

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI LVDT SEBAGAI SENSOR JARAK

Zasvia Hendri, Wildian

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163
e-mail: hendri_0810441001@yahoo.co.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi LVDT (*linear variable differential transformer*) sebagai sensor jarak. Sensor dibuat sebanyak tiga buah dengan memvariasikan diameter kumparan, panjang inti besi, dan jumlah 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 mengidera perubahan jarak suatu obyek dalam arah linier (searah sumbu kumparan). Derajat korelasi linier (R^2) yang bervariasi dari 0,983 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 pendek; sedangkan LVDT dengan diameter kumparan yang lebih kecil akan lebih sensitif jika menggunakan inti besi yang lebih panjang. Sensitivitas terbesar yang diperoleh pada penelitian ini adalah 0,01609 V/mm untuk LVDT yang jumlah lilitan primernya 224 lilitan, jumlah masing-masing lilitan sekundernya 380 lilitan, diameter kumparannya 1,7 cm, dan panjang inti besinya 30 cm, dengan rentang pengukuran 0 - 90 mm. *Hysteresis* dan *repeatability* sensor LVDT yang menggunakan inti besi dengan panjang 30 cm lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan inti besi 6,7 cm.

Kata kunci: LVDT, karakterisasi, jarak

ABSTRACT

A research concerning the designing and characterization of LVDT sensors (*linear variable differential transformer*) to measure the distance has been done. The LVDT sensors was made in 3 units which have variation in coil's diameter, core's length, and sum of coils. The characterizations include of the *hysteresis*, the *repeatability*, the *sensitivity*, and the *measurement range* of the sensors. The way is by looking at the change in output voltage generated in the secondary coil due to the changes of the iron core position to the reference point. LVDT can be used to sense the displacement of an object in a linear direction (the direction of the coil axis). The degree of linear correlation (R^2) ranging from 0.983 to 0.9961, for the similar coil diameter, LVDT with a longer iron core has a higher sensitivity and more wide measurement range than the LVDT with a shorter iron core. LVDT with a larger diameter coil will be more sensitive when using a shorter iron core, while the LVDT with a smaller diameter coil will be more sensitive when using a longer iron core. Greatest sensitivity obtained from this research is 0.01609 V/mm for LVDT that consist of 224 windings on the primary coil, the amount of each secondary coil = 380 windings, the diameter of coil = 1.7 cm, and the length of iron core = 30 cm, obtained that the measurement length = 0-90 mm. *Hysteresis* and *repeatability* LVDT sensor that using an iron core with a length of 30 cm is better than using an iron core 6.7 cm.

Keywords: LVDT, characterization, distance

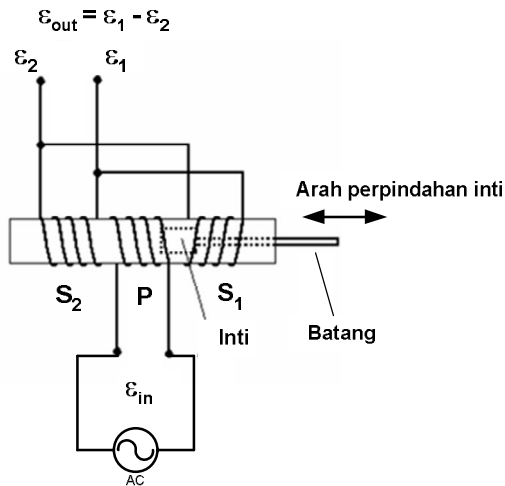
I. PENDAHULUAN

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).

Sinyal yang dicatu ke kumparan primer haruslah 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 (Φ_B) yang diterima kumparan sekunder juga berubah-ubah terhadap waktu. Keadaan inilah yang menyebabkan munculnya

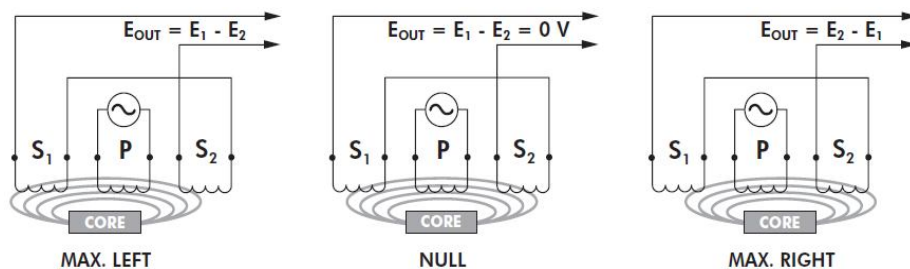
gaya gerak listrik induksi (ε) pada kumparan sekunder (Tipler, 2001), ditunjukkan oleh persamaan 1.

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (1)$$



Gambar 1 Skematik susunan kumparan pada LVDT

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.

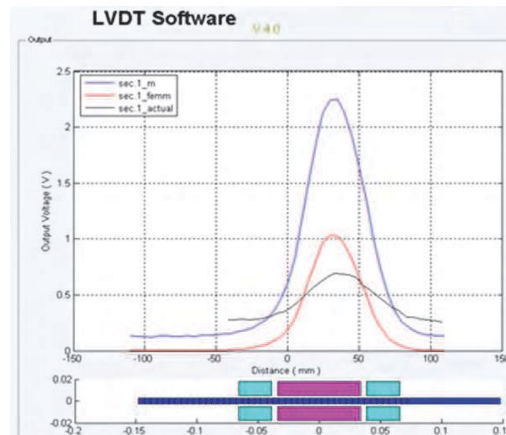


Gambar 2 Diagram pengaruh posisi inti terhadap tegangan keluaran sensor LVDT (Sumber: Macrosensor, 2003)

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 (Fraden, 2004).

Untuk memprediksi bentuk hubungan antara jarak dan tegangan keluaran LVDT, Al-Sharif, dkk. (2011) telah mengembangkan suatu *graphical user interface* (GUI) yang tersedia pada perangkat-lunak MATLAB. Dengan perangkat-lunak ini GUI dapat membangkitkan kurva tegangan keluaran yang di-plot terhadap posisi batang/inti, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Bentuk tampilan tegangan keluaran LVDT terhadap jarak yang disimulasikan menggunakan GUI MATLAB. (Sumber: Al-Sharif, dkk., 2011)

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 (Buchla dan McLachlan, 1992).

Ada beragam ukuran sensor LVDT yang tersedia di pasaran. Oleh karena harganya yang relatif mahal, sensor ini seringkali dirancang dan dibangun sendiri oleh pengguna sesuai kebutuhannya. Henky (2004) telah membuat LVDT dan menggunakan osiloskop sebagai media penampil sinyal keluaran. Beberapa penelitian lainnya dilakukan dalam bentuk penerapan LVDT untuk mengukur koefisien muai panjang logam (Fitriani, 2012) dan memantau level volume bensin dalam tangki pendam SPBU (Donny, 2007).

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

II. METODE

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

2.1 Metode Pembuatan Sensor LVDT

Sensor LVDT dibuat secara *hand-made* sebanyak tiga buah dengan memvariasikan jumlah lilitan kumparan, diameter kumparan, dan panjang inti besi. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh ketiga variabel fisik sensor itu terhadap *hysteresis*, *repeatability*, sensitivitas, dan rentang jarak yang dapat diindera sensor. Variasi ukurannya dicantumkan pada Tabel 1.

Kumparan pada masing-masing LVDT dibuat dari kawat berdiameter 0,3 mm yang dililitkan pada pipa PVC berbentuk silinder. Kumparan primer LVDT dihubungkan ke catu daya 6,4 V ac yang berasal dari keluaran trafo *step-down* 3 A yang kumparan primernya dihubungkan ke jala-jala listrik PLN 220V/60 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.

Tabel 1 Variasi ukuran fisik ketiga sensor LVDT

Variabel	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3
Jumlah lilitan primer	224 lilitan	224 lilitan	133 lilitan
Jumlah lilitan sekunder-1	380 lilitan	380 lilitan	213 lilitan
Jumlah lilitan sekunder-2	380 lilitan	380 lilitan	213 lilitan
Diameter kumparan	2,2 cm	1,7 cm	1,7 cm
Panjang inti besi yang digunakan	6,7 cm dan 30 cm	6,7 cm dan 30 cm	6,7 cm dan 30 cm

2.2 Metode 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 sekundernya).

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) lalu 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), hanya saja arah pergeseran inti adalah dari pusat magnetik LVDT ke kiri, lalu ke kanan (kembali ke pusat magnetik LVDT).

Repeatability

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.

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).

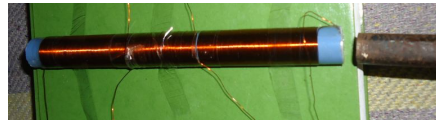
Rentang Pengukuran Jarak

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.

III. HASIL DAN DISKUSI

Realisasi Pembuatan Sensor LVDT

Salah satu dari ketiga sensor LVDT yang telah direalisasikan pembuatannya itu ditunjukkan pada Gambar 4. Sensor ini terdiri dari sebuah kumparan primer 133 lilitan dan dua buah kumparan sekunder (masing-masing terdiri dari 213 lilitan).

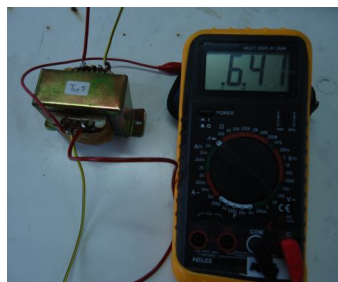


Gambar 4 Realisasi pembuatan sensor LVDT.

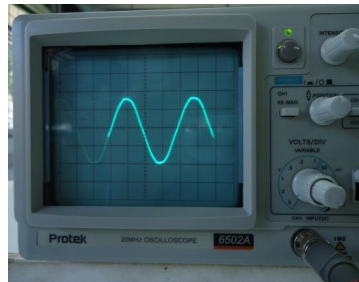
Diameter kumparan pada gambar tersebut adalah 1,7 cm dan diameter kawatnya 0,3 mm. Inti besi yang digunakan terbuat dari bahan feromagnetik dengan diameter 1,4 cm. Ada dua variasi panjang inti besi yang digunakan, yaitu 6,7 cm dan 30 cm.

Realisasi Sumber Sinyal Ac Yang Digunakan

Sumber sinyal ac yang digunakan untuk kumparan primer LVDT yang dirancang adalah trafo 3A dengan tegangan keluaran 6,4 V. Besar tegangan keluaran trafo yang diukur dengan multimeter digital, dan bentuk sinyalnya yang diamati menggunakan osiloskop dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)

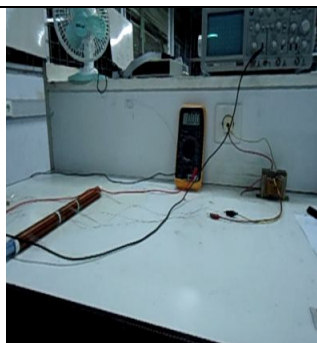


(b)

Gambar 5 Hasil pengukuran tegangan keluaran trafo untuk catu daya ac menggunakan multimeter digital, dan (b) osiloskop

Bentuk Sinyal Keluaran Sensor LVDT

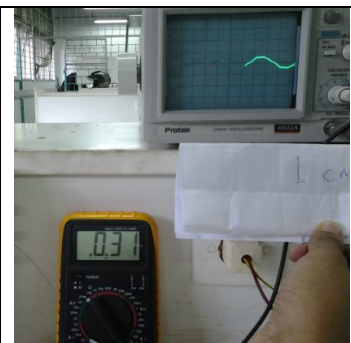
Bentuk dan besar sinyal keluaran LVDT berubah dengan berubahnya jarak inti besi di dalam kumparan. LVDT 1 diubah-ubah gerakan melalui kumparan sekunder 1 dan kemudian ke kumparan sekunder 2, maka sinyal tegangan keluarannya teramati di osiloskop seperti pada Gambar 6.



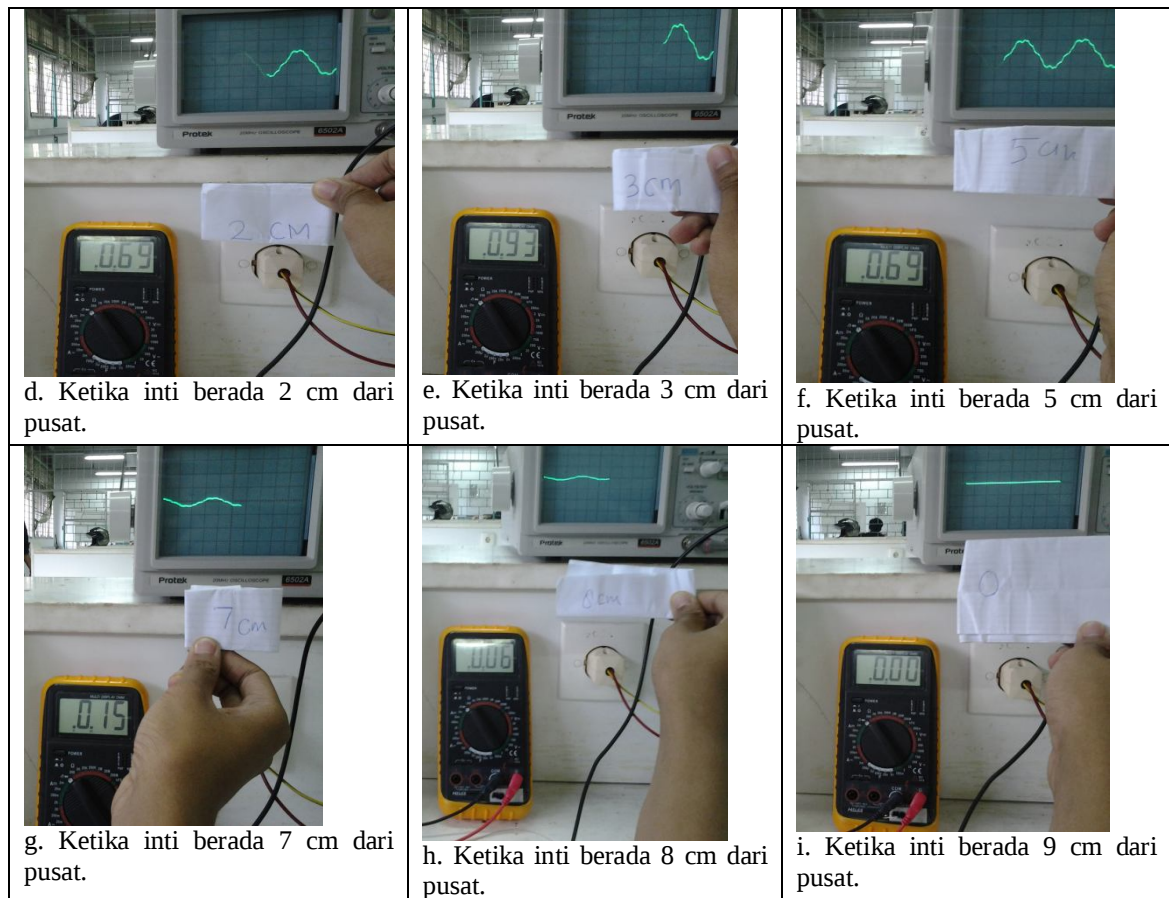
a. Ketika trafo 6,4 V belum terhubung ke jala-jala PLN.



b. Ketika inti berada di pusat magnetik LVDT (di kumparan primer).



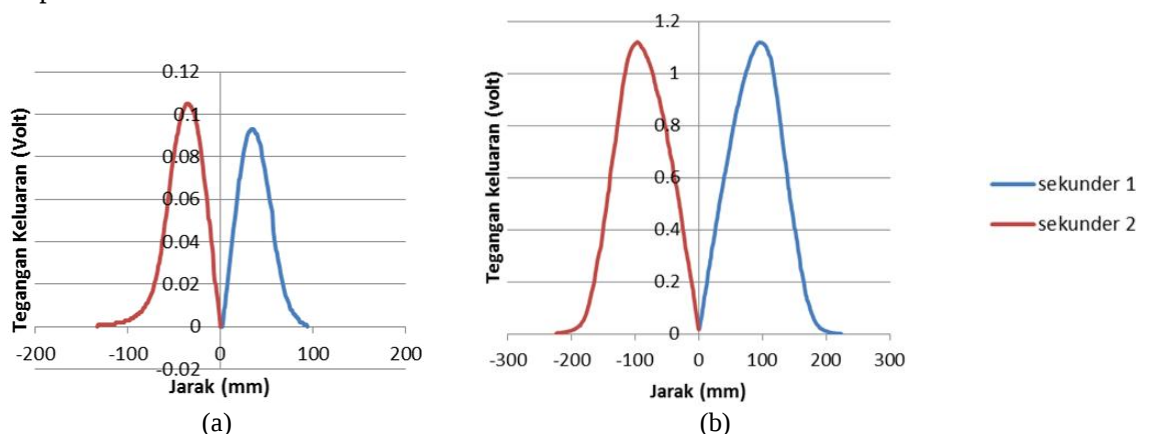
c. Ketika inti berada 1 cm dari pusat.



Gambar 6 Perubahan bentuk dan besar sinyal keluaran LVDT dengan berubahnya jarak inti.

Bentuk Sinyal Pada Masing-Masing Kumparan Sekunder

Gambar 7 memperlihatkan bahwa apabila inti besi 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 sudah berada di kumparan sekunder 2.



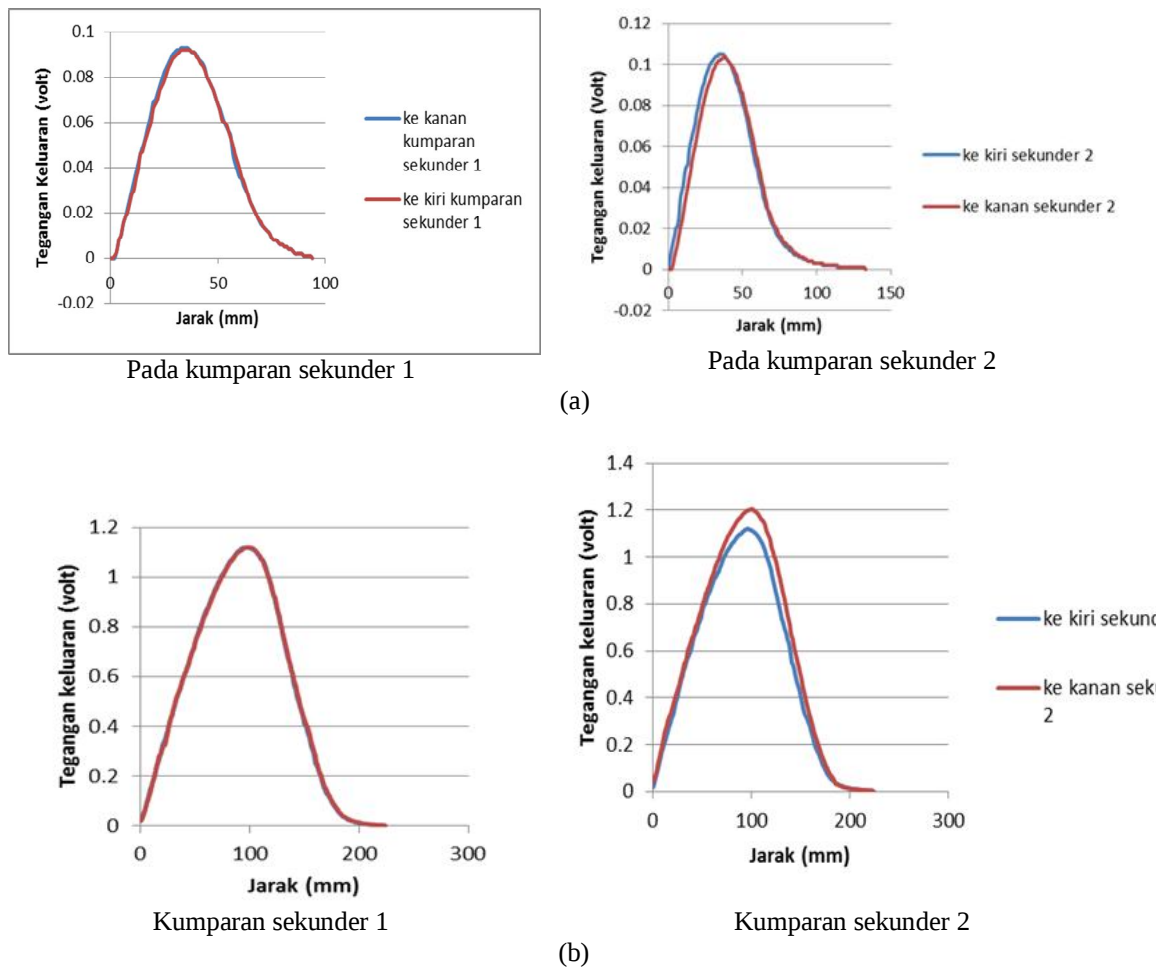
Gambar 7 Kurva tegangan keluaran sensor LVDT 1 terhadap jarak bila menggunakan inti dengan panjang (a) 6,7 cm, dan (b) 30 cm.

Ketika inti besi yang digunakan sama panjangnya dengan panjang keseluruhan kumparan (yaitu 30 cm), maka tegangan keluaran maksimum di kumparan sekunder 1 sama besar dengan di kumparan sekunder 2. Hal ini disebabkan karena pengaruh/induksi medan

magnetik dari kumparan sekunder 1 terhadap kumparan sekunder 2 sama besar dengan pengaruh/induksi medan magnetik dari kumparan sekunder 2 terhadap kumparan sekunder 1. Fenomena serupa juga terlihat pada bentuk sinyal (tegangan) keluaran sensor LVDT 2 dan LVDT 3.

Hysteresis

Kurva *hysteresis* yang diperoleh dari sensor LVDT 1 pada kumparan sekunder 1 dan kumparan sekunder 2 ditunjukkan pada Gambar 8. Dari Gambar 8a diperoleh *hysteresis* maksimum berturut-turut sebesar 4 mV (pada kumparan sekunder 1) dan 15 mV (pada kumparan sekunder 2) ketika menggunakan inti besi 6,7 cm, dan dari Gambar 8b diperoleh *hysteresis* maksimum berturut-turut sebesar 22 mV (ada kumparan sekunder 1) dan 135 mV (pada kumparan sekunder 2) ketika menggunakan inti besi 30 cm.

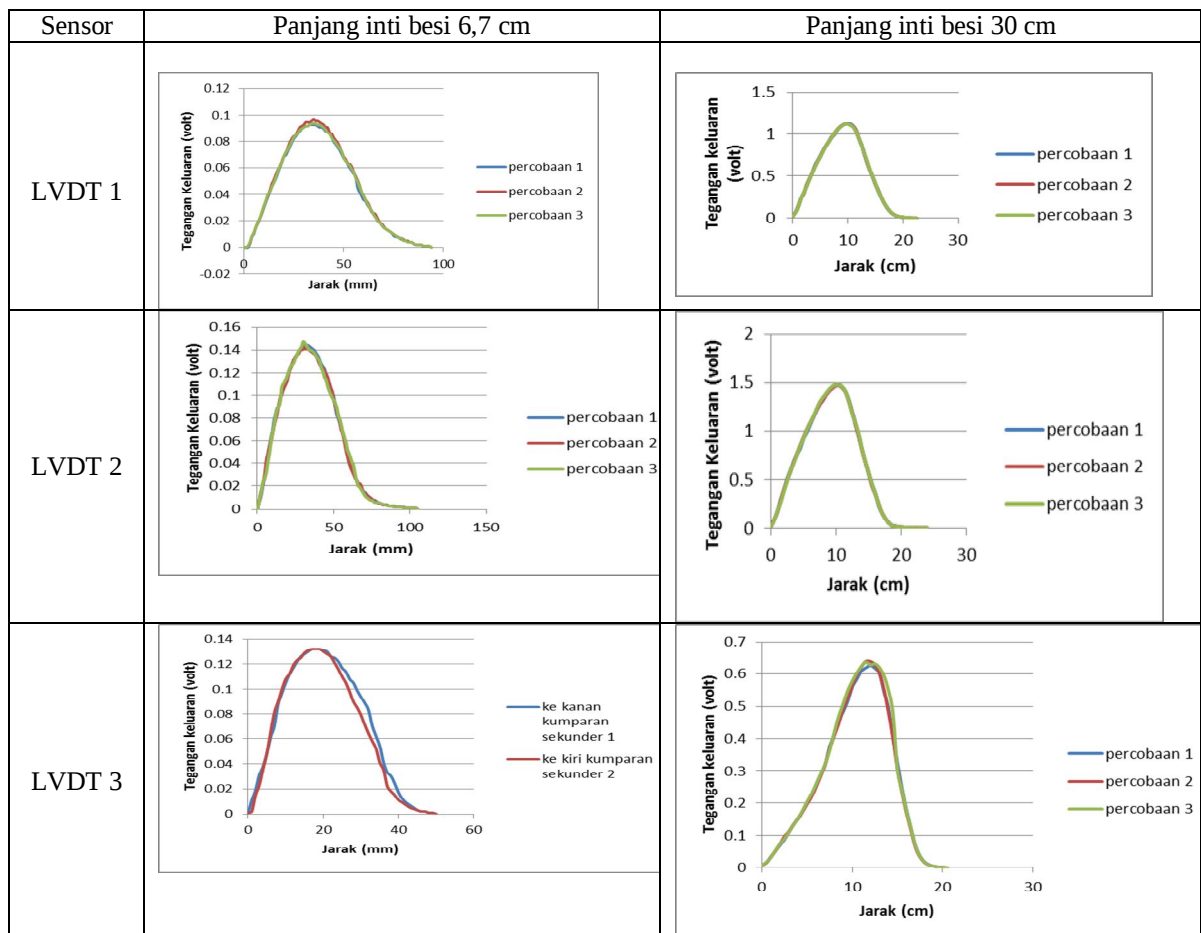


Gambar 8 Kurva *hysteresis* sensor LVDT 1 dengan panjang inti besi (a) 6,7 cm dan (b) 30 cm

Hysteresis maksimum yang lebih besar pada kumparan sekunder 2, baik dengan inti besi 6,7 cm maupun 30 cm, terjadi karena pengukuran dimulai dari kumparan sekunder 1. Ketika inti besi digeser ke kumparan sekunder 2, medan magnetik dari kumparan sekunder 1 belum seluruhnya lenyap (karena momen-momen magnetik di dalam kumparan tersebut tidak dapat berubah dengan cepat). Hal ini menyebabkan induksi magnetik (yang mengakibatkan GGL induksi) pada kumparan 2 menjadi lebih besar dari semestinya. Hal serupa juga terjadi pada LVDT 2 dan LVDT 3, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Repeatability

Berdasarkan data pengukuran berulang untuk suatu nilai masukan yang sama, yang didekati dari arah yang sama, dan dengan kondisi kerja yang serupa, diperoleh grafik *repeatability* untuk sensor LVDT 1 seperti pada Gambar 9. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sensor LVDT 1 memiliki *repeatability* rata-rata yang cukup baik (terlihat dari bentuk kurva yang nyaris serupa/berimpit untuk pengambilan data sebanyak tiga kali perulangan, baik dengan inti besi 6,7 cm maupun dengan inti besi 30 cm). *Repeatability* maksimum diperoleh sebesar 75 mV pada jarak 14,5 cm.



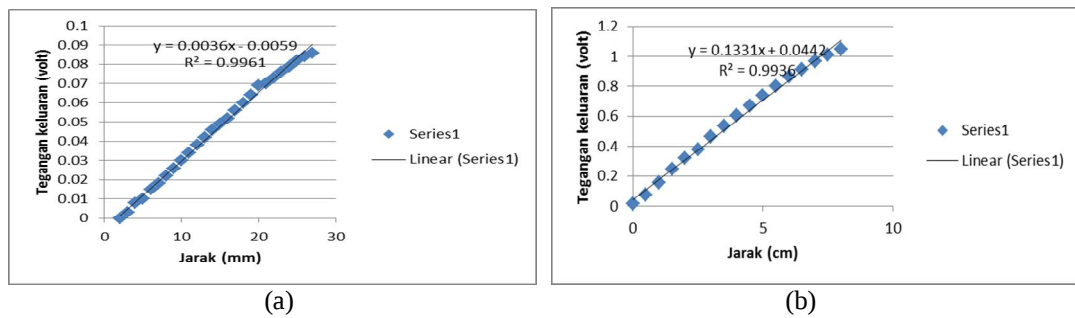
Gambar 9 Kurva *repeatability* ketiga sensor LVDT dengan inti besi 6,7 cm dan 30 cm.

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa LVDT (baik LVDT 1, LVDT 2, maupun LVDT 3) dengan inti besi yang lebih panjang (30 cm) memiliki *repeatability* yang lebih baik karena simpangannya (dari tiga kali perulangan) memiliki nilai paling kecil.

Sensitivitas

Dengan menggunakan perangkat lunak Excel, fungsi transfer untuk LVDT 1 diperoleh dalam bentuk persamaan linier $y = 0,0036x - 0,0059$ (untuk inti besi 6,7 cm), dengan y menyatakan tegangan keluaran (dalam V) dan x menyatakan jarak (dalam mm), seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Linieritas persamaan garis lurus ini cukup baik, diperlihatkan oleh derajat korelasi linier (R^2) yang lebih besar dari 0,9 yaitu 0,9961. Dari fungsi transfer sensor LVDT 1 dapat diketahui bahwa sensitivitas sensor tersebut adalah 0,0036 V/mm (jika menggunakan inti besi dengan panjang 6,7 cm) dan 0,1331 V/mm (jika menggunakan inti besi dengan panjang 30 cm). Data sensitivitas untuk dua LVDT lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 10 Fungsi transfer sensor LVDT 1 dengan inti besi (a) 6,7 cm dan (b) 30 cm.

Rentang Pengukuran Jarak

Berdasarkan data pengukuran dan grafik fungsi transfer yang diperoleh, LVDT 1 memiliki rentang pengukuran dari 0 hingga 27 mm (untuk inti besi dengan panjang 6,7 cm) dan dari 0 hingga 80 mm (untuk inti besi dengan panjang 30 cm). Data rentang pengukuran jarak untuk dua LVDT lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data hasil pengukuran dan perhitungan untuk ketiga sensor LVDT.

	LVDT 1				LVDT 2				LVDT 3			
Jumlah lilitan primer	224 lilitan				224 lilitan				133 lilitan			
Jumlah lilitan sekunder-1	380 lilitan				380 lilitan				213 lilitan			
Jumlah lilitan sekunder-2	380 lilitan				380 lilitan				213 lilitan			
Diameter kumparan	2,2 cm				1,7 cm				1,7 cm			
Panjang inti besi	6,7 cm		30 cm		6,7 cm		30 cm		6,7 cm		30 cm	
Hysteresis maksimum (mV)	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
	4	15	22	135	144	145	47	48	19	33	25	65
Derajat korelasi liniernya, R^2	0,9961		0,9936		0,9882		0,99		0,9591		0,983	
Sensitivitas (V/mm)	0,0036		0,01331		0,0005		0,01609		0,0084		0,00574	
Rentang pengukuran jarak (mm)	0 - 27		0 - 80		0 - 26		0 - 90		0 - 17		0 - 115	

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengukuran, pengolahan, dan analisis data maka disimpulkan bahwa LVDT (*linear variable differential transformer*) dengan tipe trafo *step-up* (jumlah masing-masing lilitan sekundernya lebih banyak daripada jumlah lilitan primer) dapat digunakan untuk mengindera perubahan jarak suatu obyek dalam arah linier (searah sumbu kumparan), dengan variasi derajat korelasi linier (R^2) mulai dari 0,983 hingga 0,9961. LVDT dengan inti besi yang lebih panjang dengan diameter kumparan yang sama, memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dan lebar rentang pengukuran jarak 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 pendek; sedangkan LVDT dengan diameter kumparan yang lebih kecil akan lebih sensitif jika menggunakan inti besi yang lebih

panjang. Sensitivitas terbesar yang diperoleh adalah 0,01609 V/mm untuk LVDT yang jumlah lilitan primernya 224 lilitan, jumlah masing-masing lilitan sekundernya 380 lilitan, diameter kumparannya 1,7 cm, dan panjang inti besinya 30 cm. LVDT ini memiliki rentang pengukuran dari 0 hingga 90 mm. *Repeatability* dan *hysteresis* sensor LVDT yang menggunakan inti besi dengan panjang 30 cm lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan inti besi 6,7 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Sharif, L., Kilani, M., Taifour, S., Issa, A. J., Al-Qiasi, E., Eleiwi, F.A., dan Kamal, O.N., 2011, Linear Variable Differential Transformer Design and Verification Using MATLAB and Finite Element Analysis, <http://www.intechopen.com/books/matlab-for-engineers-applications-in-control-electrical-engineering-it-androbotics/>
- Buchla, D., dan McLachlan, W., 1992, Applied Electronic Instrumentation And Measurement, Macmillan Publishing Company, USA.
- Donny, S., 2007, Sistem Monitoring Level Tangki Spbu Dan Detektor Kadar Air Dalam Bahan Bakar Berbasis Mikrokontroller, Proyek Akhir, D3 Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- Fitriani, N., 2012, Pengukuran Koefisien Muai Panjang Dengan Menggunakan LVDT, Tesis, Fisika FMIPA, Universitas Jember.
- Fraden, J., 2004, Handbook of Modern Sensors, Springer-Verlag New York, Inc., New York
- Henky, S., 2004, Perancangan dan Pembuatan LVDT, Tesis, Teknik Fisika ITB, Bandung.
- Tipler, A.P, 2001, Fisika Untuk Sains dan Teknik, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.