

PERANCANGAN ALAT PANTAU KETEBALAN ALUMINIUM PELAPIS PLASTIK

Sudarno
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM
Yogyakarta 55281, Indonesia
sudarno.sie13@mail.ugm.ac.id

Suharyanto
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM
Yogyakarta 55281, Indonesia
suharyanto@ugm.ac.id

T. Haryono
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi
Informasi
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM
Yogyakarta 55281, Indonesia
thr@te.ugm.ac.id

Abstraksi—Produk plastik berlapis metal sangat penting bagi sebagian besar industri khususnya untuk kemasan produk. Plastik berlapis metal termasuk menjadi bahan utama mereka dalam melakukan proses produksi. Kualitas metalisasi plastik sangat penting bagi proses produksi, kualitas metalisasi plastik adalah ketepatan tebal lapisan dan kerataan lapisan metal pada plastik. Salah satu solusi untuk menjaga kualitas tersebut adalah dengan memantau proses metalisasi tersebut dengan menggunakan alat ukur ketebalan (*thickness*). Pada penelitian ini telah di buat alat ukur ketebalan yang dapat digunakan untuk mengukur tebal lapisan metal pada plastik dengan jangkauan ukur antara 0,00 OD sampai dengan 4,00 OD. Pada pembuatan alat ini di terapkan pengukuran densitas suatu cahaya yang melewati plastik yang terlapis logam untuk menentukan ketebalan lapisan yang ada. Dalam sistem ini digunakan Sensor photodiode, *single board* mikrokontroler Arduino MEGA 2560 dan komputer sebagai pembentuk komponen utama pengolah data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa photo dioda mampu di gunakan untuk menentukan ketebalan lapisan logam pada plastik, dengan ketebalan lapisan pada proses metalisasi biasanya adalah 1 OD sampai dengan 3,2 OD sedangkan photo dioda mampu mengukur dari 0 OD sampai dengan 4 OD. Berdasarkan pengamatan alat ini mampu melakukan pengukuran densitas optis hingga ketelitian 0,01 OD.

Keywords; intensitas cahaya; pengukuran cahaya; photo dioda; mikrokontroler, metalisasi, optical density;

I. PENDAHULUAN

Metalized film adalah substrat *polymer film* dilapisi atau dilaminasi dengan lapisan logam[1]. Proses melapisi *subtract polymer film* (Plastik) ini di sebut dengan proses metalisasi. Metalisasi plastik adalah proses menempelkan molekul-molekul logam, biasanya aluminium pada lembaran plastik atau sering disebut plastik film[1]. Sebetulnya tidak hanya aluminium yang dapat di gunakan untuk metalisasi plastik tetapi seng, tembaga perak dan emas dapat juga di gunakan untuk bahan metalisasi plastik. Dalam aplikasinya, plastik yang sudah di metalisasi, sangat banyak kegunaanya seperti sebagai kemasan produk makanan dan minuman dan obat – obatan, karena kemasan yang menggunakan plastik yang sudah di metalisasi atau sering disebut aluminium foil mampu menjaga produk dari berbagai perlakuan dan berbagai kondisi. Aplikasi dari proses metalisasi plastik akan menghasilkan produk – produk seperti : Produk – produk hologram, Produk – produk kemasan makanan dan minuman, Benang metalis, *Anti*

static film, Plastik perak maupun kertas perak, Pelindung bangunan.

Pada proses pelapisan metal pada plastik, kualitas hasil produksi di lihat dari ketebalan lapisan metal dan kerataan lapisannya, produk yang berkualitas adalah jika mempunyai tebal yang konsisten dan kerataan yang konsisten pula. Oleh karena itu pengukuran ketebalan lapisan ini menjadi hal penting pada proses pelapisan metal pada plastik. Mengawasi kualitas produksi pada proses metalisasi plastik secara manual jelas sangat tidak ideal, oleh karena itu di butuhkan suatu alat yang mampu mengukur ketebalan lapisan metal pada plastik yang mampu mengukur langsung pada saat proses metalisasi (*Online*).

Untuk membuat alat pemantau ketebalan lapisan metal pada plastik ini, intensitas cahaya dimanfaatkan sebagai acuan untuk menentukan ketebalan lapisan metal pada plastik. Cahaya yang melewati plastik yang dilapisi metal akan mengalami penurunan intensitas, dan penurunan intensitas tersebut tergantung dari tebal lapisan metal pada plastik tersebut.

Untuk merealisasikan alat pengukur ketebalan metal pada plastik tersebut dicoba untuk menggunakan sensor photo dioda, dan dengan proses pengolahan/perhitungan menggunakan mikrokontroler dan komputer.

II. DASAR TEORI

A. *Optical Density / Densitas Optis*

Optical Density / Densitas Optis adalah rasio logaritma radiasi yang mengenai bahan terhadap radiasi yang ditransmisikan melalui bahan [8]. Densitometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur densitas cahaya.

Densitas optik adalah ukuran kemampuan menahan cahaya dari suatu bahan dan data kepadatan optic, ini diperoleh dengan menggunakan suatu alat yang disebut sebagai densitometer. Standar untuk ukuran densitas cahaya ini ditetapkan dengan standar internasional yaitu standar "ANSI" (*American National Standards Institute* - referensi standar ANSI / NAPM IT 2.19 -1994: *Density measurements Part 2 : Geometric conditions for transmission density*)[9].

Salah satu aplikasi densitas optis adalah untuk satuan pengukuran ketebalan lapisan metal pada plastik yang dinyatakan dengan OD (*optical density*), OD ini di dapatkan melalui perhitungan pembacaan densitas optis tersebut, dan

untuk mendapatkan nilainya, OD di formulasikan ke persamaan berikut.

$$OD = \log_{10} \frac{I_0}{I_t}$$

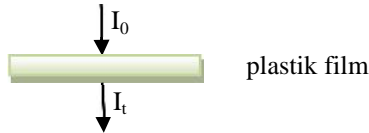
Dengan :

OD = optical density

I_0 = Nilai cahaya tanpa halangan

I_t = Nilai cahaya setelah ada halangan

Secara gambar blok formulasi di atas bisa di jelaskan seperti gambar 3.4 berikut ini :

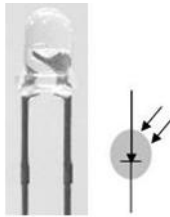


Gambar 3.4. Definisi Optical Density (OD)

Jadi intinya optical density adalah densitas cahaya yang mampu di lewatkan oleh obyek yang dilewatinya.

B. Sensor Cahaya

Sensor merupakan suatu alat yang dapat menerima suatu inputan tertentu sesuai dengan jenisnya. Sensor cahaya merupakan alat yang berfungsi sebagai penerima cahaya dan merubahnya menjadi besaran listrik. Pada perancangan alat ini, sensor yang digunakan adalah photodioda yang peka terhadap sinar atau cahaya tampak maupun tak tampak. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodioda ini mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X



Gambar 2.2 Gambar photodioda dan simbolnya

Photodioda merupakan piranti semikonduktor dengan struktur sambungan p-n yang dirancang untuk beroperasi bila dibiaskan dalam keadaan terbalik, untuk mendeteksi cahaya. ketika energi cahaya dengan panjang gelombang yang benar jatuh pada sambungan photodioda, arus mengalir dalam siruit eksternal. komponen ini kemudian akan bekerja sebagai generator arus, yang arusnya sebanding dengan intensitas cahaya itu. Cahaya diserap di daerah sambungan atau daerah intrinsik yang menimbulkan pasangan elektron-hole yang mengalami perubahan karakteristik listrik ketika energi cahaya melepaskan pembawa muatan dalam bahan itu, sehingga menyebabkan berubahnya konduktivitas. Hal inilah yang menyebabkan photodioda dapat menghasilkan tegangan/arus listrik jika terkena cahaya.

Hal ini dapat di tunjukkan dengan rumus berikut ini :

$$E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ atau } E_g = h \cdot f$$

Dengan :

E_g : Energi foton

h : Potensial Ionisasi ($4,136 \cdot 10^{-15}$ eV)

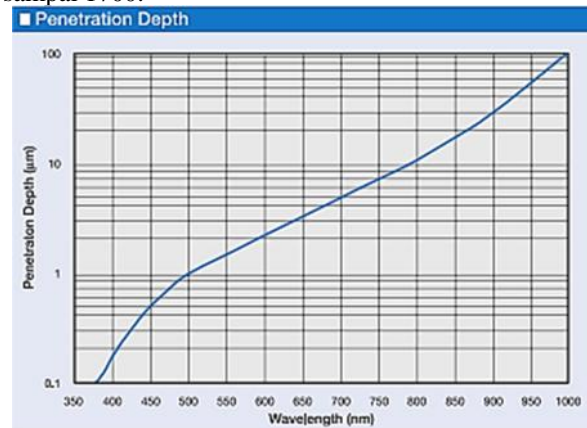
c : Kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s)

λ : Panjang gelombang cahaya (m)

Photodioda mempunyai responsivitas yaitu kemampuan sebuah photodioda untuk menambah arus bias mundur sebagai hasil penambahan cahaya. Responsivitas dari photodioda merupakan perbandingan dalam mA/mW pada panjang gelombang tertentu. pada photodioda honeywell SE3452 mempunyai perbandingan 0.5mA/mW. Jika cahaya yang teradiasi pada cell 2mV, dioda akan menghasilkan arus yang mengalir sebesar 1 mA ($0,5\text{mA/mW} \times 2 \text{ m}$). Respon tertinggi photodioda SE3452 sekitar 820nm.

Karakteristik bahan photodioda:

1. Silikon(si) : arus lemah saat gelap, kecepatan tinggi, sensitivitas yang bagus antara 400 nm sampai 1000 nm.
2. Germanium (Ge) : arus tinggi saat gelap, kecepatan lambat, sensitivitas baik antara 600 nm sampai 1800 nm.
3. Indium Gallium Arsenida (InGaAs) : mahal, arus kecil saat gelap, kecepatan tinggi sensitivitas baik pada jarak 800 sampai 1700.



Gambar 2.2. Karakteristik fotodioda terhadap panjang gelombang cahaya.

Photodioda dapat dioperasikan dalam dua mode berbeda :

- Mode potovoltaiik: seperti solar sel, penyerapan pada photodioda menghasilkan tegangan yang dapat diukur. Di sini tegangan yang dihasilkan dari energi cahaya tidak linier, dan range perubahannya sangat kecil.
- Mode potokonduktivitas : di sini photodioda diaplikasikan sebagai tegangan reverse (tegangan balik) sebuah dioda (yaitu tegangan pada arah tersebut pada dioda tidak akan dihantarkan tanpa terkena cahaya) dan pengukuran menghasilkan arus foto. Di sini ketergantungan arus foto pada kekuatan cahaya adalah linier.

Prinsip dari photodioda adalah arus yang dihasilkan sebanding dengan cahaya insiden atau daya radiasi. Cahaya diserap secara eksponensial terhadap jarak dan sebanding dengan koefisien penyerapan.

III. METODE PENELITIAN

Dalam pembuatan perangkat ini, jenis metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Metode ini dilakukan guna mendapatkan rancangan alat dengan cara mencari, memodifikasi dan menguji rangkaian rangkaian elektronika di

dalam beberapa blok yang berbeda, yang kemudian disatukan menjadi suatu perangkat lengkap. Berkaitan dengan hal ini maka dilakukan tahapan yang berkaitan dengan perancangan alat, sebagai berikut :

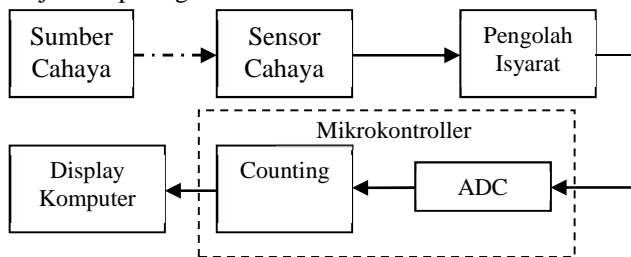
- Mengumpulkan bahan-bahan yang akan dipergunakan untuk perancangan alat.
- Melakukan perencanaan dan perancangan alat.
- Pengujian alat Peralatan yang telah dibuat kemudian diuji apakah telah sesuai dengan yang telah direncanakan.

Metode penulisan yang digunakan dalam penelitian ini berawal dari studi pustaka, yang berupa buku-buku pustaka, situs internet, buku-buku referensi, datasheet dan jurnal-jurnal yang berkaitan sebagai bahan referensi dan perbandingan.

A. Diagram Blok Alat

Rangkaian alat pengukur densitas optik diharapkan dapat memudahkan dalam pengambilan data untuk menghitung densitas optis. Dalam perancangan dan realisasi alat dilakukan secara bertahap. Setelah masing-masing tahapan dari perancangan telah terealisasi kemudian masing-masing bagian alat diuji.

Dalam perancangan sistem alat ukur ketebalan lapisan metal pada lembaran plastik ini dibuat diagram blok yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini :



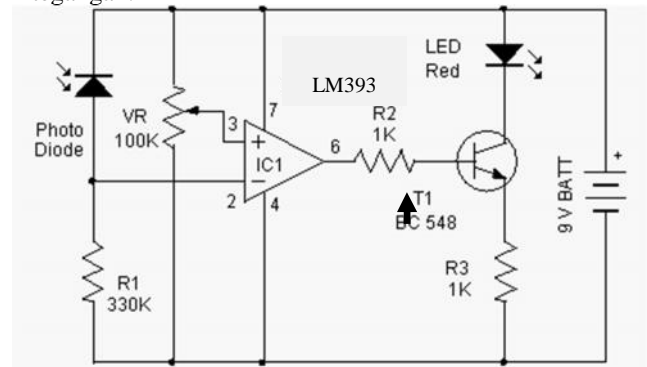
Gambar 3.1. Diagram Blok Rancangan Alat

Prinsip kerja alat ukur ketebalan lapisan metal pada plastik ini adalah sebagai berikut:

1. Cahaya yang akan diukur intensitasnya, di hasilkan oleh sebuah LED super *bright*. Cahaya yang dihasilkan dilewatkan ke plastik film berlapis metal, sebagian di serap oleh film sebagian di teruskan dan di terima sensor photodiode.
2. Sensor cahaya yang digunakan adalah photodiode. Pada rangkaian sensor ini di buat rangkaian pembagi tegangan sehingga keluaran tegangan rangkaian ini berbanding terbalik terhadap kuat penerangan yang diterima sensor.
3. Pengolah isyarat terdiri dari operational amplifier (op amp) yaitu IC LM393 sebagai penguat tegangan dan rangkaian filter yang digunakan adalah filter aktif sellen-key butterworth.
4. Sinyal keluaran dari op-amp yang masih analog di ubah menjadi sinyal digital oleh ADC yang ada di mikrokontroler modul minum sistem arduino.
5. Display komputer digunakan sebagai penunjuk informasi hasil pengukuran. Sedangkan komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer digunakan komunikasi serial RS232.

B. Rangkaian Sensor Cahaya

Pada penelitian ini digunakan fotodiode sebagai sensor cahaya dan dua alat standar net log dan lux meter untuk proses kalibrasinya. Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian sensor foto dioda, yang dirangkai dengan resistor 330 k membentuk rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 3.2. Rangkaian sensor photodiode

Pada rangkaian sensor ini di butuhkan beberapa komponen elektronika antara lain:

- Sensor photodiode 1 buah
- Resistor 3 buah
- Resistr Variable 1 buah
- OpAmp 1 buah
- Transistor 1 buah dan
- Led 1 buah

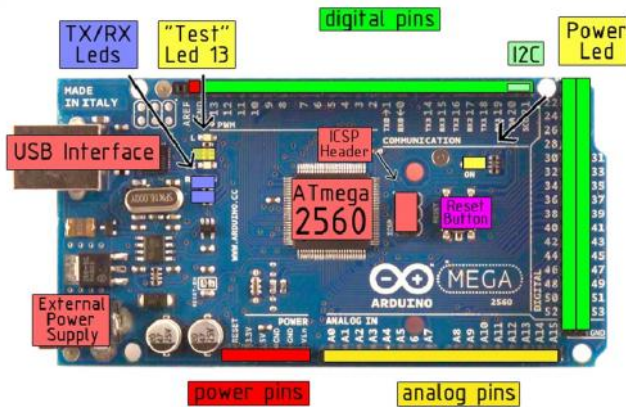
Rangkaian sensor dibuat menggunakan sebuah op-amp sebagai penguat non inverting, dengan reverensi menggunakan resistor variabel berukuran 100K, resistor variabel ini berfungsi sebagai pengatur penguatan dar opamp ersebut.

Pengambilan data pada blok rangkaian sensor dilakukan dengan menaruh obyek yang akan di ukur diantara sumber cahaya dan sensor photodiode. Pengujian sensor ini ditujukan untuk membandingkan besarnya tegangan keluaran sensor pada saat photodiode mendeteksi adanya cahaya (terang) dan pada saat photodiode mendeteksi cahaya setelah mendapat halangan.

C. Arduino kontroler single board

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Arduino Tidak perlu perangkat chip programmer karena di dalamnya sudah ada bootloader yang akan menangani upload program dari komputer. Single board Arduino memiliki fitur yang sangat lengkap, sehingga tidak perlu lagi membutuh perangkat tambahan selain power suply. Single board arduino mempunyai banyak varian dan setiap varian mempunyai fitur dan spesifikasi yang berbeda. Pada penelitian ini penulis menggunakan varian

arduino seri mega. Gambar 3.3. menunjukkan gambar dari arduino mega beserta fitur dan spesifikasinya.



Gambar 3.3. Board Kontroler single board Arduino [4]

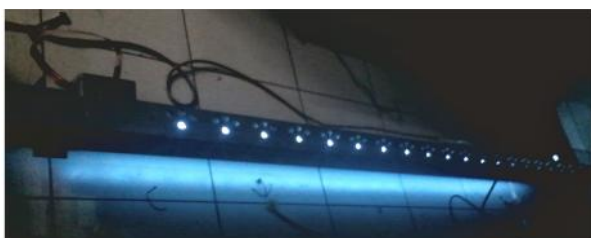
Berikut adalah spesifikasi dan fitur dari Arduino Mega 2560 [4] :

- Microcontroller ATmega2560
- Operating Voltage 5V
- Input Voltage (recommended) 7-12V
- Input Voltage (limits) 6-20V
- Digital I/O Pins 54 (of which 6 provide PWM output)
- Analog Input Pins 15
- DC Current per I/O Pin 40 mA
- DC Current for 3.3V Pin 50 mA
- Flash Memory 32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
- SRAM 2 KB
- EEPROM 1 KB
- Clock Speed 16 MHz

Gambar 3.4 adalah layout alat yang dibuat, alat terdiri dari 2 bagian dan bagian sensor cahaya dari gambar 3.4 tersebut bagian atas (a) adalah sumber cahaya dan bagian bawah (b) adalah sensor cahaya.



Gambar 3.4 Layout alat



Gambar 3.5 Sumber cahaya



Gambar 3.4 Sensor

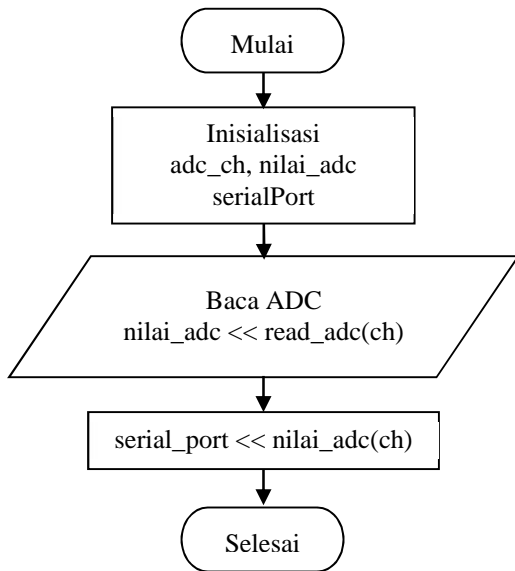
Dengan menggunakan fitur ADC yang ada pada board Arduino Uno. Rangkaian ini menggunakan ADC 10 bit yang ada pada pin A1. Proses pendeteksian cahaya berdasarkan nilai tegangan yang terbaca oleh ADC. Cahaya yang terdeteksi oleh sensor akan menghasilkan tegangan keluaran yang bervariasi. Tegangan ini berkisar antara 0V s.d 5V dan kemudian akan diubah oleh ADC menjadi data digital 10 bit dengan range level antara 0 s.d. 1024. Pada obyek diam pengukuran seperti ini tergolong mudah, tapi untuk obyek yang bergerak cepat cukup sulit. Pada proses metalisasi obyek bergerak pada kecepatan tinggi (max 10m/s). sehingga di perlukan ketelitian yang tinggi dalam melakukan pengukuran.

Tabel 3.1. Hasil uji pengukuran

No	Sample	Io	It	OD	Real OD
1		1024	82,03125	0,0869	0.09
2		1024	9,76562	1,0103	1.00
3		1024	2,39257	1,6211	1,60
2		1024	1,22071	1,91	1.90
3		1024	0,29296	2,53	2.54
4		1024	0,09765	3,01	3.00
5		1024	0,04881	3,31	3.30
6		1024	0,04901	3,31	3.30

D. Pembuatan Program

Pada pembuatan alat ini dibutuhkan program untuk mengendalikan semua proses kerja sistem. Untuk memudahkan pembuatan program diperlukan flowchart. Untuk membuat flowchart yang pertama harus dilakukan adalah mempersiapkan seluruh rangkaian yang terdiri dari rangkaian sensor, rangkaian pengolah isyarat dan mikrokontroler dihubungkan sesuai dengan jalur pengawatannya. Pembuatan program mengikuti diagram alur pada gambar 3.4, diawali dari mulai kemudian inialisasi fungsi yaitu adc 10 bit dan komunikasi serial dengan komputer dan juga inialisasi bit pada pin-pin yang digunakan.



Gambar 3.4. Flowchart Program Pembacaan ADC

Program dimulai setelah beberapa saat catu daya dinyalakan, pada awal program dilakukan inisialisasi fungsi keadaan awal port, variabel global yang digunakan, konfigurasi referensi, multiplexer untuk ADC dan timer/counter 1 dan 2. Setelah semua diinisialisasi, maka ADC mulai mengambil data, data yang diambil dari ADC kemudian dimasukkan ke dalam persamaan. Hasilnya kemudian disimpan ke dalam memori. Tahap berikutnya adalah mengirimkan data hasil dari persamaan ke komputer.

Setelah data ditampilkan, dilakukan penundaan untuk pengambilan data berikutnya. Penundaan ini diperlukan agar pembacaan ADC tidak terlalu cepat. Sehingga perubahan data juga tidak terlalu cepat. Ini diperlukan untuk menyesuaikan perubahan pembacaan di komputer. Lamanya penundaan adalah sekitar 250 ms, artinya ada perubahan display setiap 1 detik. Setelah melalui penundaan, program kembali ke pengambilan data oleh ADC, dan data kembali dikirim komputer.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi pengujian alat ini dilakukan dengan dua metode yaitu metode quality control dan metode *stepwedge*. Metode quality control adalah metode membandingkan hasil ukur dengan pengukuran yang sudah mempunyai nilai densitas di setiap tingkatan, sedangkan *stepwedge* yaitu membandingkan hasil pengukuran dengan hasil pengukuran alat standar.

Kalibrasi dengan quality control dilakukan dengan mengukur sample kemudian membandingkan nilai terukur dari alat dengan nilai pada quality kontrol[8]. Quality control terlihat pada gambar 4.1, grafik hubungan antara data hasil ukur dengan nilai yang tertera pada quality control terlihat pada gambar 4.2, dari grafik tersebut disimpulkan bahwa hasil pengukuran alat(Y) terhadap nilai yang tertera pada quality control (X) diperoleh persamaan

regresi linear sebesar $Y=0,9789 X + 0,0061$ dan mempunyai koefisien korelasi $r = 0,9982$.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5

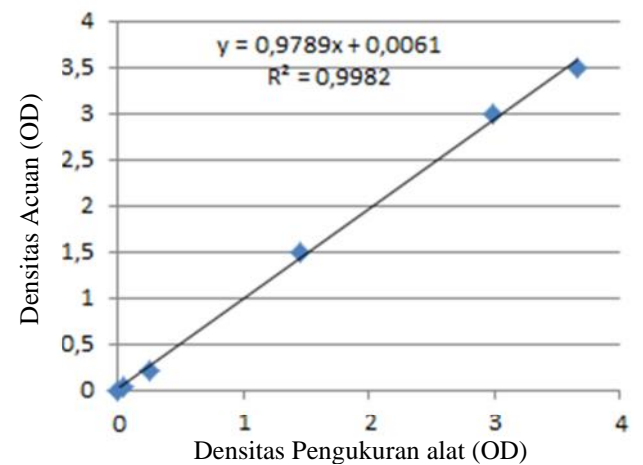
Gambar 4.1 Quality Control

Tabel 4.1 adalah hasil uji kalibrasi dengan quality control.

Tabel 4.1 Kalibrasi Quality Control

No	Densitas Acuan (Y)	Pengukuran (X)
1	0	0
2	0,03	0,035
3	0,2	0,195
4	1,5	1,45
5	3	2,98
6	3,5	3,66

Grafik hubungan antara nilai densitas quality control dengan nilai alat standart adalah seperti gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Hasil kalibrasi menggunakan quality control

Uji kalibrasi kedua adalah dengan *stepwedge* seperti terlihat pada gambar 4.3, grafik hasil kalibrasi alat menggunakan metode *stepwedge* di perlihatkan pada gambar 4.4. Dari grafik pengukuran nilai densitas alat (Y) terhadap nilai densitas alat standar (X) menggunakan *stepwedge* diperoleh persamaan regresi linear $Y = 0,9814 X + 0,0061$ dan mempunyai koefisien korelasi $r = 0,9987$.

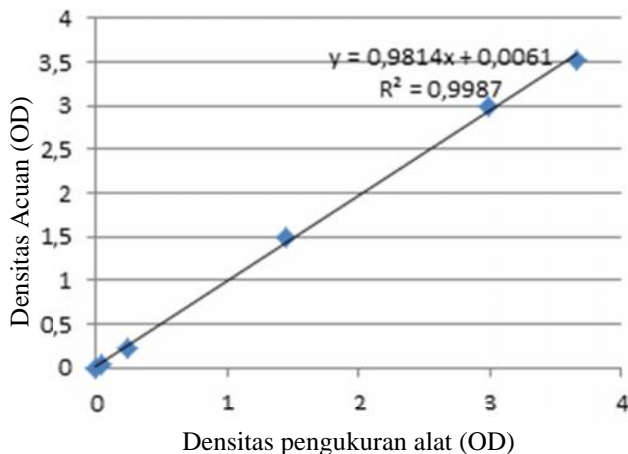
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
----	----	----	----	----	----	----	----

Gambar 4.3 Stepwedge

Tabel 4.2 adalah tabel hasil uji kalibrasi kedua dengan *stepwedge* dan grafik hubungan antara nilai densitas *stepwedge* dengan nilai alat standart adalah seperti gambar 4.4 berikut.

Tabel 4.1 Kalibrasi Stepwedge

No	Densitas Acuan (Y)	Pengukuran (X)
1	0	0
2	0,031	0,035
3	0,21	0,245
4	1,45	1,49
5	2,98	3
6	3,66	3,52



Gambar 4.4 Hasil kalibrasi menggunakan stepwedge

Kalibrasi alat baik menggunakan quality control maupun menggunakan stepwedge menunjukkan alat yang dibuat ini telah dapat digunakan dengan rentang hasil ukur 0,00 OD sampai dengan 4 OD.

Pengujian dan kalibrasi ini dilakukan untuk mengetahui apakah sudah sesuai dengan perencanaan atau belum. Presentase kesalahan antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran dapat dicari dengan menggunakan rumus.

$$\text{Error} = \left| \frac{ns - np}{ns} \right| \cdot 100\%$$

Dengan error = presentase kesalahan yang terjadi (%).

ns = hasil perhitungan

np = hasil pengukuran

Selain dengan perhitungan dan pengukuran pengujian juga dilakukan dengan membandingkan dengan pengukuran dengan alat ukur yang terkalibrasi (*od meter*).

V. KESIMPULAN

Pada percobaan pertama membuat alat ukur od meter menggunakan sinar tampak dengan sensor cahaya photodiode hasilnya mampu melakukan pengukuran dengan benar dengan tingkat kesalahan yang kecil antara 0,35% sampai dengan 3,5%, tetapi saat dilakukan pengukuran pada saat proses metalisasi, pengukuran terjadi fluktuasi pembacaan data yang tidak konstan dan cenderung tidak stabil. Oleh karena itu untuk selanjutnya akan dilakukan pengolahan data dan perbaikan

algoritma untuk memperbaiki pembacaan pengukuran yang dilakukan saat proses metalisasi terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vacuum Metalized "http://www.hologramproject.com/" di akses september 2014.
- [2] R. Halliday, D., Resnick, *PHYSICS: 3rd edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1978.
- [3] Zulian Yamit F. E. U., Ekonosia, *Manajemen Produksi dan Operasi*, Edisi 2. Yogyakarta, 2002.
- [4] Arduino Team, "Arduino Mega 2560 Datasheet", Arduino.cc, 2012.
- [5] Y. Izutani, M. Akagi, and K. Kitagishi, "Measurements of Paint Thickness of Automobiles by using THz Time-Domain Spectroscopy," pp. 5–6, 2012.
- [6] P. Hlubina, "White-Light Spectral Interferometry To Measure The Effective Thickness Of Optical Elements Of Known Dispersion.," vol. Acta Physi, 2005.
- [7] H. Balzer, M. Hoehne, V. Sturm, and R. Noll, "Online coating thickness measurement and depth profiling of zinc coated sheet steel by laser-induced breakdown spectroscopy B," vol. 60, pp. 1172–1178, 2005.
- [8] K. Abdullah, M., "Karakterisasi Nanomaterial," *Nanosains & Nanoteknologi*, vol. 2, 2009.
- [9] Wang H.-C., A. Zyuzin, and A. V. Mamishev, "Measurement of Coating Thickness and Loading Using Concentric Fringing Electric Field Sensors," *IEEE Sens. J.*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2013.
- [10] Hughes, F.W. , *Panduan Op-Amp* terjemahan Ignatius Hartono, Elex Media Komputindo, Jakarta, 1990.
- [11] Pedrotti, F. L. and Pedrotti, L. S, *Introduction To Optics*. Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1987.
- [12] W. Serway, R. A., Jewwet, John, *Physics For Scientist And Engineers 6th Edition*, 6th Editio. Florida: Harcourt Brace & Company, 2004.
- [13] Che-Hua Yang, "An automatic on-line thin-film thickness monitoring technique," in *2007 IEEE International Conference on Sistems, Man and Cybernetics*, 2007, pp. 3001–3005.
- [14] Irving H.-B., "751 Thomas H- B19999» Irving;," 2000.
- [15] S. Topolska, "Process of vacuum metallisation – a simulation in the taylor program," vol. 16, no. 1, pp. 151–159, 2006.
- [16] M. Burmen, M. Mozina, F. Pernus, and B. Likar, "Coating film thickness of pharmaceutical pellets measured by near infrared spectroscopy," in *2010 IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2010, pp. 199–204.
- [17] Kopylova D. S., Pelivanov I. M., Podymova N. B., and a. a. Karabutov, "Thickness measurement for submicron metallic coatings on a transparent substrate by laser optoacoustic technique," *Acoust. Phys.*, vol. 54, no. 6, pp. 783–790, Nov. 2008.

- [18] M. Geisler and L. M. Geisler; W. Bialojan Ag, "Vacuum Metallizing plastik Parts," 1992.
- [19] J. Pei, F. L. Degertekin, B. V. Honein, B. T. Khuriyakub, and K. C. Saraswat, "In-situ thin film thickness measurement using ultrasonics waves," pp. 1237–1240, 1994.
- [20] Boebel F. G., F. Gesellschaft, U. Bonnes, K. P. Frohmader, and U. Erlangen, "In-Situ Film Thickness Measurements By Using Pyrometric Interferometry," pp. 1–5, 1991.
- [21] Wang H.-C., A. Zyuzin, and A. V. Mamishev, "Measurement of Coating Thickness and Loading Using Concentric Fringing Electric Field Sensors," *IEEE Sens. J.*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2013.