

DESAIN DAN KARAKTERISAI LVDT SEBAGAI SENSOR JARAK

Djaman¹, Soleman Sesa², Ari Permana L³, Marcus F Pessireron⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro – Politeknik Negeri Ambon

¹djaman@gmail.com, ²leman.sesa@gmail.com,

³ai.mana@ymail.com, ⁴pessireronmax@gmail.com

ABSTRACT - A linear variable differential transformer (LVDT) was fabricated and characterized as a distance sensor. The sensor was constructed with a primary-side wire diameter of 0.15 mm and a secondary-side wire diameter of 0.50 mm, with a coil diameter of 6 mm and iron core lengths varying between 8 cm and 30 cm. The primary side of the LVDT has 230 turns, while the secondary side has 400 turns. Characterization included hysteresis, repeatability, sensitivity, and the measurement range of the sensor. This is done by observing changes in the output voltage generated in the secondary coil due to changes in the distance between the iron core and the reference point. This LVDT can be used to detect changes in the distance of an object in a linear direction (along the coil axis). The coefficient of linear correlation (R^2) varies from 0.9936 to 0.9961 for the same coil diameter; LVDTs with longer iron cores have higher sensitivity and a wider measurement range compared to LVDTs with shorter iron cores. LVDTs with larger coil diameters will be more sensitive when using a longer iron core. The measurement range is 0–80 mm. The hysteresis and repeatability of LVDT sensors using a 30-cm-long iron core are better than those using an 8-cm-long iron core.

Keywords: LVDT, characterization, distance

ABSTRAK - Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi LVDT (linear variable differential transformer) sebagai sensor jarak. Sensor dibuat dengan diameter kawat pada sisi primer 0,15 mm dan pada sisi sekunder dengan ukuran 0,50mm, dengan diameter kumparan adalah 6 mm panjang inti besi, bervariasi yaitu 8 cm dan 30 cm. yang jumlah lilitan LVDT sisi primernya 230 lilitan, jumlah masing-masing lilitan sisi sekundernya 400 lilitan. Karakterisasi meliputi hysteresis, repeatability, sensitivitas, dan rentang pengukuran yang dapat dilakukan sensor. Caranya adalah dengan melihat perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan pada kumparan sekunder akibat perubahan jarak inti besi terhadap titik acuan. LVDT ini dapat digunakan untuk mengiddera perubahan jarak suatu obyek dalam arah linier (searah sumbu kumparan). Derajat korelasi linier (R^2) yang bervariasi dari 0,9936 hingga 0,9961 pada diameter kumparan yang sama, LVDT dengan inti besi yang lebih panjang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dan lebar rentang pengukuran yang lebih panjang dibandingkan dengan LVDT dengan inti besi yang lebih pendek. LVDT dengan diameter kumparan yang lebih besar akan lebih sensitif jika menggunakan inti besi yang lebih panjang. Rentang pengukurannya adalah 0 - 80 mm. Hysteresis dan repeatability sensor LVDT yang menggunakan inti besi dengan panjang 30 cm lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan inti besi 8 cm.

Kata kunci: LVDT, karakterisasi, jarak

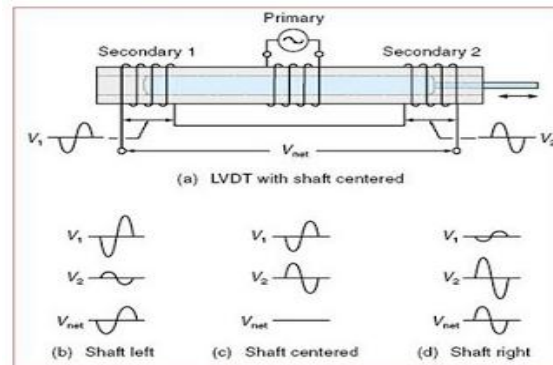
I. PENDAHULUAN

LVDT (*linear variable differential transformer*) adalah transformator (trafo) dengan inti yang digerakkan secara mekanik. Piranti ini terdiri dari sebuah kumparan primer dan dua kumparan sekunder yang saling terhubung satu sama lain dengan fasa berlawanan (Gambar 1.1). Sinyal yang dicatu ke kumparan primer adalah sinyal AC (arus bolak-balik) dalam bentuk gelombang sinus dengan amplitudo stabil. Arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan LVDT.

II. TINJAUAN PUSTAKA

LVDT (*linear variable differential transformer*) adalah transformator (trafo) dengan inti yang digerakkan secara mekanik. Piranti ini terdiri dari sebuah kumparan primer dan dua kumparan sekunder yang saling terhubung satu sama lain dengan fasa berlawanan (Gambar 1). Sinyal yang dicatu ke kumparan primer haruslah adalah sinyal AC (arus bolak-balik) dalam bentuk gelombang sinus dengan amplitudo stabil. Arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan primer menyebabkan terjadinya perubahan medan magnetik ($\mathbf{dB}$) di sekitar kumparan tersebut. Akibat perubahan medan magnetik ini, fluks magnetik ($\Phi\mathbf{B}$) yang diterima kumparan sekunder juga berubah-ubah terhadap waktu. Keadaan inilah yang menyebabkan munculnya gaya gerak listrik induksi (ϵ) pada kumparan sekunder [1] yang ditunjukkan ditunjukkan oleh persamaan 1.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi B}{dt} \dots \dots \dots [1]$$



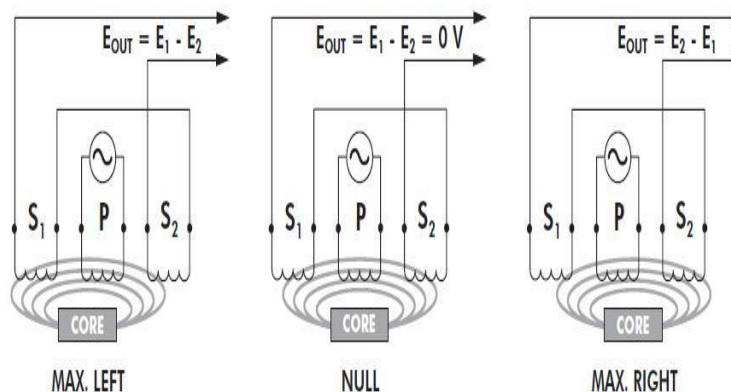
Gambar 1. Skematik susunan kumparan pada LVDT

Dari gambar diatas dapat dijelaskan bahwa;

- Inti berada di tengah-tengah maka : Flux S1 = S2
- Tegangan induksi $E_1 = E_2$: $E_{netto} = 0$
- Inti bergerak ke arah S1 maka : Flux S1 > S2
- tegangan induksi $E_1 > E_2$: $E_{netto} = E_1 - E_2$
- Inti bergerak ke arah S2 maka : Flux S1 < S2
- Tegangan induksi $E_1 < E_2$: $E_{netto} = E_2 - E_1$

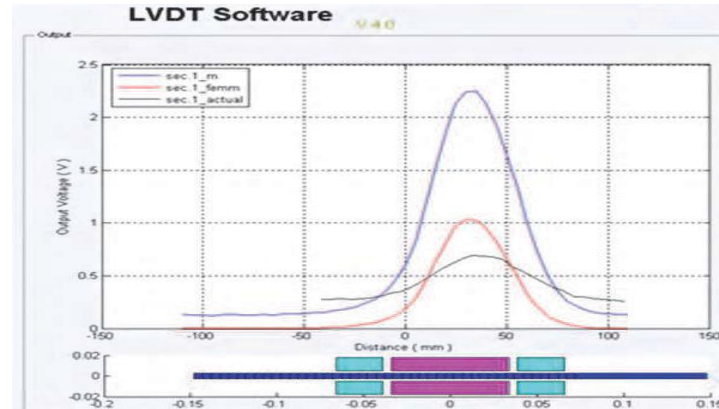
Gaya gerak listrik induksi yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah dengan berubahnya posisi inti (*core*) di dalam trafo. Inti yang terbuat dari material ferromagnetik ini disisipkan di dalam selongsong isolator berbentuk silindris terbuka (tempat di mana kawat kumparan dililitkan) dalam arah sumbu dengan sumbu selongsong dan tanpa menyentuh kumparan secara fisik. Ketika inti ini diposisikan di pusat magnetik trafo, sinyal-sinyal keluaran kumparan sekundernya saling meniadakan sehingga tegangan keluaran kumparan sekunder menjadi nol.

Ketika inti digerakkan dalam arah sumbu dengan sumbu selongsong dan menjauh dari posisi pusat magnetik tersebut, nisbah fluks magnetik induksi antara kedua kumparan sekunder menjadi tak-setimbang sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang besarnya sama dengan selisih tegangan keluaran dari masing-masing kumparan sekunder (Gambar 2). Oleh karena amplitudo tegangan induksi yang dihasilkan LVDT sebanding dengan perpindahan inti dalam daerah kerja liniernya, maka tegangan ini dapat digunakan sebagai suatu ukuran perpindahan, dengan arah perpindahan ditentukan oleh sudut fasa antara tegangan kumparan primer (acuan) dan tegangan kumparan sekundernya



Gambar 2 Diagram pengaruh posisi inti terhadap tegangan keluaran sensor LVDT [2]

Apabila LVDT hendak diterapkan untuk mengukur gerak yang berubah cepat (*transient motions*) secara akurat, maka frekuensi osilatornya minimal haruslah 10 kali lebih besar daripada frekuensi tertinggi gerak tersebut. Untuk proses yang berubah dengan lambat, osilator bisa diganti dengan sumber gaya gerak listrik dari jala-jala PLN yang frekuensinya 60 Hz atau 50 Hz[3]. Bentuk hubungan antara jarak dan tegangan keluaran LVDT terhadap posisi inti besi dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Bentuk tampilan tegangan keluaran LVDT terhadap jarak.

Sensor LVDT biasanya digunakan untuk mengukur perpindahan dengan rentang jarak yang relatif kecil (dalam orde millimeter). Untuk mengukur perpindahan dengan jarak yang relatif besar biasanya digunakan potensiometer sebagai sensor, sedangkan sensor kapasitif lebih cocok digunakan untuk pembuatan sensor *proximity* dan perpindahan yang sangat sensitif. Sensor ini dapat digunakan untuk mengontrol frekuensi rangkaian resonansi dan mengonversi perubahan kapasitifnya menjadi sinyal listrik.[4].

Ada beragam ukuran sensor LVDT yang tersedia di pasaran. Oleh karena harganya yang relatif mahal sehingga, sensor ini seringkali dirancang dan dibuat sendiri oleh pengguna sesuai kebutuhannya. Beberapa penelitian lainnya dilakukan dalam bentuk penerapan LVDT untuk mengukur koefisien muai panjang logam dan memantau level volume air dalam tangki pendam.

Dalam penulisan ini dibahas tentang pembuatan sensor LVDT dan karakteristiknya, yang terdiri dari, *hysteresis*, *repeatability*, sensitivitas, dan rentang *pengukuran jarak* yang dapat dilakukan menggunakan sensor tersebut.

III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah meliputi rancang - bangun fisik sensor LVDT, karakterisasi, dan pengujiannya sebagai sensor jarak.

3.1. Pembuatan Sensor LVDT

Sensor LVDT dibuat secara *hand-made* dengan menentukan jumlah lilitan kumparan, diameter kumparan, dan variasi panjang inti besi. Tujuannya adalah untuk mengetahui variabel fisik sensor tersebut terhadap *hysteresis*, *repeatability*, *sensitivitas*, dan *rentang jarak* yang dapat diindra sensor. Variasi ukurannya dicantumkan pada Tabel 1

Tabel 1.
Variasi panjang inti besi yang digunakan dan banyaknya lilitan.

VARIABEL	LVDT
Jumlah Lilitan Primer	230 Lilit
Jumlah Lilitan Sekunder 1	400 Lilit
Jumlah Lilitan Sekunder 2	400 Lilit
Panjang Inti Besi	8 Cm Dan 30 Cm

Kumparan pada LVDT dibuat dari kawat berdiameter 0,15 mm pada sisi primer dan 0,50 mm pada sisi sekunder yang dililitkan pada lembaran mika dibuat berbentuk silinder. Kumparan primer LVDT dihubungkan ke catu daya 6.4 V AC yang berasal dari keluaran trafo *step-down* 1 A dimana kumparan primernya dihubungkan langsung ke jala-jala listrik PLN 220V/50 Hz. Terminal keluaran LVDT dihubungkan ke voltmeter untuk mengukur tegangan

yang dihasilkan sensor tersebut ketika intinya ditempatkan pada suatu posisi di dalam kumparan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Ukuran fisik sensor LVDT

Jumlah lilitan primer 230 lilitan 400 lilitan.

Diameter kumparan 0,5 cm, Panjang inti magnet yang digunakan 30 cm

3.2 Karakterisasi Sensor LVDT

Karakterisasi yang dilakukan terhadap LVDT sebagai sensor jarak dalam penelitian ini meliputi pengamatan bentuk sinyal tegangan keluarannya pada osiloskop, pengukuran tegangan kumparan sekunder 1 dan kumparan sekunder 2, serta pengukuran resultan tegangan keluaran LVDT itu sendiri (yaitu selisih tegangan keluaran kedua kumparan keduanya).

Dengan persamaan.

$V_{out} = E_1 - E_2$, bila medan magnet berada pada arah kiri

$V_{out} = E_2 - E_1$, bila medan magnet berada pada arah kanan.

$V_{out} = E_1 - E_1 = 0$, bila medan magnet berada pada tengah-tengah.

3.2.1. Hysteresis

Hysteresis pada LVDT diperoleh dengan melakukan pengukuran tegangan keluaran pada masing-masing kumparan sekunder secara berulang.

Untuk kumparan sekunder 1, variasi jarak dimulai dari pusat magnetik LVDT (yaitu posisi inti yang menghasilkan tegangan keluaran nol) kemudian digeser ke kanan (menghasilkan tegangan keluaran yang tidak nol) sampai di posisi ujung kumparan sekunder 1 yang juga menghasilkan tegangan keluaran nol kembali. Perulangan pengukuran dimulai dari arah berlawanan, yaitu dari posisi terakhir tersebut hingga kembali di pusat magnetik LVDT. Proses yang serupa juga dilakukan untuk kumparan sekunder 2 (lihat Gambar 1.1), hanya saja arah pergeseran inti adalah dari pusat magnetik LVDT ke kiri, kemudian ke kanan dan kembali (kembali ke pusat magnetik LVDT).

3.2.2. Repeatabilit

Untuk melihat kemampuan pengulangan (*repeatability*) sensor LVDT dalam mengindera jarak atau posisi obyek dalam arah linier maka dilakukan pengukuran berulang terhadap tegangan keluaran pada masing-masing kumparan sekunder, dengan cara yang hampir sama seperti pada prosedur penentuan hysteresis. Bedanya, perulangan pengukuran dimulai dari arah yang sama, yaitu dari pusat magnetik LVDT.

3.2.3. Sensitivitas

Sensitivitas sensor LVDT pada penelitian ini ditentukan dari fungsi transfer kurva tegangan keluaran terhadap jarak. Oleh karena sensor LVDT ini akan digunakan sebagai sensor jarak dalam arah linier, maka fungsi transfer tersebut diambil dari data grafik sisi yang paling linier dari kurva tersebut. Dengan menggunakan perangkat lunak Excel, maka fungsi transfer dan sensitivitas sensor dapat ditentukan. Selain itu, linieritas persamaan garis lurus juga dapat dilihat berdasarkan derajat korelasi linier (R^2).

3.2.4. Rentang Pengukuran Jarak

Rentang pengukuran yang dapat digunakan untuk pengukuran jarak dengan menggunakan LVDT adalah rentang jarak di mana kurva tegangan keluarannya linier.

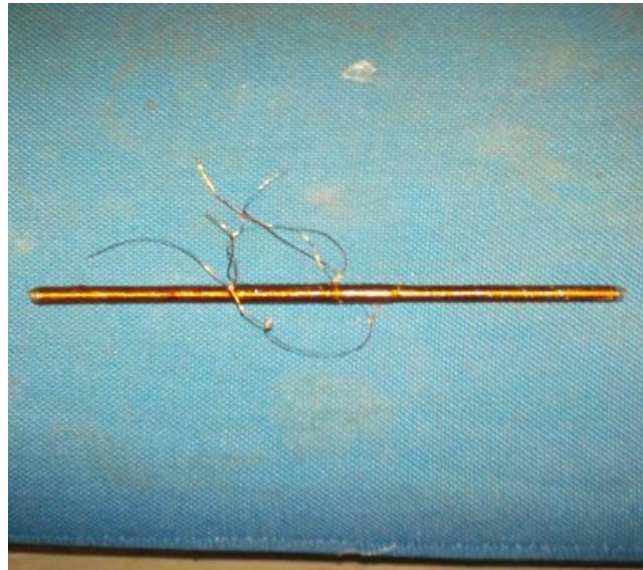
Dengan mengamati kurva dan data pengukuran dari hubungan tegangan keluaran terhadap jarak maka rentang pengukuran ini dapat ditentukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Realisasi Pembuatan Sensor LVDT ditunjukkan pada Gambar 4. Sensor ini terdiri dari sebuah kumparan primer

224 lilitan dan dua buah kumparan sekunder (masing-masing terdiri dari 400 lilitan).



Gambar 4. Realisasi pembuatan sensor LVDT



Gambar 5. batang inti magnet

Diameter kumparan pada gambar tersebut adalah 0,6 Cm dengan diameter kawat pada kumparan primer adalah 0,15 mm dan diameter kawat untuk kumparan sekunder adalah 0,50 mm. Inti besi yang digunakan terbuat dari bahan feromagnetik dengan diameter 0,4 cm. Ada dua variasi panjang inti besi yang digunakan, yaitu 8 cm dan 30 cm.

Data hasil pengukuran pada LVDT dengan variasi inti magnet 8cm dan 30cm ditunjukkan pada tabel 2 dan tabel 3 berikut ini.

Tabel 2.
Tegangan keluaran dengan inti magnet 8 Cm

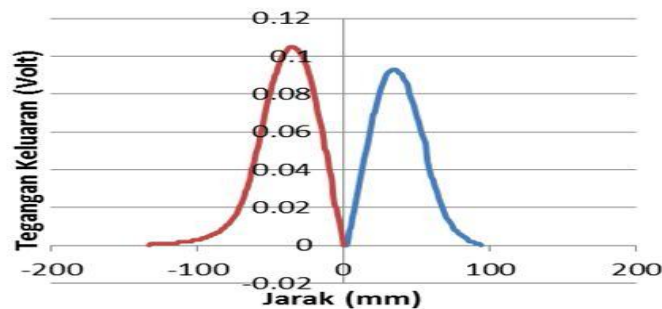
Jarak	Tegangan Output
1	0.02
2	0.04
3	0.06
4	0.08
5	0.1

Tabel 3.
Tegangan keluaran dengan inti magnet 30 Cm

Jarak	Tegangan output
1	0.2
2	0.4
3	0.6
4	0.8
5	1

4.1. Bentuk Sinyal Pada Masing-Masing Kumparan Sekunder

Gambar 6. memperlihatkan bahwa apabila inti magnet yang digunakan lebih pendek dari panjang keseluruhan kumparan (yaitu 30 cm), maka tegangan keluaran maksimum di kumparan sekunder 1 lebih rendah daripada di kumparan sekunder 2. Hal ini disebabkan karena masih adanya pengaruh induksi medan magnetik dari kumparan sekunder 1 ketika inti magnet sudah berada di kumparan sekunder 2.



Gambar 6. Inti magnet kumparan.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pembuatan sensor LVDT berhasil dilakukan dengan spesifikasi lilitan primer 230 dan sekunder 400, menghasilkan tingkat linieritas tinggi (R^2 0,9936–0,9961) pada rentang pengukuran 0–80 mm. LVDT dengan inti besi 30 cm menunjukkan kinerja superior—termasuk sensitivitas, *hysteresis*, dan *repeatability*—dibandingkan varian 8 cm.

5.2 Saran

1. Mengganti inti besi standar dengan material ferromagnetik tingkat tinggi seperti *ferrite*, *permalloy*, atau *mu-metal* untuk meningkatkan permeabilitas magnetik dan meminimalkan rugi-rugi arus eddy (*eddy current losses*).
2. Menguji berbagai jenis material untuk selongsong kumparan (tempat melilitkan kawat), seperti beralih dari plastik biasa ke material teflon (PTFE) atau keramik guna memastikan stabilitas termal dan koefisien gesek inti besi yang lebih rendah.
3. Menggunakan kawat tembaga dengan lapisan isolasi (*enamel*) yang lebih tebal dan tahan panas (kelas H atau C) untuk mencegah terjadinya kebocoran arus atau korsleting mikro antar-lilitan yang dapat merusak kestabilan induksi.
4. Melakukan pengujian performa LVDT pada variasi suhu ekstrim untuk menganalisis sejauh mana ekspansi termal (pemuaian) pada material inti dan kumparan memengaruhi nilai *hysteresis* dan *repeatability* sensor.
5. Menerapkan metode pelapisan (*coating*) khusus seperti *chrome plating* atau lapisan anti-karat tipis pada inti besi guna menjaga kualitas permukaan material agar tingkat keausan mekanis akibat gesekan tetap rendah dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bahri S., Muhdarina dan Fitra A., 2010, *Lempung Alam Termodifikasi Sebagai Adsorben Larutan Anorganik: Keseimbangan Adsorpsi Lempung Terhadap Ion Cu²⁺*. Jurnal Sain dan Teknologi, 9(1), pp. 9-13
- [2]. Kezunovic M., Latisko G dan Ren Z., 1998, *Automatic Analysis of Circuit Breaker*, in 17th International Conference on Electric Distribution, Barcelona
- [3] Ong C., 1998, *Dynamic Simulation of Electric Machinery*, 2nd ed. Prentice Hall, New Jersey
- [4]. Raharjo B., 2008, Pola Akses Internet Yang Bursty. [Online] Available at: <http://raharjo.wordpress.com/2011/04/04/pola-akses-internet-yang-bursty/> [Accessed 3 March 2011]