Gambar 4 Hasil Pengukuran Jarak Terhadap Tegangan Keluaran Sensor

Pengukuran Tegangan Keluaran Sensor Terhadap Jarak

Setelah dilakukan pengukuran tegangan masing-masing sensor dilakukan perkalian analog antara sinyal tegangan keluaran osilator sensor 1 dan sensor 2 dilakukan oleh suatu rangkaian pengali (IC MC 1496). Hasil pengukuran menggunakan teknik differensial ditunjukkan oleh Gambar 4.

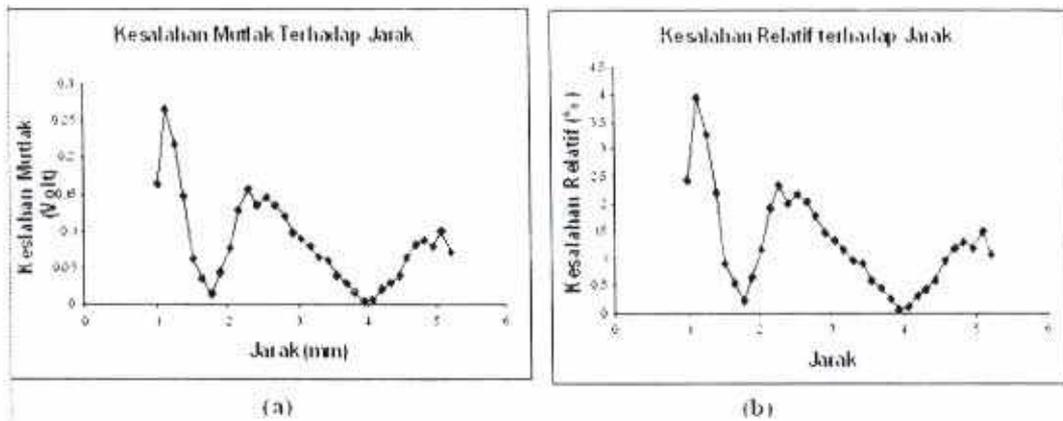
Dari Gambar 4 dapat diperhatikan bahwa tegangan keluaran dengan metode differensial merupakan mendekati fungsi linier $f(x) = ax + b$, dengan nilai $a = -1,2734$ Volt/mm menunjukkan kemiringan garis linier yang merupakan sensitivitas sebuah sensor dan $b = 6.6994$ Volt menunjukkan nilai awal tegangan keluaran yang dapat terukur dengan lebar jarak pengukuran menjadi lebih pendek yaitu (1-5.21)mm. Garis linear merupakan

pendekatan pengukuran dengan menggunakan persamaan garis lurus sensor dengan variansi 0.9994. Pesentase simpangan rata-rata tegangan sensor koil datar hasil pengukuran dengan pendekatan garis lurus adalah 0.12%. Grafik pada Gambar menghasilkan persamaan linierisasi pengukuran dengan persamaan 8.

$$V_{diff} = -1.2734 X_{diff} + 6.6994 \quad (8)$$

Kesalahan mutlak atau kesalahan sistematis berupa selisih nilai tegangan yang diberikan oleh fungsi pengukuran sistem sensor dengan nilai fungsi linier pada teknik differensial.

Kesalahan mutlak terbesar adalah 0.26 Volt. Untuk mengetahui kesalahan fungsi sistem sensor dalam daerah kerjanya digunakan besaran kesalahan relatif. Kesalahan relatif terbesar 3.95 %, seperti ditunjukkan oleh Gambar 5 (a) dan (b).



Gambar 5 Kesalahan Mutlak (a) dan Relatif dari Hasil Pengukuran (b)

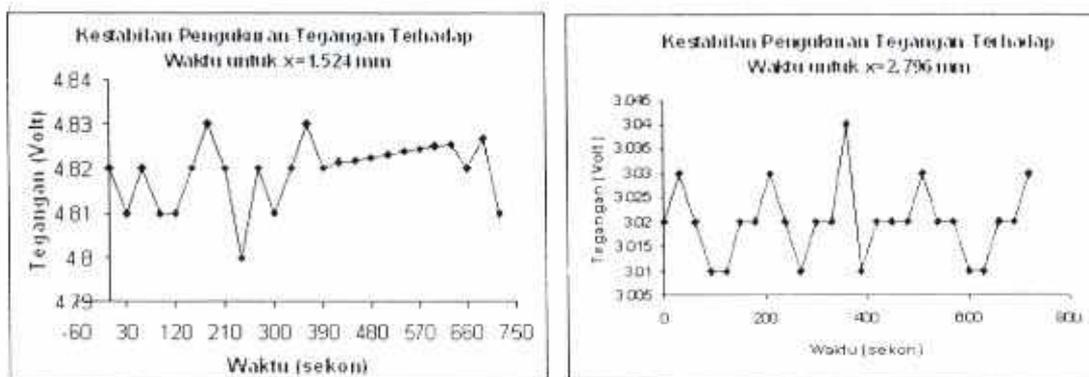
Ketelitian Sensor Koil Datar Untuk Pengukuran Jarak

Ketelitian merupakan konsistensi sensor dalam membaca besaran secara berulang. Untuk mengetahui ketelitian dari sensor koil datar untuk pengukuran jarak dilakukan pengukuran secara berulang untuk tiga variasi jarak. Setiap variasi jarak diukur tegangan keluaran dari sensor koil datar. Pengukuran tegangan keluaran sensor untuk setiap variasi jarak yang dipilih sebanyak 10 kali. Berdasarkan pengamatan terhadap tegangan keluaran sensor berubah dari 0.01 Volt sampai 0.03 Volt untuk ketiga variasi jarak. Dengan menggunakan persamaan linieritas diffrensial (8) didapatkan ketelitian rata-rata untuk jarak 1,524 mm, 2,161 mm, dan 2,796 mm masing-masing 0,999,

0,998, dan 0,998. Dengan demikian untuk pengukuran berulang pada tiga jarak memperlihatkan bahwa sensor koil datar dengan teknik difrensial memiliki ketelitian yang tinggi.

Kestabilan Tegangan Keluaran Sensor

Nilai kestabilan sensor diukur dengan memvariasikan waktu untuk dua jarak yang berbeda. Setiap jarak yang dipilih diukur tegangan keluaran dari sensor koil datar sebagai variasi dari waktu. Pengukuran tegangan keluaran dari sensor koil datar terhadap sampel jarak yang dipilih sebanyak 25 kali. Data tegangan diambil setiap 30 detik selama 12 menit.



Gambar 6 Nilai Tegangan Keluaran Setiap 15 Detik pada Jarak 1.524 mm (a) dan Jarak 2.796 mm

Data dianalisis dengan cara memplot data tegangan keluaran sensor tiap 30 detik selama 12 menit. Hasil dari plot data untuk jarak 1,524 mm dan jarak 2,796 mm masing-masing dapat diperhatikan pada Gambar 6.

Dari Gambar 6, dapat diketahui bahwa setiap saat tegangan keluaran dari sensor koil datar menunjukkan 4.82 Volt. Data hasil plot nilai tegangan keluaran sensor plat datar setiap saat dapat dilihat pada gambar 14, terlihat bahwa setiap saat tegangan keluaran dari sensor koil datar menunjukkan 3.02 V.

Berdasarkan analisis data yang dianalisis secara grafik dan statistik dapat menggambarkan beberapa hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil penelitian yang diperoleh meliputi pengaruh jarak terhadap tegangan keluaran sensor koil datar, tingkat ketelitian sensor, linearitas dan kestabilan dari sensor. Berdasarkan analisis data dapat diketahui bahwa karakteristik tegangan keluaran masing-masing sensor tanpa menggunakan teknik difrensial memenuhi fungsi kuadrat. Dengan menggunakan teknik diferensial karakteristik fungsi kuadrat tersebut dapat dirubah menjadi fungsi linear, sehingga tegangan keluaran sistem sensor dengan teknik ini berbanding lurus negatif terhadap perubahan jarak, dengan kata lain tegangan keluaran sensor berkurang seiring dengan penambahan jarak antara sensor dengan bahan konduktif.

Dilihat dari segi kesalahan mutlak dan kesalahan relatif pengukuran diperoleh kesalahan yang kecil dan dari segi ketelitian sistem ini memiliki ketelitian yang tinggi yang ditandai dengan standar deviasi yang kecil. Berdasarkan data linearitas dapat diketahui bahwa sensor ini memiliki sensitifitas yang cukup tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat dikemukakan empat hasil utama dari penelitian ini sebagai berikut (1) Tegangan keluaran sensor koil datar sebelum menggunakan teknik difrensial berkurang dengan penambahan jarak bahan konduktif berbentuk fungsi kuadrat dengan sensitivitas berubah dengan jarak; (2) Tegangan keluaran sensor koil datar dengan teknik difrensial berkurang secara linear dengan

pertambahan jarak objek dengan sensitivitas konstan sebesar 1,273 Volt/mm, 3). Ketelitian dari sensor koil datar termasuk pada kategori tinggi dengan ketelitian rata-rata untuk jarak 1,524 mm, 2,161 mm, dan 2,796 mm masing-masing 0,999; 0,998; dan 0,998, dan 4). Kestabilan dari sensor koil datar dengan teknik difrensial termasuk tinggi yang ditandai dengan variasi tegangan tegangan keluaran sensor sebagai perubahan waktu dari 0,01 Volt sampai 0,03 Volt.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Akhmad AN. 2005. Agie, *Pembuatan Protipe Sensor Tekanan dengan Menggunakan Sensor Koil Datar*. Bandung: Departemen Fisika ITB
- Djamal M. 1996. *A study of flat coil sensor for measuring displacements*. *Journal Department of Physics*, Faculty of Mathematics and Sciences ITB.
- Floid and Thomas L. 1995. *Electronics Fundamental Circuit, Devices, and Application*. New Jersey Colombus, Ohio.
- Intechno. 2009. *Sensor Market 2008*. Intechno Consulting, Basle, Switzerland, 05.
- Lazuardi. 1996. Studi awal sensor getaran berdasarkan prinsip induktif. *Tesis Program Magister Fisika*. Bandung: Jurusan Fisika ITB.
- Meijer GCM (ed.). 2008. *Smart Sensor System*. New York: John Willey & Sons.
- Trankler HR. 1990. *Taschenbuch der Meßtechnik Mit Schwerpunkt Sensortechnik*. München Wien: R Oldenbourg Verlag.
- Yulkifli. 2002. Desain dan pembuatan sensor tekanan udara elektronik berbasis sensor koil datar. *Tesis S2*. Bandung: ITB.
- Yulkifli, Asrizal dan Hufri. 2004. *Pengaruh Bahan Konduktif terhadap Tegangan Keluaran Sensor Plat Datar*. SPP/DPP K.
- Yulkifli, Suyatno, Mitra Djamal dan Rahmondia S. 2007. Karakteristik keluaran sensor jarak orde kecil berbasis fluxgate magnetometer. *Prosiding Semirata MIPA BKS 2007*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.