

## DESAIN LVDT SEBAGAI TRANSDUCER PENGUKUR TEBAL FILM TIPIS

JAJAT YUDA MINDARA<sup>‡</sup>, SAHRUL HIDAYAT, NORMAN SYAKIR, WAHYU ALAMSYAH

<sup>1</sup>Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran  
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21, Jatinangor, Sumedang 45363

**Abstrak.** Linier Variable Deference Transformer (LVDT) adalah salah satu transducer yang dapat digunakan untuk pengukuran tebal profil film tipis menggunakan metode Stylus-Elektromekanis. Untuk menerapkan metoda tersebut diperlukan suatu instrumentasi yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras akan mengolah fluktuasi sinyal analog akibat gerak stylus diatas sampel film tipis yang dikopel pada ferit sebagai inti transducer LVDT, kemudian mengubahnya menjadi sinyal digital. Selanjutnya sinyal digital ini direkam ke dalam komputer melalui fasilitas akuisisi data. Perangkat keras dirancang berdasarkan domain waktu. Perangkat lunak dirancang untuk melakukan akuisisi data, mengolahnya, berikut interpretasi kuantitatifnya. Oleh karenanya sistem instrumentasi pengukur tebal profil film tipis ini dibuat dilengkapi pula dengan berbagai submenu yang diperlukan, sehingga seluruh proses mulai dari akuisisi data sampai dengan interpretasinya dapat dilakukan secara bersamaan. Sensitivitas dari pengukuran bergantung dari parameter geometri transducer LVDT yaitu, panjang dan luas penampang kumparan, jumlah lilitan, karakteristik osilator eksitasi dan stylus. Dalam riset ini, didesain untuk sensitivitas optimalnya 2,5mV/1,5 $\mu$ m. Alternatif untuk meningkatkan sensitivitas yaitu merubah panjang kumparan menjadi 1-mm, dengan ini akan didapat sensitivitas optimal 2,5 mV/0,5 $\mu$ m. Cara ini masih terus diuji coba.

*Kata kunci :* Profil film tipis, LVDT, Akuisisi, Stylus, Sinyal analog- digital

**Abstract.** Linier Variable Deference Transformer (LVDT) is a type of transducer which can be utilized to measure the thin film thickness profile based on Stylus-Electromechanics methode. To implement this methode, need to be build instrument system consist of hardware and software. Hardware system has purpose to process the fluctuation analog signal due to stylus movement on thin film surface which is coppeded on ferit bar as core of LVDT transducer and then convert this to digital signal. Moreover this signal are recorded in PC Computer by utilise data aquisition fasility. This hardware system was desained to manage the data aquisition, processing, and qualitative interpretation in both presentation as graph and numerical results. For this purpose, the thin film thickness profile instrumentation system was utilised by several submenu function that make whole process begin with data aquisition and ended with interfretation result could be done simultaneously. The test result on measuring the thin film sample, the sensitivity of LVDT stylus depent on parameter of its geometry, such as density and crossection area of selenoid, excitation oscilator's characteristic, and stylus size. The system was desained for optimal sensitivity 2.5 mV per 1.5  $\mu$ m. In order to increase the sensitivity, the LVDT selenoid was reduced to 1.0 mm length and give result the optimal sensitivity to 2.5 mV per 0.5  $\mu$ m..This thin film thickness profile instrumentation system is still developed and tested.

*Keywords :* Thin film profil, LVDT, Stylus, Aquisition, Signal analog- digital

### 1. Pendahuluan

Beberapa penelitian dosen di jurusan kami antara lain topik fabrikasi film tipis khususnya bahan elektronik, hal ini untuk mencari alternatif bahan elektronik. Salah satu besaran yang sangat mempengaruhi karakteristik divais tersebut adalah besaran tebal film tipis sebagai bahan penyusunnya. Salah satu kendala di Laboratorium kami, tidak memiliki instrumentasi untuk pengukurannya. Untuk pengadaan instrumentasi dengan metoda stylus elektromekanis harus diimport dari luar negeri harganya mahal, produk Dektak sekitar 200 juta rupiah.

---

<sup>‡</sup> email : jajat@phys.unpad.ac.id

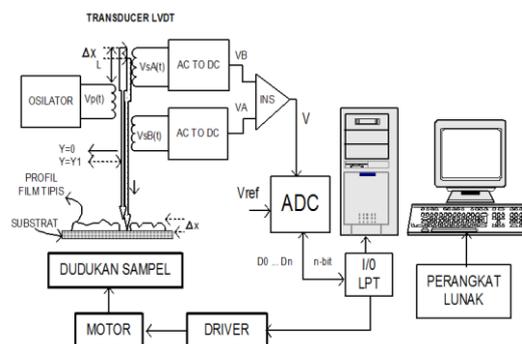
Dengan adanya transducer LVDT dan berkembangnya teknologi stylus, chip pengolah sinyal analog, digital dan pengembangan perangkat lunak komputer. Dimana saat ini komponen tersebut mudah didapat yang memungkinkan untuk merancang bangun sendiri.

Dengan adanya dana penelitian tentunya akan dapat terealisasi kajian awal yaitu merumuskan LVDT sebagai transducer pengukur tebal profil lapisan tipis dan, akuisisi data dan perangkat lunak untuk visualisasi serta database untuk pengukur tebal film tipis. Diharapkan prototype dapat mengatasi kendala dalam mengukur ketebalan film tipis hasil fabrikasi di Laboratorium kami. Selain itu bila hasil pengembangan desain memenuhi spesifikasi standard pengukuran, akan memiliki prospek produksi.

## 2. Eksperimen

Metode yang digunakan eksperimen dengan tahapan: Studi literatur mengenai film tipis, transducer LVDT, pengkondisi sinyal, akuisisi data, pemrograman. Selanjutnya merumuskan transformasi dan konversi data, penskalaan pixel. Selanjutnya desain perangkat keras konstruksi pengukuran, pengkondisi sinyal, dan perantara ADC sebagai subsistem pengkonversi data analog ke digital. Kemudian algoritma perangkat lunak meliputi, akses pengukuran, set-nol, dan database. Selanjutnya pengujian subsistem dan integrasi. Proses perbaikan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan perumusan desain.

Desain sistem dalam pengukuran yaitu profil lapisan tipis akan divisualisasikan modus grafik pada layar monitor. Dengan ini garis skala pada monitor harus memiliki karakteristik linier terhadap tebal profil. Diagram blok sistem pengukuran ditunjukkan Gambar 1. Terdiri dari subsistem analog dan subsistem digital. Subsistem analog meliputi Transducer LVDT dan pengkondisi sinyal. Yang berfungsi untuk mengubah variasi tebal profil lapisan tipis ke tegangan analog. Subsistem digital atau subsistem akuisisi data pada prinsipnya sebagai pengkonversi analog ke data digital, meliputi penggerak sampel, perantara ADC dan perangkat lunaknya.



**Gambar 1.** Blok Diagram Sistem Pengukuran tebal Profil lapisan tipis berbasis Komputer

Sesuai dengan tinjauan pustaka, transducer LVDT secara konseptual terdiri dari satu lilitan primer dan dua lilitan sekunder serta inti pada rongga lilitan. Dengan adanya osilator eksitasi pada lilitan primer, keluaran selisih tegangan pada dua kumparan sekunder besarnya akan sebanding dengan perubahan posisi inti. Dalam hal ini, inti ferit disambungkan ke stylus sebagai peraba profil permukaan lapis tipis, dengan menggerakkan sampel, stylus akan bergerak-gerak arah vertikal sebanding dengan keberadaan profil sampel, dengan ini variasi fluktuasi sinyal listrik sebanding

dengan tebal profil akan keluar dari pengkondisi sinyal analog. Nilai ketebalan dapat diukur dari fluktuasi akibat stylus menyentuh permukaan lapisan tipis dan lapis dasarnya (substrat).

Perumusan Transformasi dan konversi dari variasi tebal profil ke Tegangan untuk variasi pengukuran pada posisi-x dapat persamaannya,

$$V(t) = +\alpha.k.\Delta x(t) \quad (1)$$

Persamaan (1) dengan desain pengkondisian sinyal untuk k=1, dapat dirumuskan,

$$V(t) = \frac{\omega V_m N^2 A}{R_p \ell} .c.x(t) \quad (2)$$

$\alpha$  bergantung pada parameter osilator eksitasi yaitu frekuensi sudut osilator ( $\omega$ ) tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan hambatan masukan ( $R_p$ ), dan geometri kumparan yaitu jumlah lilitan ( $n$ ), panjang kumparan ( $l$ ) dan luas penampang kumparan. Konstanta  $c$  adalah faktor pembanding antara permeabilitas fungsi dari posisi ferit Dengan memilih osilator eksitasi dengan tegangan maksimum  $V_m=5$  Volt, Frekunsinya  $f=50$  KHz ( $\omega =2\pi f=314159$  Hz). Hambatan masukan lilitan primer  $R_p=100$  Ohm, Panjang lilitan  $\ell =3$  mm=0.003 meter. Jumlah lilitan  $n=500$ . Luas penampang  $A=0.000012566$  m<sup>2</sup> (jejari lilitan 2 mm).  $c=80,63$  (ferit dililih sekitar  $\mu =500.\mu_0$  dimana  $\mu_0=1$  permeabilitas udara. Berdasarkan pemilihan parameter, maka persamaan (1) dengan k=1 adalah,

$$V(t) = 1666.69 x(t) \quad (3)$$

Dalam hal ini gerak posisi stylus-ferit ( $+0.003$  m  $>$   $\Delta x$   $>$   $-0.003$  m) tanda negatif menyatakan ferit arah kebawah dan positif arah keatas. Subsystem digital atau perantara ADC berfungsi mengkonversi tegangan sebagai fungsi dari perubahan gerak stylus ke data digital. Sesuai dengan perumusan konversi ADC, ADC n-Bit modus bipolar dengan tegangan referensi  $V_{ref}$ . Selanjutnya melalui perantara (I/O) masuk ke komputer dengan pengalamatan, ditampung dalam variabel Data [t] bilangan bulat sesuai dengan deklarasi tipe data dalam perangkat lunaknya, adalah :

$$Data(t) = \frac{(2^n - 1)}{|2.V_{ref}|} (V_{ref} + 1666,69.x(t)) \quad (4)$$

Dengan pemilihan n=16 bit dan tegangan referensi  $V_{ref}=5$  Volt maka, Data sebagai fungsi dari gerak stylus adalah,

$$Data(t) = (32767 + 10922657,67.x(t)) \quad (5)$$

Dengan menggunakan perangkat lunak modus grafik, dapat diplot berupa garis pada layar monitor. Untuk menampilkan nilai  $x[t]$  dari Data(t) perumusannya,

$$x(t) = \frac{(Data(t) - 32767)}{10922657,67} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (5) dan persamaan (6), contoh hasil hitungan untuk perubahan-x dari  $-7,5\mu\text{m}$  ke  $-7,5\mu\text{m}$  dengan step  $1,5\mu\text{m}$ , nilai untuk ketebalan, tegangan, data konversi ADC dan posisi pixel ditunjukkan Tabel. 1.

Dalam hal ini skala-nol pada layar monitor pada pixel ke-172 untuk skala monitor (640x480) pixel. Dalam hal ini menggunakan 200 Pixel, dengan skala 0 pada pixel-172. Untuk variasi sampel bergerak pada variasi daerah  $1,5\mu\text{m}$ , tentunya visualisasi grafik akan kecil, untuk ini diperlukan proses perbesaran.

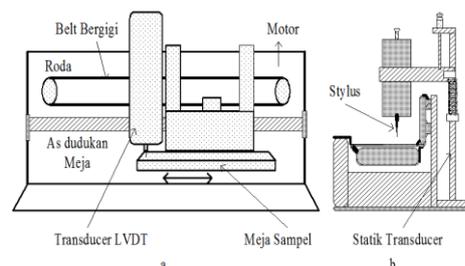
**Tabel 1.** Penskalaan Layar Monitor

X( $\mu\text{m}$ )	Vo(Volt)	Data (Konv)	Data(Zoom)	Pixel(CRT)
7.5	0.012500	32849	36041	162
6.0	0.010000	32833	35385	164
4.5	0.007500	32816	34730	166
3.0	0.005000	32800	34075	168
1.5	0.002500	32783	33419	170
0.0	0.000000	32767	32764	172
-1.5	-0.002500	32751	32108	174
-3.0	-0.005000	32734	31453	176
-4.5	-0.007500	32718	30797	178
-6.0	-0.010000	32701	30142	180
-7.5	-0.012500	32685	29487	182

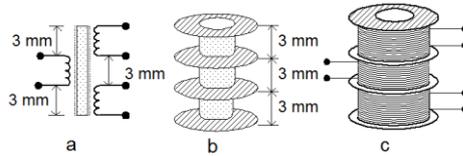
Prosedur pengukuran tebal film dilakukan dengan cara stylus dan ferit diposisikan statik, yang bergerak adalah sampel yang didudukan pada meja sampel. Dalam desain meja sampel harus bergerak lurus, digerakan motor stepper melalui kopel belt bergigi dengan ini, setiap step keberadaan profil garis sampel dapat diambil datanya. Kontruksi sesuai Gambar 2 Pengaksesan gerak motor dengan Akusisi data harus dilakukan melalui perantara yang sama, dengan ini dipilih melalui port printer IBM PC agar mudah diinstalasi.

Desain konstruksi Transducer LVDT, sesuai dengan konstruksi terdiri dari satu kumparan primer dan dua buah kumparan sekunder serta satu inti batang ferit yang disambungkan dengan stylus, prosedur desain adalah memilih inti ferit dan menentukan panjang dan jumlah lilitan, dengan mengacu pada perumusan paramater desain dan keberadaan komponen dipasaran, desain konstruksi stylus dan Ferit ditunjukkan pada Gambar 4.

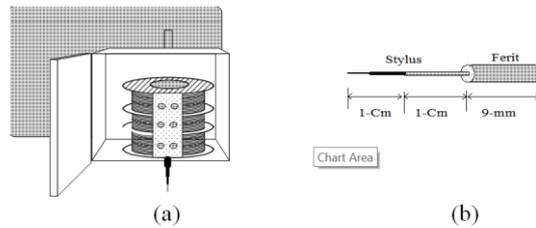
Untuk konstruksi ini inti-ferit beratnya ditentukan 10gram untuk menjamin tidak mengganggu keberadaan sampel, untuk lilitan transducer dipilih panjangnya sama masing-masing, 3 mm dengan 500 lilitan, hal ini diharapkan hambatan lilitan di atas 100 Ohm, agar hambatan tidak membebani tegangan eksitasi osilator selain itu jumlah lilitan untuk setiap kumparan dibuat sama, agar tegangan maksimal yang keluar pada kedua kumparan sekunder sama dengan tegangan pada kumparan primer (pada pergeseran maksimal batang ferit).



**Gambar 2.** Desain Konstruksi Pengukuran (a. Tampak depan, b. Tampak Samping)



**Gambar 3.** (a) Ukuran Gulungan LVDT (b).Tempat Gulungan (c) Gulungan

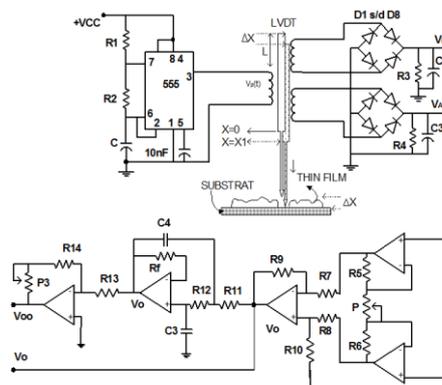


**Gambar 4.** (a) Konstruksi Transducer LVDT (b) Stylus dan Batang ferrit

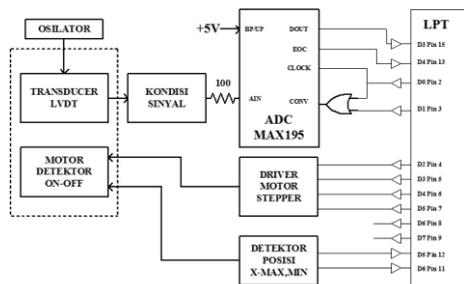
Tujuan kedua adalah agar tegangan yang keluar dari kedua kumparan sekunder ketika batang ferit dalam keadaan tak bergerak (posisi nol) bernilai sama.. Kawat kumparan dipilih dari email dengan diameter 0,08 mm. Tebal sekat antar kumparan adalah 1,4 mm, desain kontruksi ditunjukkan pada Gambar 3 a,b,c.

Selanjutnya dibuat kontruksi untuk Transducer dengan perancangan sedemikian hingga bila ferit dan stylus digerakan, banyak menyentuh dinding kelos desain kontruksi ditunjukkan pada Gambar 4. Konstruksi transducer mengacu pada parameter desain dengan amplitudo tegangan maksimum osilator 5 Volt akan memiliki rentang konversi (-3 s/d +3) mm ketegangan (-5 s/d +5) Volt. Dengan pemilihan spesifikasi ADC 16-bit modus bipolar tegangan referensi (-5,0,+5) Volt, konversi data ke komputer akan memiliki rentang (-3 s/d +3) mm ke (0 s/d 65525) dengan ini Resolusi optimal  $(3/2048)$  mm/Nyble=1,5  $\mu$ m/Nyble atau (1,5  $\mu$ m per 2,44 mV).

Rangkaian keseluruhan, ditunjukkan Gambar 7, desain terdiri dari: Osilator, penyearah, penguat instrumentasi, penapis lolos rendah dan penguat non inverting. Untuk penyearah sesuai dengan tinjauan pustaka digunakan penyearah jembatan empat dioda dengan tapis RC. Dioda *bridge* tipe 1N4148 dan untuk mendapatkan *ripple* kecil agar tidak mengganggu keluaran, ditetapkan  $V_{rpp} = 0.1$  mV dengan  $V_p=5V$ , maka digunakan komposisi  $R_1 = 1$  M Ohm,  $C_1 = 100$  nF.



**Gambar 5.** Rangkaian Pengkondisi Sinyal



Gambar 6. Blok rangkaian ADC Max 195 diakses melalui LPT IBM PC

Tabel 2. Penggunaan Pin Pada LPT

378H (OUTPUT)			
PIN	BIT	BOBOT	KET
2	D0	1	Clock ADC
3	D1	2	Conv ADC
4	D2	4	Motor
5	D3	8	Motor
6	D4	16	Motor
7	D5	32	Motor
379H (INPUT)			
PIN	BIT	BOBOT	KET
15	D3	8	IN-ADC
13	D4	16	EOC-ADC
12	D5	32	X-Max
10	D6	64	X-Min

Dengan waktu respon output selama 0,1 detik. Rangkaian penguat instrumentasi yang digunakan sesuai tinjauan pustaka, menggunakan tiga buah op-amp, dengan memilih hambatan R5, R6, R7, R8, R9, R10, P sama 10KOhm, dimana  $0 < a < 1$ , posisi potensio.

Filter dibutuhkan untuk memurnikan frekuensi sinyal tegangan dari gerakan inti ferit, agar tidak tercampur *noise*. Filter dirancang berdasarkan referensi bahwa frekuensi gerakan inti ferit tidak melebihi nilai 15 Hz. Untuk itu filter yang dirancang adalah filter lolos frekuensi rendah dengan nilai frekuensi potong ( $f_{cut}$ ) disesuaikan nilai frekuensi pergerakan inti ferit yaitu bernilai 15 Hz. Dengan demikian, diharapkan sinyal tegangan akibat gerak inti dapat diloloskan. Untuk mendapatkan nilai frekuensi potong bernilai 15 Hz, maka digunakan komposisi  $R_1=R_2 = 10 \text{ k Ohm}$ ,  $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{F}$ . Rangkaian penguat Non-inverting sebagai penguat akhir, untuk menguatkan 10kali.. sesuai dengan rumusan tinjauan pustaka penguatan adalah,  $K_v=1+((R_{14}+P_3)/R_{13})$  dengan memilih hambatan  $R_{13}=10\text{K}$ ,  $R_{14}=100\text{K}$  dan  $P_3=20\text{K}$ , maka penguatan dapat diatur antara (10 sd 12) kali. Rangkaian catu daya yang dirancang untuk dapat menghasilkan tegangan  $\pm 12 \text{ V}$  yang digunakan sebagai  $V_{cc}$  bagi rangkaian penguat, sedangkan tegangan  $\pm 5 \text{ V}$  digunakan sebagai  $V_{cc}$  bagi rangkaian Osilator. Rangkaian perantara untuk pengukuran permukaan profil, digunakan ADC Maxim 195 yang diakses melalui port standard LPT IBM PC penaksesan melalui alamat (I/O) 378H dan 379H, diagram blok rangkaian ADC ditunjukkan Gambar 6. Kode biner, bilangan desimal yang berhubungan dengan masing-masing saluran ditunjukkan Tabel 2. Dengan Algoritma pengkonversian data mengikuti urutan instruksi: Start konversi, Baca end konversi, Ambil data serial 16 bit, Ubah ke data word, Ubah ke tegangan, Ubah ke tebal profil adalah sebagai berikut:

Prosedur  $In\_ADC(G_m)$ ;

Mulai

(Start konversi)

Port [378H]  $\leftarrow 1 + 2 + G_m$  ; Port [378H]  $\leftarrow 0 + 0 + G_m$ ;

*(Baca End Konversi)*  
 Ulang  
 $Port [\$378H] \leftarrow 1 + 2 + Gm; Port [\$378H] \leftarrow 0 + 2 + Gm; EOC \leftarrow (Port[\$379H] AND 16) SHR 4;$   
 Akhir ulang  $EOC = 1$   
*(Ambil data serial 16 bit D0 s/d D15 ubah ke data word)*  
 $Dataword \leftarrow 0$   
 Ulang mulai  $n \leftarrow 15$   
 $Port [\$378H] \leftarrow 0 + 2 + Gm; Port[\$378H] \leftarrow 1 + 2 + Gm; D0 \leftarrow (Port[\$379H] AND 8) SHR 3;$   
 $Dataword = Dataword * 2 + D0$   
 Akhir ulang  $n \leftarrow 0$   
*(Ubah ke tegangan)*  $Teg\_Bi \leftarrow (5/32767) * (Dataword - 32767)$   
*(Ubah ke ketebal profil Y)*  $Y \leftarrow (3/5) * Teg\_Bi$  *(Dalam mm Untuk Penguatan-1)*  
 Selesai

Perangkat lunak disusun terdiri atas: Menu utama terdiri dari: Submenu Rekam, Submenu Data, Submenu Grafik dan Keluar dari program. Submenu Rekam berfungsi untuk proses pengoperasian ADC MAX 195 yang diakses melalui port LPT IBM PC untuk menggerakkan motor, merekam profil permukaan, memvisualisasikan, mengukur tebal maksimum dan minimum serta menyimpan dalam file.

*Mulai*  
 $Ambil\ posisi\ ke\ x0; Ambil\ Data\ posisi\ Garis\ profil\ ke-0.$   
 $i=1;$   
 Ulang  
 $Ulang\ Mulai\ gm1=1$   
*Mulai*  
 $Gm=2\ geser\ kiri\ gm1; In\_ADC(Gm); Ambil\ Data\ Profil$   
 $Ambil\ posisi\ Panjang\ Sampel\ xi\ (Tulis\ panjang\ sampel\ x=xi-x0)$   
 $Plot\ Garis\ profil\ Permukaan; i=i+1$   
 $Akhir\ Ulang\ gm1=4$   
 $Akhir\ Ulang\ i=MaxData$   
 $Simpan\ ke\ File; Motor\ kembalikan\ ke\ posisi\ x0$   
*Selesai*

Submenu Data berfungsi untuk menampilkan data numerik (angka) garis profil permukaan plat pada layar monitor dari data yang telah disimpan pada File. Submenu Grafik berfungsi untuk mengulang tampilan grafik garis tebal profil film tipis pada layar monitor dari data yang telah disimpan pada File. Submenu Keluar berfungsi untuk Keluar dari program utama. Prosedur Pengujian untuk analisa karakteristik linier subbrangkaian menggunakan korelasi dan regresi linier. Prosedur pengujian karakteristik subbrangkaian dan integrasi terdiri dari: Karakteristik LVDT, Karakteristik Penyearah, Karakteristik Penguat, Transduser Dan Pengkondisi Sinyal, Uji Liniritas Dan Kualitas ADC, Uji Integrasi, Uji Pengukuran Film Tipis.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Sesuai deskripsi prototipe konstruksi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 7a. gambar atas untuk tampak depan dan gambar bawah tampak atas. Prototipe Transducer LVDT ditunjukkan pada Gambar 8b, pada gambar kiri atas, gulungan LVDT dengan panjang kumparan (3x3mm) dan panjang ferit 9 mm. Kanan atas LVDT dan stylus padaudukannya dikemas keadaan terbuka. Gambar tengah bawah perkabelan dengan soket dB9, tengah kanan dan bawah kiri kedudukan transducer pada statik. Bawah kanan Transducer-stylus dan meja sampel. Untuk box pengkondisi sinyal (box bawah), tampak pada panel depan terdiri atas Switch Power dan Led, 2-Toggle untuk modus pengukuran profil. Soket RCA untuk penggunaan output analog dihubungkan ke ADC, Soket dB-9 untuk Transduser LVDT. Untuk panel belakang kabel AC 220V.

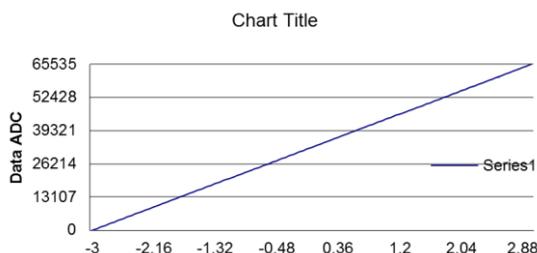


Gambar 7. (a).Prototipe pengukur Sampel (b) Prototipe LVDT dan Stylus

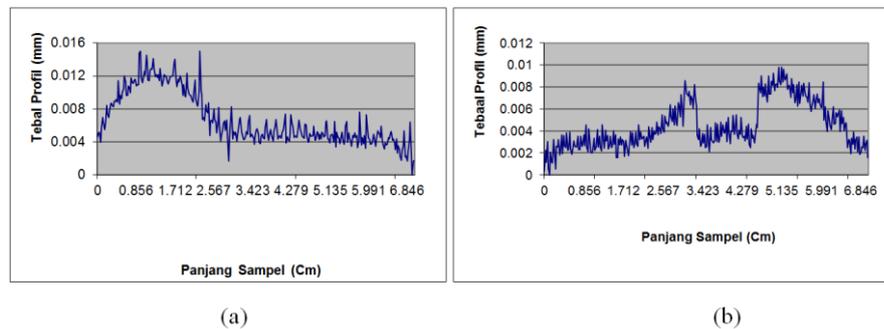
Box Perantara ADC diakses melalui LPT IBM PC (Box atas), tampak pada panel depan terdiri atas Swit Power dan Led, Toggle untuk modus Bipolar atau Unipolar, modus ini dibuat untuk pengembangan pengukuran tebal profil untuk modus unipolar. Soket BNC dan RCA untuk penggunaan langsung ADC tanpa ke pengkondisi sinyal. Toggle untuk selektor melalui pengkondisi sinyal atau langsung ke ADC. Soket 4-Kabel untuk probe uji, dengan 2-Switch untuk kalibrasi dan entry hasil ukur. Untuk panel belakang terdiri atas, soket DB25 untuk ke LPT dan kabel AC 220V. Untuk masing-masing subsistem sebelum diintegrasikan dan uji coba pengukuran, karakteristiknya diuji. diuji.

Sesuai dengan prosedur pengujian, karakteristik linier diuji dengan korelasi dan regresi linier. Pengujian karakteristik subangkaian meliputi: Keluaran kumparan sekunder saat dieksitasi oleh osilator, subangkaian penyearah, Linieritas Penguat. Linieritas Transducer dengan Penguat, Linieritas dan kualitas ADC, Linieritas Transducer dengan ADC, uji ini untuk mengetahui linearitas akuisisi data dalam proses konversi data ke komputer fungsi dari Bergeraknya posisi ferit. Dalam hal ini dilakukan untuk pengkondisi sinyal penguatan-1. Dengan panjang ferit 9-mm dan panjang masing-masing gulungan Primer dan sekunder 3-mm. Pengukuran posisi ferit dengan menggunakan Mikrometer dan untuk data langsung dari layar monitor dengan linieritas grafik, ditunjukkan pada gambar 8.

Untuk mengoperasikan Instrumentasi pengukur profil permukaan berbasis PC, dengan pemrograman Pascal, dengan menjalankan program Profil.Pas. Sesaat setelah program dijalankan maka akan tampil menu utama akan tampak logo dan menu pilihan, antara lain mengukur, data, keluar.



Gambar 8. Linieritas Data terhadap Posisi Ferit-x untuk penguatan-1



**Gambar 9.** (a). Pengukuran Sampel Substrat-A (b) Pengukuran Sampel Substrat-B

Bila pilih submenu merekam, maka pada layar monitor akan tampil sesuai Tampak frame untuk grafik profil, frame harga maksimum minimum profil, frame panjang profil dan frame tulisan huruf 1-untuk Start ukur dan huruf-2 untuk stop, dan huruf Q untuk kembali ke menu utama bila terjadi kesalahan pengukuran. Jika Instalasi Sample yang akan diukur profilnya sudah benar, maka dengan menekan tombol-Y, motor akan menggerakkan meja sampel, dengan ini pada layar monitor akan tampil grafik garis profil permukaan film tipis. Jika pengukuran sukses akan muncul frame permintaan direkam atau tidak direkam ke file. Bila “Ya” akan tampil permintaan nama file. Misal ditulis “Sample1.Dat” maka data hasil pengukuran telah disimpan pada file tersebut. Submenu Data adalah untuk menampilkan tabel data hasil ukur.

Saat menu ini dijalankan akan tampil permintaan nama file, setelah di-entry nama file maka akan muncul pola menu seperti pengukuran dan hasil. Submenu Grafik adalah untuk menampilkan kembali grafik garis profil permukaan hasil rekam yaitu dengan cara meload File. Saat menu ini dijalankan akan tampil permintaan nama file, setelah di-entry nama file maka akan muncul pola menu seperti pengukuran dan hasil. Submenu Set Nol adalah untuk kalibrasi atau setting transducer agar keadaan diam berada pada garis  $Y=0$  dan menjadi parameter acuan simpangan. Sehingga proses pengukuran dimulai dari titik acuan nol. Bila memilih submenu Keluar maka akan keluar dari program.

Uji coba dengan pemrograman Pascal dalam memperbesar resolusi grafik profil tebal film dibantu paket program Excel. Gambar 9a menunjukkan hasil rekam dengan visualisasi grafik excel untuk sampel substrat. Hasil plot grafik profil tebal permukaan substrat tidak merata, bercampur noise sekitar  $(1-5) \mu\text{m}$ . Lengkungan keatas ketebalannya sekitar  $10 \mu\text{m}$ , dari permukaan rata-ratanya. Pengukuran untuk Thick film dengan referensi variasi ketebalan  $(20-50) \mu\text{m}$ , Thin film organik dengan referensi variasi ketebalan  $(1-10) \mu\text{m}$ , Thin film anorganik dengan referensi variasi ketebalan  $(4-20) \mu\text{m}$ , Thin film anorganik dengan referensi variasi ketebalan  $(1-5) \mu\text{m}$ .

Pengukuran untuk Thin film anorganik dengan referensi variasi ketebalan  $(1-5) \mu\text{m}$ , ditunjukkan pada Gambar 9b. ketebalan sekitar  $4.7 \mu\text{m}$ . Dari setiap pengukuran profil tidak merata, ketebalan diukur dari fluktuasi sampel yang digores. Dan noise masih terlihat dominan, sampai terakhir pengukuran noise masih dicari penyebabnya, sementara penyebabnya dari dalam rangkaian dan kesalahan LSB perantara ADC.

#### 4. Kesimpulan

Dalam kajian awal desain sistem pengukur tebal profil lapis telah berhasil merumuskan model linier transformasi dan konversi tebal profil ke data digital, mendesain prototipe dan uji coba sistem pengukur tebal profil film tipis. Dari pengujian karakteristik Transducer LVDT, hubungan

tegangan terhadap posisi ferit didapat persamaan:  $V=1661,4.X+ 0,0098$  dengan koefisien korelasi  $r = 0.9996$ . Hal ini menunjukkan Transducer Linier. Dari hasil uji coba untuk perubahan tegangan 0,05 Volt didapat resolusi  $30\mu\text{m}/0,05 \text{ Volt}$  atau  $1,5 \mu\text{m}/2,5 \text{ mV}$ . Dengan ini sensitivitas Transducer  $0,05 \text{ Volt}/30\mu\text{m}$  atau  $2,5 \text{ mV}/1,5 \mu\text{m}$ . Dari hasil Integrasi dengan perantara ADC, karakterisasi akuisisi data terhadap posisi ferit Transducer LVDT didapat persamaan linier:  $\text{Data}=10922,67X+32766$ , persamaan diuji untuk perubahan  $60 \mu\text{m}$ , didapat perubahan data  $655/60 \mu\text{m}$  atau  $16/1,5 \mu\text{m}$ . Dari uji coba pengukuran sampel film tipis antara  $(1-5)\mu\text{m}$ , dapat daerah pengukuran  $3.1\mu\text{m}$ . Masih perlu pengembangan dalam meningkatkan resolusi, tiga alternatif untuk meningkatkan resolusi, pertama yaitu dengan merubah panjang kumparan ke 1 mm. Dengan ini akan didapat  $2,5 \text{ mV}/1,5 \mu\text{m}$ . Yang kedua digunakan penguatan 10 kali. Dengan ini akan didapat  $2,5 \text{ mV}/0,15 \mu\text{m}$ . Yang ketiga merubah resolusi ADC ke 24 bit. Dua cara pertama kendalanya untuk dalam meredam noise, hal ini masih terus diuji coba. Untuk cara ketiga masih didesain, kendalanya dalam proses pengaksesan (I/O) ke komputer.

### Daftar Pustaka

1. William D Cooper, *Electronic Instrumentation and measurement techniques* 4<sup>th</sup> Ed. , Prentice Hall Inc., 2010.
2. George C Barney, *intelligent Instrumentation*, 4<sup>th</sup> Ed, Prentice Hall, 2010.
3. Derenzo, *Interfacing*, Prentice Hall Inc., 2010.
4. Conffran, James W, *The IBM Connection*, Sybex Inc., 2000.
5. T Chi, *The Fundamentals of Stylus Profiling*, [www.veeco.com](http://www.veeco.com), 2001.
6. Darold Wobschall, *Circuit Design For Electronic Instrumentation* 4<sup>th</sup> Ed, Mc.Graw- Hill.Inc, 2007