

ANALISA SIFAT FISIS SENSOR KOIL DATAR DENGAN VARIASI GEOMETRI

R. Roberto¹, L. Umar², R. N. Setiadi³

¹Mahasiswa Jurusan Fisika

²Bidang Instrumentasi dan Fisika Terapan

³Bidang Elektronika dan Mikroprosesor

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Kampus Bina Widya Pekanbaru 28293, Indonesia

rio.roberto86@gmail.com

ABSTRACT

Flat coil inductive sensors based on Eddy currents principle could work without direct mechanical contact on the object, it could work continuously and reactively to the conductive material. This system is easily influenced by external disturbances. Based on inductance value due to changes in magnetic force lines that occurs between the sensor and conductor material (disturbances material). The system could be used as a detection of distance translation. The used sensors in this study was a flat coil made of Printed Circuit Board (PCB) technology with various geometric shapes, such as circle, square, rectangle and octagonal. Distance detection analysis were evaluated using a LC oscillator which was directly connected to a computer that able to transform a massive range measurement into frequencies. Characteristics of distance detection was influenced by geometry of the flat coil sensors with its highest value of frequency of 1.68 MHz for a circular shape, 1.66 MHz for an octagonal shape, 1.52 MHz for an square shape, 1.42 MHz for an rectangular shape, respectively with the minimum distances as far as 5 mm for each shape. The temperature tested as external disturbances caused change in characteristics of the transfer curve based on drift frequency for distance detection analysis based on a mathematical formula.

Keywords : *Flat Coil Sensor, Eddy Current, Oscillator LC*

ABSTRAK

Sensor induktif koil datar yang berdasarkan konsep *Eddy current* bekerja tanpa adanya kontak mekanis secara langsung pada objek mampu bekerja kontinu serta reaktif terhadap material konduktif. Perubahan nilai induktansi akibat garis-garis gaya magnetik yang terjadi antara sensor terhadap material konduktor (material pengganggu) dapat dipergunakan sebagai pendeteksi jarak translasi. Pada penelitian ini sensor yang digunakan berupa koil datar yang dibuat mempergunakan teknologi PCB (*Printed Circuit Board*) dengan memvariasikan bentuk geometri berupa lingkaran, persegi, persegi panjang dan oktagon. Analisa deteksi jarak dievaluasi mempergunakan osilator LC yang dihubungkan ke komputer secara langsung sehingga mampu mengubah besaran jarak menjadi frekuensi. Karakteristik deteksi jarak dipengaruhi oleh

bentuk geometri sensor koil datar dengan nilai tertinggi 1,68 MHz bentuk lingkaran, bentuk oktagon dengan frekuensi 1,66 MHz, persegi pada nilai 1,52 MHz dan sensor bentuk geometri persegi panjang dengan nilai deteksi frekuensi sebesar 1,42 MHz untuk setiap jarak minimum sejauh 5 mm. Pengujian terhadap pemberian gangguan eksternal berupa variasi suhu bertujuan untuk mempelajari perubahan karakteristik kurva transfer *drift* frekuensi pada sistem pendeteksian jarak sehingga dapat dianalisa berdasarkan rumusan matematis.

Kata Kunci : *Sensor koil datar, Arus Eddy, Osilator LC*

PENDAHULUAN

Pada dunia otomatisasi industri dewasa misalnya terdapat kebutuhan yang sangat besar untuk pengukuran dan penentuan posisi *angular* atau *linear* dari suatu objek, yang idealnya dapat dilakukan tanpa adanya kontak mekanis. Pengukuran jarak linear sangat krusial dalam berbagai piranti elektromekanis dan mekatronik yang dipergunakan dalam otomatisasi proses-proses industri (Decker and Kostka, 1989).

Salah satu bidang yang banyak memanfaatkan sensor untuk pengukuran *linear* adalah industriomotif, seperti penggunaan bukaan pedal gas, sistem *actuator turbocharger*, sensor sudut setir mobil, sensor posisi katub, sensor posisi *gear box*, sensor posisi lampu utama mobil dan sebagainya (Bosch, 2007). Aplikasi sensor koil datar sebagai detektor jarak linear atau translasi banyak digunakan pada bidangomotif, otomatisasi industri ataupun penggunaan secara pribadi (Horsky, 2005).

Penelitian sensor koil datar dalam bidang instrumentasi ataupun mikroelektronika diimplementasikan pada pengukuran serta pendeteksian jarak linear ataupun translasi pada ruang gerak yang sangat terbatas. Sensor yang terbuat dari material semikonduktor didekatkan pada suatu bahan konduktor memberikan kontribusi pada perubahan induktansi yang dipengaruhi oleh permeabilitas magnetik, luas penampang serta bentuk geometri.

METODE PENELITIAN

a. Desain Sensor Koil Datar

Sensor koil datar dirancang dan didesain menggunakan aplikasi desain grafis pada software *protel SE99* dengan memperhatikan bentuk geometri serta jumlah lilitan. Sensor induktif berupa koil plat datar yang dikembangkan menggunakan teknologi *Printed Circuit Board (PCB)* mampu mendeteksi jarak translasi yang sangat kecil bahkan kurang dari orde 0,5 mm. Desain sensor koil datar dibedakan berdasarkan bentuk geometri berupa lingkaran, persegi, persegi panjang dan oktagon. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa klasifikasi bentuk dasar geometri sensor dibedakan menjadi ; pola berliku yang saling tegak lurus (*vertical*) ataupun mendatar (*horizontal*), pola segitiga (*triangle*) secara tegak lurus ataupun mendatar, pola geometri spiral kedalam dengan bentuk persegi (*square*), serta lingkaran (*circle*).

b. Karakterisasi menggunakan LCR Meter

Karakterisasi sensor koil datar menggunakan LCR meter GW Instek tipe 815 pada tegangan *peak to peak* 1 Volt serta kemampuan frekuensi antara 0 Hz sampai 2000 Hz. Hasil pengujian bertujuan untuk menentukan sifat-sifat fisis sensor koil datar berupa resistansi R, induktansi L, kapasitansi C, impedansi Z dan faktor kualitas Q sebagai fungsi dari frekuensi alat ukur.

c. Rancangan Sistem Pendeteksian

Bila terdapat suatu material konduktif (objek pengganggu) di dekat medan magnetiknya maka medan akan menginduksi sejumlah kecil arus pusar dalam material. Fluks magnetik yang dihasilkan pada rangkaian membentuk arus sirkulasi yang saling berpengaruh terhadap keberadaan fluks magnetik luar yang dikenal sebagai arus pusar (*Eddy current*).

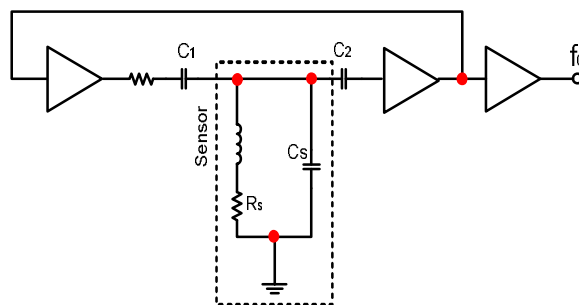
Interaksi antara kedua medan magnetik ini akan berubah jika terdapat jarak antara sensor dengan material pengganggu (*target*). Rangkaian elektronik sensor kemudian mengukur interaksi medan magnetik dan membangkitkan tegangan keluaran yang proporsional dengan perubahan jarak diantara sensor dengan objek. Pada aplikasinya, koil akan mempunyai dua jenis induktansi yang disebabkan arus bolak balik yaitu induktansi diri (*self-inductance*) dan induktansi bersama (*mutual-inductance*) (Lazuardi, 1996).

Induktansi sensor koil datar keseluruhan dapat dihitung secara matematis seperti yang dinyatakan dengan Persamaan 1 berikut (Mitra Djamal, 2011) ;

$$L_{Total} = \sum_{n=1}^N L_s + \sum_{n,m=1}^N M_{s,m} \quad (1)$$

d. Evaluasi Deteksi Jarak menggunakan Osilator LC

Pengujian dan pengukuran dengan mengubah besaran fisis berupa jarak linear menjadi besaran elektris berupa frekuensi menggunakan suatu rangkaian elektronika. Kombinasi rangkaian antara induktor dan kapasitor menjadi mempergunakan IC inverter menjadikan umpan balikan pada tegangan masukan yang dikenal sebagai rangkaian penala (*Tank Circuit*). Osilator yang dirancang untuk menghasilkan GGL (Gaya Gerak Listrik) dengan gelombang berbentuk persegi (*square*) dengan frekuensi > 500 KHz (Traenkler, 1990). Bentuk dasar dari rangkain osilator LC diperlihatkan oleh Gambar 1 berikut ;



Gambar 1. Skema rangkaian osilator LC dengan Op-Amp

Output osilator LC berupa modulasi gelombang sinusoidal yang dirubah menjadi gelombang persegi oleh rangkaian operasional amplifier dengan frekuensi yang dapat dinyatakan oleh persamaan berikut ;

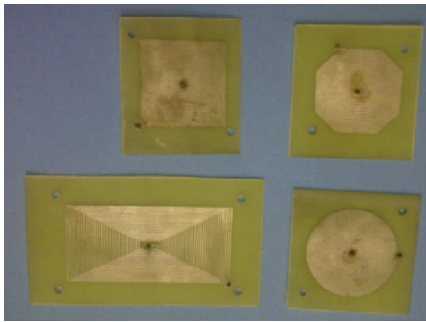
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{Total} C}} \sqrt{1 - R^2 \frac{C}{L_{Total}}} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Desain Sensor Koil Datar

Sensor koil datar yang dipergunakan didesain dengan berbagai bentuk geometri berupa lingkaran, persegi, persegi panjang serta oktagon. Rancangan desain sensor memperhatikan variabel dimensi berupa jumlah lilitan sebanyak 30, 35 dan 40. Variabel yang lain berupa jarak antar jalur (*track*) sebesar 0,25 mm sampai 0,5 mm dengan ukuran lilitan kawat sebesar 0,25 mm.

Realisasi dari rancangan sensor koil datar dikembangkan dengan menggunakan teknologi PCB (*Printed Circuit Board*) dimana material penyusun PCB berupa campuran antara tembaga-perak (*Ag-Cu*) yang diletakkan diatas substrat pertinaks. Sensor yang telah dicetak pada media PCB diperlihatkan Gambar 2 berikut ;



Gambar 2. Sensor koil datar yang dicetak dalam media PCB

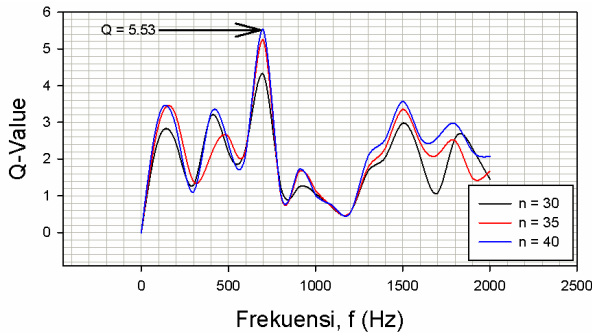
b. Karakterisasi Sensor Koil dengan LCR Meter

Induktor atau koil yang terbentuk oleh lilitan kawat halus diatas media PCB memiliki sifat-sifat fisis yang bergantung pada jumlah lilitan *n*, bentuk geometri serta jarak antar jalur. Karakterisasi menggunakan LCR meter GW Instek tipe 815 memberikan sifat fisis sensor koil datar berupa resistansi *R*, induktansi *L*, kapasitasi *C*, impedansi *Z* serta faktor kualitas *Q* terhadap fungsi frekuensi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1 berikut ;

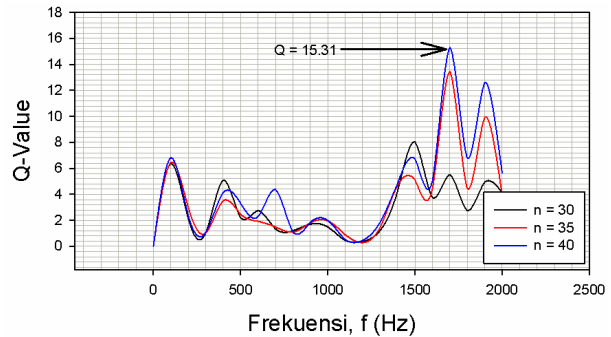
Tabel 1. Karakteristik sifat fisis sensor koil datar.

Bentuk Geometri	Jumlah Lilitan	Resistansi,	Induktansi,	Kapasitansi,	Impedansi,
		R (Ohm)	L (μ H)	C (μ F)	Z (Ohm)
Lingkaran	n = 30	10.07	13.30	71.20	10.073
	n = 35	13.28	20.32	72.40	13.289
	n = 40	16.75	29.02	72.75	16.75
Persegi	n = 30	14.16	16.01	73.50	14.167
	n = 35	16.47	24.19	74.35	16.476
	n = 40	22.53	34.70	75.05	22.534
Persegi Panjang	n = 30	17.71	20.14	75.70	17.717
	n = 35	25.87	36.44	75.15	25.879
	n = 40	33.80	49.17	77.00	33.808
Oktogonal	n = 30	9.99	13.24	76.60	9.994
	n = 35	13.94	20.26	76.95	13.946
	n = 40	19.68	29.28	77.56	19.68

Nilai faktor kualitas (Q -value) seperti Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai faktor kualitas maka semakin besar respon sensitivitas sensor sebagai detektor jarak translasi.



(a)



(b)

Gambar 3. Karakteristik faktor kualitas sensor berbentuk :
(a) Lingkaran dan (b) Persegi panjang

c. Evaluasi Sensor menggunakan Osilator LC

Rangkaian kombinasi antara induktor dan kapasitor membentuk suatu rangkaian pembangkit gelombang yang dikenal dengan osilator LC. Rangkaian ini menggunakan komponen *inverter* dari IC CD4007 dengan umpan balik (*feedback*) pada transistor BF324. Kemudian alur isyarat dilewatkan pada rangkaian penyangga (*buffer*) menggunakan IC 7404, sebagai ADC dari frekuensi dan beda phase detektor menggunakan IC 4046 dengan gandingan *Operasional Amplifier* pada TLC 272. Gambar 4 berikut merupakan rangkaian osilator LC.



Gambar 4. Rangkaian osilator LC dengan inverter dan Op-Amp

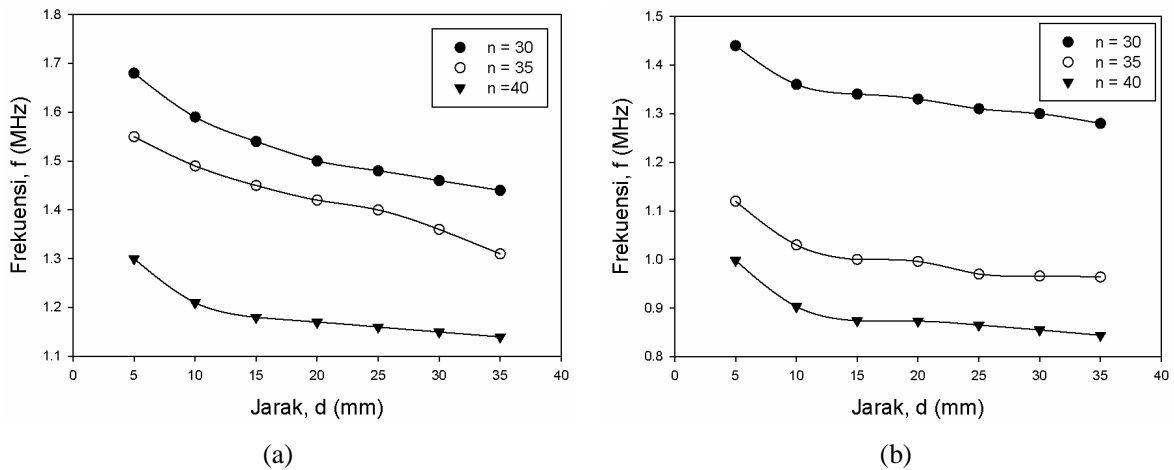
Osilator LC bekerja pada tegangan masukan sebesar + 12 Volt yang dihubungkan pada sensor koil datar sebagai induktor. Hasil dikalibrasi menggunakan osiloskop USB Velleman tipe *pcsgu250* untuk menentukan frekuensi kerja sensor koil induktif tanpa adanya pengaruh gangguan eksternal yang kemudian ditampilkan pada komputer. Berikut merupakan tampilan kalibrasi menggunakan osiloskop USB dengan sinyal kalibrator dari generator fungsi GW Instek tipe *GFG-3015* ;



Gambar 5. Tampilan kalibrasi sensor menggunakan osiloskop USB

d. Deteksi Jarak Linear Sensor Koil Datar

Pengujian deteksi jarak menjelaskan adanya perubahan garis-garis magnetik yang ditimbulkan akibat interaksi antara sensor terhadap material pengganggu berupa material konduktor. Berikut merupakan hasil deteksi jarak linear pada berbagai bentuk geometri berupa lingkaran dan persegi panjang yang diperlihatkan pada Gambar 6 dibawah ini ;

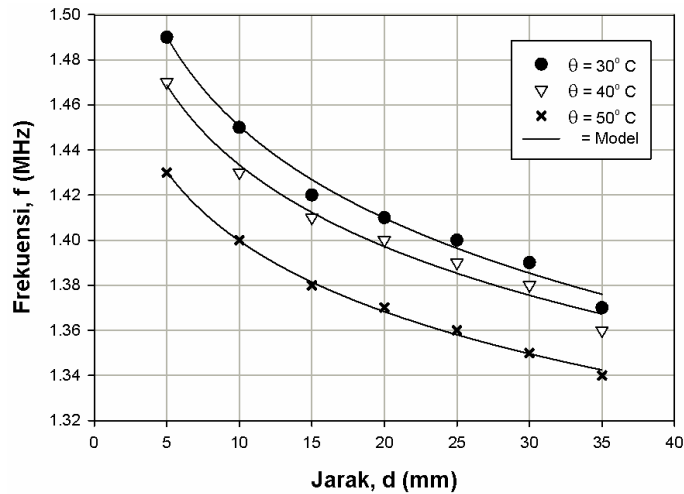


Gambar 6. Hasil deteksi jarak linear pada bentuk geometri berupa :
 (a) Lingkaran dan (b) Persegi panjang

Kurva setiap sensor memperlihatkan penurunan frekuensi terhadap perubahan jarak posisi objek ataupun pertambahan jarak antara sensor dengan material konduktor. Hal ini dijelaskan pada induktansi bersama (*mutual inductance*) sesuai konsep arus pusar (*Eddy current*) pada perubahan jarak d . Jangkauan terjauh deteksi sensor pada jarak ± 35 mm, hal ini telah dijelaskan bahwa kemampuan sensor induktif koil datar efisien dipergunakan sebagai detektor pada jarak yang relatif kecil sehingga mampu mendeteksi objek pada ruang yang sangat terbatas.

e. Hasil Deteksi dengan Pengaruh Suhu

Pengujian sensor dengan pemberian suhu yang berbeda dari suhu normal (ruang) merupakan pengujian terhadap perubahan kurva transfer pada frekuensi keluaran atau *drift frekuensi* (Passeraub, 2000). Perubahan suhu yang diberikan terhadap sensor koil datar sebagai detektor jarak dianalisa menggunakan pendekatan matematis (model) pada frekuensi osilasi keluaran. Pengujian berupa pemberian suhu θ pada sistem detektor ditetapkan dengan nilai 30°C , 40°C dan 50°C yang dipanaskan menggunakan oven. Berikut adalah hasil pengujian sensor dengan pengaruh suhu seperti diperlihatkan pada Gambar 7 berikut ;



Gambar 7. Grafik pengaruh deteksi jarak terhadap kenaikan suhu

Peningkatan suhu yang diberikan menunjukkan adanya penurunan deteksi frekuensi osilasi keluaran sensor yang dikenal dengan *drift* frekuensi, sehingga terjadi penurunan respon ataupun sensitivitas sensor pada suhu θ tertentu. Hasil pengujian tersebut merupakan kalibrasi detektor yang bekerja dibawah pengaruh gangguan luar berupa suhu seperti digambarkan oleh model matematis berikut ;

$$f = \sqrt{a + b \ln(d)}$$

dengan a dan b merupakan konstanta suhu tertentu, f adalah frekuensi osilasi dan d merupakan jarak yang dideteksi oleh sensor induktif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pengembangan sensor koil datar dengan desain berbentuk geometri berupa lingkaran, persegi, persegi panjang dan oktagon dilakukan menggunakan teknologi PCB (*Printed Circuit Board*) dengan variasi dimensi berupa jumlah lilitan n, jarak antar jalur (*track*) h telah berhasil dilakukan.

Hasil karakterisasi sensor menggunakan LCR meter memberikan hasil sifat-sifat fisis sensor berupa resistansi R, induktansi L, kapasitansi C, impedansi Z serta faktor kualitas (*Q-value*) terhadap frekuensi.

Analisa sensor menggunakan osilator LC dengan konsep umpan balik pada komponen inverter dari IC CD4007 dan rangkaian penala (*tank circuit*) dengan mengkombinasikan antara kapasitor dan sensor koil datar sebagai induktor. Frekuensi osilasi kerja sensor koil datar pada nilai 1,3 MHz \pm 100 Hz yang ditampilkan melalui osiloskop USB. Pengujian deteksi jarak pada sensor koil datar relatif kecil dengan deteksi maksimum \pm 35 mm sehingga cocok digunakan untuk pendeteksian pada ruang yang sangat terbatas. Hasil deteksi sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri serta jumlah lilitan n, frekuensi deteksi tertinggi secara berurutan ditunjukkan oleh sensor berbentuk ; lingkaran sebesar 1,68 MHz, oktagon 1,66 MHz, persegi 1,52 MHz dan persegi panjang 1,42 MHz untuk deteksi jarak 5 mm pada masing masing detektor.

Perubahan kualitas pengukuran dan deteksi jarak translasi membuktikan adanya *drift* frekuensi pada keluaran sensor yang digunakan sebagai kalibrator fungsi koreksi suhu terhadap perubahan kurva transfer antara frekuensi f dan jarak d yang dinyatakan persamaan

$$f = \sqrt{a + b \ln (d)}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Artilan Philippe, 2008. *Design, modelization and realization of integrated inductive components for low power supplies and microsystems*, Doctorat de l'université de toulouse These, Toulouse
- Bosch, 2007. *Sensors – the vehicle's "Sensory System*, Technical Information, Bosch GmbH, Germany.
- Djamil, Mitra dan Ishaludin. 2011. *Pengembangan Sensor Getaran Satu Dimensi Koil Datar*. SNIPS 2011. ISBN : 81-82. Bandung.
- Decker, W. and Kostka, P., 1989. *Inductive and Eddy Curren Sensors*. In: Gopel, W., Hesse, J. and Zemel, J. N. (Eds.), *Sensors: A Comprehensive Survey*, Vol. 5, Chapter 7. VCH, Weinheim, pp. 300–304.
- Horsky, P. 2005. *LC Oscillator Driver for Safety Critical Applications*. Proc. of DATE 05 Conference, Designers Forum, Munich, Germany, pp 34-38.
- Lazuardi, 1996. *Studi Awal Sensor Getaran Berdasarkan Prinsip Induktif*, Thesis S2, Jurusan Fisika FMIPA ITB Bandung.
- Mison Norhisam, 2011. *Effect of Inductive Coil Shape on Sensing Performance Oflinear Displacement Sensor Using Thin Inductive Coil and Pattern Guide*. Journal Sensor. Universiti Putra Malaysia, Serdang, Malaysia
- Passeraub, Ph. A., Besse, P. A. dan Popovic, R. S., 2000. *Temperature compensation of an integrated low power inductive proximity microdetector*. *Sensors and Actuators A*, 82, 62–68.
- Traenkler, H.-R., 1990. *Taschenbuch der Messtechnik mit Schwerpunkt Sensortechnik*, 2., Auflage, Oldenbourg Verlag, Muenchen.