

Pengukuran Ketebalan Lapisan Metal Pada Plastik Berbasis Sensor Inframerah

Yaya Finayani¹, Muhammad Alhan², Sunaryo³, Sudarno⁴

Abstract—Plastic metalization process is carried out by heating the aluminum to its melting point in a vacuum so that the atoms and molecules will be evaporate and stick on to the plastic surface, then forming thin layer across its surface. PT. Tomoko Daya Perkasa is one of the companies who performs plastic metalization. In doing this process, the company uses rewind machine and metallizing machine. PT. Tomoko Daya Perkasa uses OD-Meter to measure metal coating thickness. This tool is not embedded on the metallization machine. Therefore, a tool that can be mounted directly to metallizing machine is needed to monitor the thickness during the process of metalization. The metal layer thickness gauges are designed using the GP2Y1010AU0F infrared sensor and TSL2561 infrared receiver. Arduino and VB-NET software are used to create the program of the tool. Laboratory test and rewind machine test results show measurement errors of 0.3% and 1.9%, respectively. These error values are still acceptable, because the maximum limit of tolerance applied in PT. Tomoko Daya Perkasa is about 2.5%. In conclusion, the tool works well and can be used as expected.

Intisari—Proses *plastic metalization* dilakukan dengan cara memanaskan aluminium hingga titik leburnya di ruang hampa sehingga atom dan molekul akan menguap dan menempel pada permukaan plastik membentuk lapisan tipis di seluruh plastik. Salah satu industri yang melakukan proses *plastic metalization* adalah PT. Tomoko Daya Perkasa yang memiliki mesin produksi untuk melakukan proses *metalization*, yaitu mesin *rewind* dan mesin *metallizing*. Pengukuran ketebalan lapisan metal pada plastik di industri *metallizing*, khususnya PT. Tomoko Daya Perkasa dilakukan menggunakan alat ukur *OD-meter*. Alat ini tidak terpasang pada mesin *metallizing* sehingga diperlukan alat yang dapat dipasang langsung ke mesin *metallizing* untuk memantau ketebalan saat terjadi proses *metalization*. Alat pengukur ketebalan lapisan metal dirancang menggunakan sensor inframerah GP2Y1010AU0F dan penerima inframerah TSL 2561 dengan perangkat lunak berbasis pemrograman Arduino dan VB-NET. Dari hasil pengujian laboratorium dan lapangan di mesin *rewind* diperoleh kesalahan pengukuran masing-masing sebesar 0,3% dan 1,9%. Nilai ini masih di bawah nilai maksimal toleransi yang digunakan oleh PT. Tomoko Daya Perkasa, yakni maksimal kesalahan 2,5%, sehingga dapat disimpulkan alat dapat bekerja dengan baik dan dapat digunakan sesuai dengan yang diharapkan.

Kata Kunci—pengukuran, OD, ketebalan, lapisan metal, plastik.

I. PENDAHULUAN

Proses *plastic metalization* dilakukan dengan cara memanaskan aluminium hingga titik leburnya di ruang hampa

^{1,2,4}Teknik Elektronika Politeknik Pratama Mulia, Jln. Haryo Panular 18A Surakarta 57149 (telp:0271 712637; fax:0271 727710); e-mail: yyfinayani@yahoo.com

³ Teknik Mesin Otomotif Politeknik Pratama Milia, Jln. Haryo Panular 18A Surakarta 57149 (telp:0271 712637; fax:0271 727710)

sehingga atom dan molekul akan menguap dan menempel pada permukaan plastik membentuk lapisan tipis di seluruh plastik. Kualitas hasil produksi dilihat dari ketebalan lapisan metal dan kerataan lapisannya. Produk yang berkualitas mempunyai tebal lapisan yang konsisten dan kerataan yang konsisten pula. Oleh karena itu, pengukuran ketebalan lapisan menjadi hal krusial pada proses pelapisan metal pada plastik. Mengawasi kualitas produksi pada proses *plastic metalization* secara manual jelas sangat tidak ideal. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang mampu mengukur ketebalan lapisan metal pada plastik langsung pada saat proses *metalization*. Untuk itu diperlukan suatu teknik pengukuran ketebalan lapisan metal pada mesin *metallizing* yang dapat mengukur ketebalan proses *metalization* sesuai yang diharapkan untuk menghasilkan produksi yang berkualitas, karena jika terjadi kesalahan proses *metalization* dapat langsung diketahui, sehingga hasil produksi dapat selalu terkendali sesuai dengan yang diharapkan.

Lapisan metal hasil proses *plastic metalization* berguna untuk pengemasan produk makanan dalam proses penyimpanan makanan dengan tujuan menghilangkan kontaminasi bahan makanan oleh mikroorganisme [1]. Proses pembentukan lapisan metal aluminium melalui proses *metalization* di ruang hampa (*metallizing vacuum*), dengan ketebalan lapisan mencapai orde nanometer dengan teknik deposisi penguapan logam pada ruang hampa. Teknik deposisi dilakukan dengan menguapkan logam di ruang hampa dan membiarkan logam mengembun serta menempel pada media/plastik. Lapisan metal aluminium yang sangat tipis yang menempel pada plastik digunakan untuk menghalangi makanan/bahan yang dibungkus terhadap cahaya, uap air, oksigen serta gas dan aroma lainnya [1]. Jenis plastik yang sering digunakan untuk dilakukan pelapisan metal aluminium adalah jenis *polyester* atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Oriented Polystyrene* (OPP) [1].

Setiap konsumen PT. Tomoko Daya Perkasa menghendaki ketebalan lapisan yang berbeda-beda dan kerapatan lapisan yang konsisten. Oleh karena itu, ketebalan lapisan metal dalam proses *plastic metalization* sangatlah penting untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Mesin *rewind* dan mesin *metallizing* merupakan mesin produksi PT. Tomoko yang tidak memiliki alat pemantau ketebalan lapisan metal pada plastik, sehingga mengandalkan ketelitian pekerja (operator mesin) dalam menentukan ketebalan lapisan metal pada plastik tersebut. Oleh karena itu, perlu dibuat alat pemantau ketebalan lapisan metal. Makalah ini disusun dari hasil Penelitian Produk Terapan Tahun 2017 yang membahas teknik pengukuran ketebalan lapisan metal pada industri *metallizing* serta mengaplikasikan hasil perancangan alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik pada mesin

rewind dan *metallizing*. Mitra penelitian, PT. Tomoko Daya Perkasa, merupakan salah satu industri yang melakukan proses *plastic metalization*, yang setiap harinya menghendaki ketebalan lapisan yang berbeda-beda dan kerapatan lapisan yang konsisten. Oleh karena itu, ketebalan lapisan metal dalam proses *plastic metalization* adalah sangat penting untuk memenuhi kebutuhan konsumen.

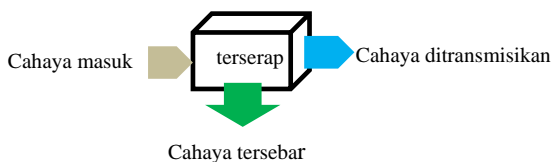
Hasil penelitian berupa alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik berbasis sensor inframerah. Dari hasil penelitian sebelumnya, pengukuran ketebalan lapisan metal pada plastik, menggunakan diode foto LC LED-500TSW4DF dan penerima sensor LM393 berbasis data analog untuk pembacaan sensor, menghasilkan kesalahan pengukuran sampai 3,5% sehingga belum dapat diaplikasikan langsung ke mesin *metallizing* dikarenakan kesalahan maksimal yang digunakan oleh PT. Tomoko sebesar 2,5% [2]. Kesalahan sebesar 3,5% tersebut diakibatkan oleh cahaya ruangan (intensitas 57 lux) saat proses pembacaan cahaya sensor inframerah (intensitas 32-80 lux) dapat dibaca oleh pembaca sensor LM393, padahal seharusnya hanya cahaya inframerah saja yang terbaca oleh LM393 [2].

Untuk itu, perlu dibuat alat pengukur ketebalan lapisan yang memiliki kesalahan pengukuran di bawah 2,5%, sehingga dapat dipasang langsung ke mesin *metallizing*. Sensor yang berbeda, yaitu sensor inframerah GP2Y1010AU0F dan penerima sensor TSL2561 berbasis data digital hasil pembacaan sensor, diharapkan menghasilkan alat pengukuran ketebalan lapisan metal dengan kesalahan pengukuran di bawah 2,5%. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi dengan menyumbangkan karya ilmiah yang dapat digunakan oleh industri *metallizing* pada umumnya dan PT. Tomoko khususnya, yang saat ini mesin *metallizing*-nya tidak memiliki alat pengukur ketebalan lapisan metal. Dengan alat tersebut, diharapkan kegagalan hasil produksi dapat dikurangi serta kualitas produksi proses *metalization* pada plastik dapat ditingkatkan.

II. KONSEP DASAR TEKNIK PENGUKURAN LAPISAN METAL

A. Hukum Beer-Lambert

Hukum Beer-Lambert tentang cahaya menyatakan bahwa jika cahaya masuk dalam sebuah material maka cahaya akan tersebar, terserap, dan ditransmisikan, seperti diilustrasikan pada Gbr. 1. Cahaya yang ditransmisikan memiliki arah sama dengan cahaya yang masuk, sedangkan proses penyerapan dan penyebaran cahaya berupa molekul dan atom.



Gbr. 1 Hukum Beer-Lambert tentang cahaya.

Hubungan antara cahaya yang masuk I_0 dengan cahaya yang ditransmisikan I dalam sebuah material dinyatakan dengan *transmittance* (T) yaitu

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

sedangkan fungsi logaritmik dari $\frac{1}{T}$ didefinisikan sebagai *absorbance* (A),

$$A = \log \frac{I_0}{I}. \quad (2)$$

Hukum Beer-Lambert dinyatakan sebagai hubungan antara cahaya yang masuk dengan cahaya yang ditransmisikan, ketebalan lapisan metal (t), serta koefisien penyerapan/*absorbance* (a) yang dinyatakan oleh (3).

$$I = I_0 e^{-at}. \quad (3)$$

B. Inframerah

Sumber inframerah adalah sinar elektromagnet yang mengeluarkan atau mengemisikan sinar inframerah. Sinar inframerah merupakan cahaya yang tidak tampak yang memiliki panjang gelombang di antara 700 nm dan 1 mm. Dengan panjang gelombang ini, cahaya inframerah tidak tampak oleh mata, tetapi radiasi panas yang ditimbulkan masih dapat terdeteksi. Penggunaan inframerah sebagai media transmisi data mulai diaplikasikan pada berbagai peralatan seperti telepon genggam, televisi, alat ukur suhu sampai transfer data [3]. Media inframerah dapat digunakan untuk transfer data maupun sistem kontrol. Inframerah memiliki sifat tidak dapat dilihat manusia, tidak dapat menembus materi tidak tembus pandang, dan dapat ditimbulkan oleh komponen yang menghasilkan panas. Komunikasi inframerah dilakukan dengan diode inframerah sebagai pemancar, salah satu tipenya yaitu GP2Y1010AU0F, dan modul penerima inframerah sebagai penerima, di antaranya komponen TSL2561 [4], [5]. Sinyal yang dipancarkan pengirim diterima oleh penerima inframerah dan dikodekan sebagai sebuah paket data.

C. Teknik Deposisi Lapisan Tipis

Lapisan tipis adalah suatu lapisan dengan ukuran ketebalan sangat tipis dari bahan organik, metal, maupun campuran metal organik yang memiliki sifat-sifat konduktor maupun isolator. Salah satu contoh lapisan tipis adalah lapisan film tipis dari aluminium, dengan teknik deposisi yang digunakan melalui deposisi uap fisik (*physical vapor deposition*), yaitu *thermal evaporation*, *e-beam deposition*, dan *magnetron sputtering processes*.

Kemajuan teknologi tentang proses pelapisan salah satunya adalah dengan teknik deposisi yaitu teknik pengkristalan yang terjadi karena proses membekunya suatu benda yang memiliki zat tertentu. Teknik deposisi dapat dilakukan melalui metode penguapan vakum (*vacuum evaporation*), yang diterapkan dalam proses pembuatan lapisan tipis dengan cara penguapan di ruang hampa, yaitu suatu ruangan yang memiliki kepadatan gas sangat rendah. Sedangkan proses penguapan melalui teknik evaporasi adalah suatu proses penguapan sebagian atau keseluruhan pelarut sehingga hanya tersisa larutan yang pekat serta memiliki konsentrasi yang tinggi. Proses evaporasi terdiri atas penguapan material padat dengan cara pemanasan sampai mencapai suhu tinggi kemudian mengembunkannya di atas substrat.

D. Plastik Kemasan dan Foil Aluminium untuk Pengemasan

Kemajuan dalam pengolahan makanan dan kemasan memainkan peran utama dalam mempertahankan kualitas persediaan dan pengolahan makanan setelah proses produksi selesai. Hal ini memungkinkan makanan tetap berkualitas dengan aman untuk pengiriman jarak jauh serta tetap sehat untuk dikonsumsi [6]. Kemasan makanan memiliki manfaat di antaranya memperpanjang umur simpan dan mempertahankan atau meningkatkan kualitas dan keamanan makanan. Kemasan memiliki banyak jenis, di antaranya adalah kaca, logam (aluminium, foil, laminasi), kertas, dan plastik. Kemasan plastik menawarkan berbagai macam sifat mudah menyerap daripada jenis kemasan lainnya. Beberapa jenis plastik yang sering digunakan PT. Tomoko Daya Perkasa adalah *poly ethylene* (PE) dan *oriented polystyrene* (OPP).

Aluminium biasa digunakan untuk membuat kaleng, kertas timah, kertas laminasi, atau kemasan plastik. Aluminium adalah logam putih ringan berasal dari bijih bauksit yang berasal dari kombinasi dengan oksigen yang membentuk alumina. Magnesium dan mangan sering ditambahkan ke aluminium untuk memperbaiki sifat kekuatannya [6]. Aluminium memiliki fleksibilitas dan ketahanan permukaan yang baik, kelenturan yang sangat baik, dan kemampuan untuk mudah dibentuk. Adapun kelemahan aluminium adalah biaya pengolahan yang tinggi dibandingkan logam lain. Foil aluminium dibuat dengan menjadikan aluminium murni menjadi lembaran yang sangat tipis. Foil aluminium tersedia dalam berbagai ketebalan untuk pembungkus makanan. Foil aluminium juga memberikan efek yang sangat baik terhadap kelembaban, udara, bau, cahaya, dan mikroorganisme ketika dilekatkan pada kertas atau film plastik untuk memperbaiki kualitas kemasan. Ketebalan lapisan foil aluminium pada plastik memengaruhi biaya produksi sehingga ketebalan lapisan perlu diukur.

Kemasan makanan yang relatif murah adalah *metalized film*. *Metalized film* adalah plastik yang mengandung lapisan tipis logam aluminium. Lapisan tipis ini bermanfaat untuk melindungi makanan dari kelembaban, minyak, udara, dan bau. *Metalized film* ini terutama digunakan untuk membungkus makanan ringan [6].

E. Proses Metalization di PT. Tomoko Daya Perkasa

PT. Tomoko Daya Perkasa merupakan salah satu industri kemasan yang melakukan pelapisan aluminium/film metal pada plastik. Mesin *metallizing* yang digunakan adalah tipe TOPMET 1250, ditunjukkan pada Gbr. 2 [7].

Mesin *metallizing* melakukan proses pelapisan plastik dengan memanaskan aluminium hingga titik leburnya di ruang *metalization* (*metallizing chamber*), sehingga atom dan molekul akan menguap dalam proses evaporasi dan menempel pada permukaan plastik yang bergerak dengan kecepatan tinggi kemudian didinginkan dengan cepat untuk membentuk lapisan tipis di seluruh permukaan plastik. Kualitas hasil pelapisan aluminium pada plastik dilihat dari ketebalan lapisan metal dan kerapatan lapisannya. Produk yang berkualitas adalah yang mempunyai tebal dan kerapatan yang konsisten. Oleh karena itu, pengukuran ketebalan lapisan

metal dalam proses *metalization* perlu dilakukan untuk memperoleh ketebalan sesuai dengan permintaan konsumen.



Gbr. 2 TOPMET 1250 [7].

Mesin *metallizing* melakukan proses *metalization* melalui metode evaporasi, yaitu proses penguapan material aluminium dengan cara pemanasan sampai suhu tinggi kemudian mengembun di atas plastik. Mesin *metallizing* seperti pada Gbr. 2 terdiri atas *vacuum system*, *winding system*, *evaporator*, dan *cooling drum*. Proses pelapisan film metal pada plastik dilakukan di dalam ruang vakum yang disebut *metallizing chamber*, yang tersusun oleh bagian *winding chamber* dan *coating chamber*.

Winding chamber adalah ruang hampa udara pada ruang *metalization* untuk proses transportasi web material, sedangkan *coating chamber* adalah ruang untuk proses penguapan/evaporasi aluminium yang akan dilapiskan ke plastik. Penggerak *metallizing chamber* ditunjukkan pada Gbr. 3. Proses vakum dilakukan oleh beberapa buah pompa, yaitu *rotary vane pump* Sogevac SV630F, *rotary pump* RUVAC WAU 2001, dan *roots pump* RUVAC RA7001, serta *diffusion pump* DIP 12000 [8]. Pompa tersebut terdiri atas pompa vakum dan pompa difusi. Pompa vakum berfungsi untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari ruang tertutup untuk mencapai tekanan vakum, sedangkan pompa difusi untuk menguapkan cairan dan menambah tingkat kevakuman. Proses difusi yang dilakukan oleh pompa difusi tidak akan bekerja dengan baik jika tidak dibantu oleh *rotary pump* dan *roots pump*.



Gbr. 3 Metallizing chamber PT. Tomoko.

Evaporator adalah tempat bahan aluminium yang diuapkan untuk proses pelapisan yang berupa kawat aluminium yang dilelehkan dengan menggunakan panas dari elemen keramik pada suhu tertentu yang melebur menjadi uap dan menempel di permukaan plastik. Proses inilah yang merupakan proses *metalization*. Bagian evaporator mesin *metallizing*

diperlihatkan pada Gbr. 4. Terlihat tempat pemanasan kawat aluminium pada suhu yang tinggi sehingga diperoleh aluminium berbentuk uap yang selanjutnya akan menempel pada plastik yang bergerak di atas evaporator. Sumber panas pada evaporator berupa aliran arus yang cukup tinggi sehingga menghasilkan suhu mencapai 250° C.



Gbr. 4 Evaporator mesin *metallizing*.

F. Arduino

Arduino merupakan papan rangkaian elektronik *open-source* yang di dalamnya terdapat sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan ATMEL. Mikrokontroler adalah *chip* atau *integrated circuit* (IC) yang diprogram menggunakan komputer. Arduino terdiri atas dua bagian, yaitu perangkat keras berupa papan *input/output* (I/O) yang *open-source* dan perangkat lunak yang juga *open source*, meliputi perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) untuk menulis program dan *driver* untuk koneksi dengan komputer.

Komponen utama papan Arduino adalah sebuah mikrokontroler 8 bit menggunakan tipe Atmega yang berbeda-beda tergantung spesifikasinya, misalnya Arduino Mega 2560 menggunakan Atmega 2560, seperti terlihat pada Gbr. 5 [9].



Gbr. 5 Arduino Mega 2560 [9].



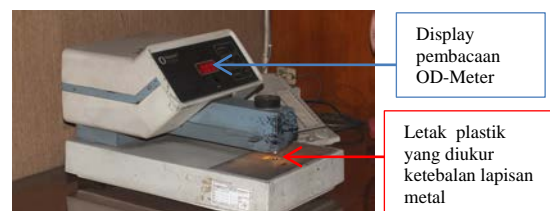
Gbr. 6 Arduino Nano 3 [10].

Papan Arduino jenis lain yaitu Arduino Nano, ditunjukkan pada Gbr. 6, yang merupakan salah satu varian produk mikrokontroler keluaran Arduino dengan papan terkecil, menggunakan Atmega 328, dan untuk Arduino Nano 3 tidak dilengkapi dengan soket catu daya, tetapi memiliki pin catu daya [10].

III. METODOLOGI

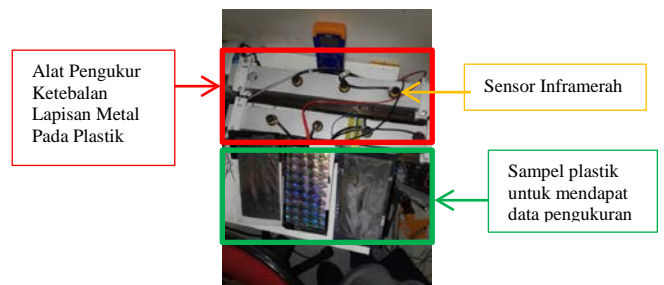
Penelitian dilakukan pada bulan Juni hingga Desember tahun 2017, berlokasi di PT. Tomoko Daya Perkasa *Metallizing Industry* dan Laboratorium Sistem Kendali Teknik Elektronika Politeknik Pratama Mulia Surakarta. Data yang digunakan merupakan hasil survei dari industri dan hasil uji coba alat di laboratorium dan mesin *rewind* PT. Tomoko Daya Perkasa.

Peralatan yang digunakan adalah instrumen *optical density* (*OD-meter*), seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 7. Sampel potongan plastik dengan ketebalan lapisan metal tertentu diletakkan di bawah sinar lampu (arah anak panah Gbr. 7), selanjutnya tampilan *OD-meter* akan menampilkan hasil pembacaan ketebalan lapisan metal. Sebelum digunakan, *OD-meter* dikalibrasi dengan benar sehingga memberikan hasil pengukuran yang akurat yang digunakan sebagai nilai acuan dalam menghitung kesalahan pengukuran.



Gbr. 7 OD-Meter di PT. Tomoko.

Alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik ditunjukkan pada Gbr. 8, dengan komponen utama pemancar dan penerima inframerah masing-masing Sharp GP2Y1010AU0F dan TSL2561, mikrokontroler Arduino, serta bahasa pemrograman VB-Net untuk *human machine interface* (HMI). Perangkat lunak lainnya adalah Microsoft Excel untuk memperoleh data mentah dari alat pengukur ketebalan lapisan metal dan MATLAB untuk melakukan analisis hasil pengukuran.



Gbr. 8 Alat pengukur ketebalan lapisan metal.

Data awal diperoleh dari sampel beberapa plastik, seperti pada Gbr. 8, dengan ketebalan lapisan metal yang berbeda yang telah diukur dengan *OD-meter*. Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan dengan hukum Beer-Lambert kemudian kesalahan pengukuran dari hasil pengukuran *OD-meter* dengan pengukuran menggunakan alat pengukur ketebalan lapisan metal saat pengujian laboratorium dan mesin *rewind* dihitung. Sampel plastik yang ketebalan lapisan metalnya diukur dengan *OD-meter* digunakan sebagai acuan dalam menghitung kesalahan pengukuran. *OD-meter* telah dikalibrasi sesuai dengan teknik pengukuran yang benar

sehingga menghasilkan hasil ukur OD yang akurat untuk nilai acuan dalam menghitung kesalahan pengukuran saat pengujian laboratorium maupun lapangan. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang akurat dari *OD-meter*, dilakukan pengukuran sampel plastik beberapa kali, dalam penelitian ini dilakukan tiga kali pengukuran, dengan nilai OD tercantum pada Tabel I dan Tabel II.

Diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gbr. 9 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Sampel plastik yang digunakan untuk pengujian alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik memiliki ketebalan 0,2 OD; 0,3 OD; 1 OD; 1,19 OD; 1,9 OD; dan 2,2 OD. Nilai-nilai ini diukur dengan *OD-meter* yang telah terkalibrasi dengan benar serta merupakan rata-rata hasil ukur *OD-meter* sebanyak tiga kali pengukuran. Nilai ketebalan yang digunakan sebagai sampel merupakan nilai ketebalan lapisan metal yang sering diproses di PT. Tomoko.
2. Hasil analisis perhitungan ketebalan lapisan metal digunakan untuk membuat alat pengukur ketebalan lapisan metal.
3. Perancangan alat dilanjutkan dengan uji coba laboratorium dan uji coba lapangan di mesin *rewind* sampai diperoleh kesalahan pengukuran kurang dari 2,5%.
4. Perhitungan kesalahan pengukuran (*error*) antara nilai ketebalan lapisan acuan dengan pengukuran alat hasil perancangan dari beberapa sampel plastik dilakukan menggunakan (4).

$$error = \frac{(hasil\ ukur\ OD-Meter) - (hasil\ ukur\ alat)}{(hasil\ ukur\ OD-Meter)} \times 100\% \quad (4)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Perhitungan Ketebalan Lapisan Metal

Analisis perhitungan bertujuan memperoleh data pengukuran yang berkaitan dengan pengukuran ketebalan lapisan metal dengan hukum Beer-Lambert, di antaranya yaitu variabel nilai persen *transmittance* (%T), konversi ketebalan OD ke satuan nanometer (nm), dan resistans permukaan lapisan metal ($\Omega/square$). Variabel-variabel inilah yang digunakan oleh PT. Tomoko untuk melakukan pemantauan nilai ketebalan lapisan metal saat proses *metalization* untuk memenuhi kebutuhan konsumennya. Hasil analisis ini digunakan untuk perancangan alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik.

Berdasarkan hukum Beer-Lambert, dari (1) dan (3) diperoleh hubungan antara *absorbance* dan ketebalan lapisan metal sebagai berikut.

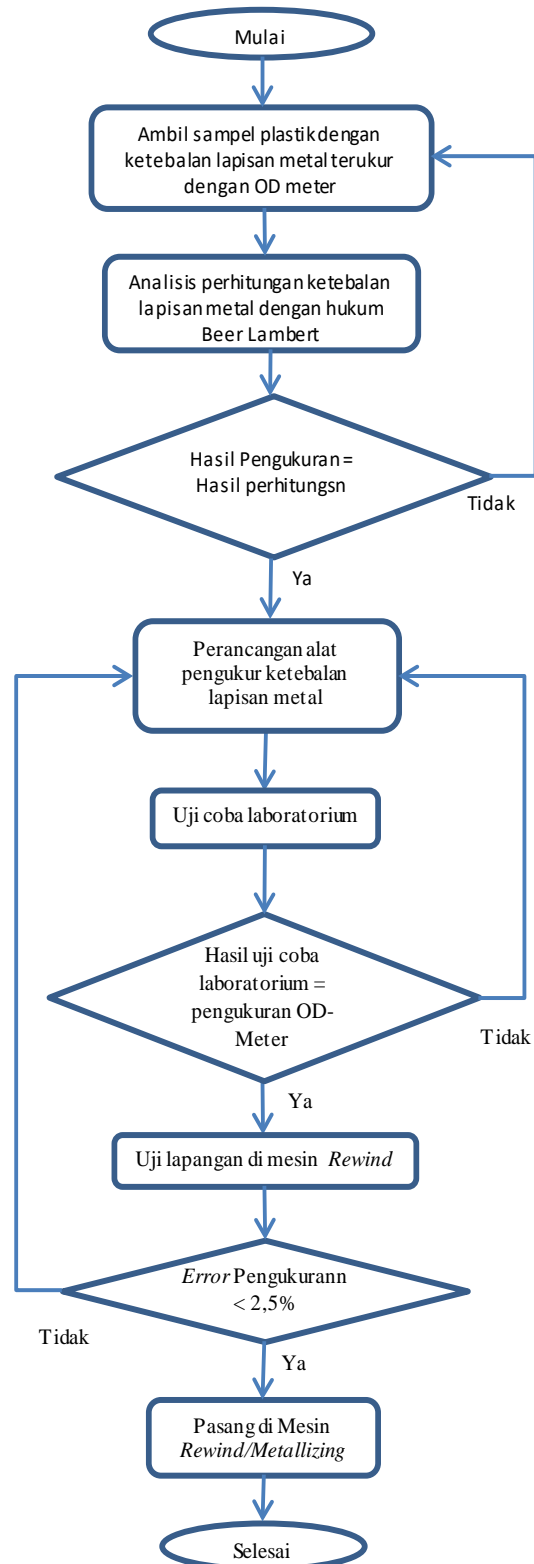
$$t = \frac{2,3026}{a} \times A \quad (5)$$

Nilai koefisien *absorbance* (a) dihitung dengan memperhitungkan *extrintion coefficient* (k) dan panjang gelombang (λ), seperti pada (6) [11].

$$a = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (6)$$

Proses *metalization* di PT. Tomoko Daya Perkasa menggunakan aluminium dengan $\lambda = 590,38\text{ nm}$ dengan

$k = 7,15$ [11], [12]. Dengan menggunakan (1) sampai dengan (6), diperoleh hasil analisis perhitungan untuk beberapa nilai ketebalan lapisan metal yang disajikan dalam Tabel I.



Gbr. 9 Diagram alir penelitian.

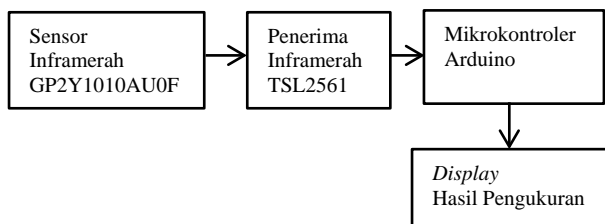
TABEL I
DATA ANALISIS PERHITUNGAN

Ketebalan dengan OD-Meter	Analisis Perhitungan		
	%T	Ketebalan (nm)	$\Omega/square$
0,2	63,1	4	6,85
0,3	50,1	6	4,57
1	10	20	1,37
1,19	6,5	23,8	1,15
1,9	1,3	38	0,72
2,2	0,6	44	0,62

Tabel I menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan lapisan metal (semakin tinggi nilai OD), nilai %T semakin kecil. Hal ini memperlihatkan bahwa intensitas cahaya yang dapat menembus/melewati lapisan metal semakin kecil, sedangkan nilai $\Omega/square$ juga semakin kecil. Jika nilai OD dikonversi ke dalam satuan meter, terlihat semakin besar OD, semakin besar pula nilai ketebalan lapisan metalnya dalam satuan nanometer.

B. Alat Pengukur Ketebalan Lapisan Metal Pada Plastik

Perancangan alat pengukur ketebalan lapisan metal dibuat dengan menggunakan sensor inframerah GP2Y1010AU0F, penerima inframerah TSL2561, mikrokontroler Arduino, dan monitor LCD serta pemrograman Arduino dan VB-NET. Skema rancangan alat ukur ketebalan lapisan metal ditunjukkan pada Gbr. 10.

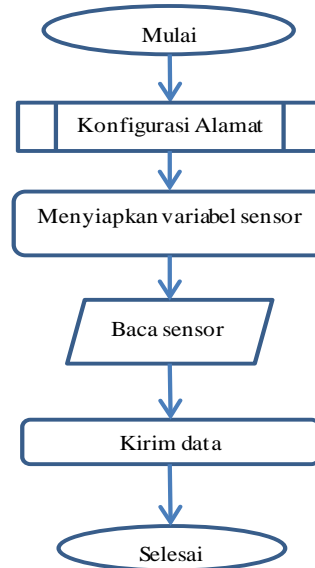


Gbr. 10 Diagram perancangan alat ukur ketebalan metal.

Prinsip dari alat ukur yang dirancang, seperti pada Gbr. 10, adalah sebagai berikut. Sensor tipe GP2Y1010AU0F memancarkan cahaya inframerah mengenai plastik dengan ketebalan lapisan metal tertentu, kemudian cahaya inframerah diterima oleh penerima inframerah TSL 2561. Selanjutnya, data diolah oleh Arduino dengan alur pemrograman ditunjukkan pada Gbr. 11. Perancangan alat berbeda dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, perbedaan data hasil pembacaan sensor berupa sinyal analog, sehingga dibutuhkan rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC) agar data dapat diproses oleh Arduino. Rangkaian ADC yang dirangkai menggunakan *operational-amplifier* (OP-Amp) [13]. Penelitian ini menggunakan penerima inframerah TSL2561 yang menghasilkan data digital dari sinyal inframerah yang diterimanya sehingga tidak diperlukan lagi ADC, menyebabkan rangkaian lebih efisien dalam pemakaian komponen serta data pembacaan sensor yang lebih akurat karena berbasis digital.

Perancangan perangkat lunak mengikuti algoritme seperti pada Gbr. 11, yaitu dimulai dari inialisasi yang meliputi konfigurasi alamat dan menyiapkan variabel sensor

inframerah dilanjutkan dengan pembacaan cahaya inframerah, dan perhitungan berbasis hukum Beer-Lambert sehingga diperoleh besar intensitas cahaya sebelum mengenai lapisan metal dan setelah ditransmisikan. Dari hasil pembacaan intensitas cahaya inframerah, diperoleh nilai *transmittance* dan *absorbance*. Algoritme pemrograman ini lebih cepat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya karena algoritme pemrogramannya tidak melalui pembacaan ADC terlebih dahulu, tetapi data digital keluaran TSL2561 langsung diolah oleh Arduino [13].



Gbr. 11 Diagram alir pemrograman Arduino.

Diagram alir pemrograman VB-Net untuk menampilkan hasil pengukuran ketebalan lapisan metal ditunjukkan Gbr. 12.

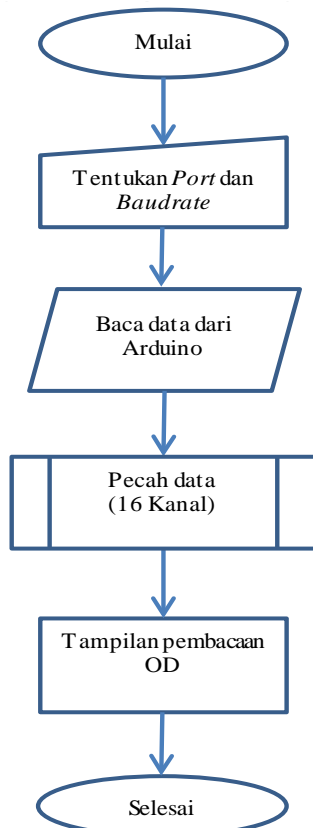
Pemrograman VB-Net pada Gbr. 12 diawali dengan penentuan alamat *port COM* dan *baudrate*, dilanjutkan melakukan komunikasi dan pengambilan data dari Arduino. Selanjutnya data sensor dari Arduino dipecah menjadi enam belas kanal pengukuran OD untuk ditampilkan nilai OD dari plastik yang diukur nilai ketebalan metalnya pada monitor komputer.

C. Hasil Pengujian Laboratorium

Setelah dirangkai, alat ukur ketebalan lapisan metal, ditunjukkan pada Gbr. 13, diuji laboratorium dengan mengukur ketebalan lapisan metal untuk beberapa sampel plastik seperti ditunjukkan pada Tabel II. Data yang diperoleh berupa nilai intensitas cahaya sebelum dan setelah mengenai plastik dengan ketebalan lapisan yang berbeda. Hasil pengukuran rata-rata intensitas cahaya oleh Arduino ditunjukkan Tabel II.

Dari pengujian laboratorium menggunakan sebanyak empat sensor inframerah diperoleh kesalahan pengukuran rata-rata 0,3%. Kesalahan ini masih di bawah toleransi nilai maksimum yang digunakan PT. Tomoko Daya Perkasa dalam memantau toleransi ketebalan proses *metalization* sebesar 2,5% seperti terlihat dalam diagram alir Gbr. 9. Pada penelitian sebelumnya, hasil pengujian laboratorium memberikan kesalahan rata-rata

0,7%, sehingga digunakannya sensor inframerah dan penerima inframerah yang berbasis data digital TSL2561 memperkecil kesalahan pengukuran sebesar 57,1% [13].



Gbr. 12 Diagram alir pemrograman VB-Net.

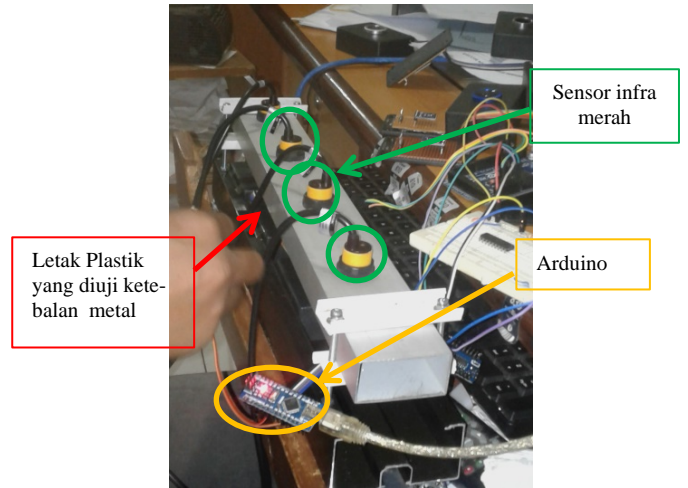
TABEL II
DATA PENGUKURAN PENGUJIAN LABORATORIUM

Ketebalan dengan OD-meter	Intensitas Cahaya (lux)		Nilai OD Pengujian Laboratorium	Kesalahan (%)
	I_0	I		
0,2	636	399	0,2	0
0,3	638	305	0,3	0
1	638	64	0,998	0,2
1,19	636	40	1,2	0,8
1,9	634	8	1,89	0,5
2,2	633	4	2,19	0,45

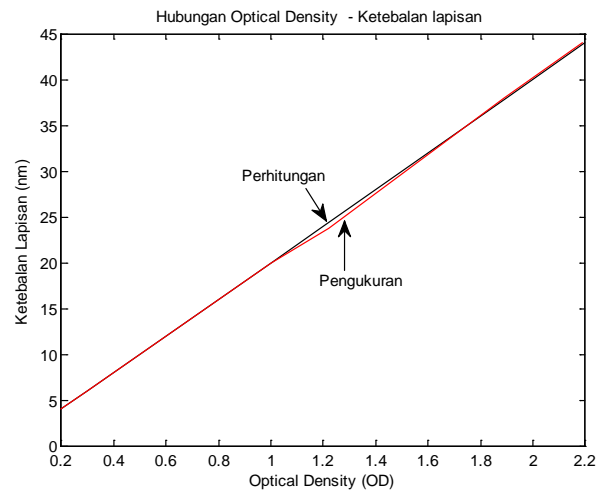
Hasil pengukuran pada Tabel II dan data perhitungan pada Tabel I digunakan untuk menghitung beberapa variabel yang berhubungan dengan pemantauan ketebalan lapisan metal, yaitu %T, resistans permukaan ($\Omega/square$), serta nilai OD, yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel III. Besaran-besaran seperti yang ditunjukkan pada Tabel III belum diteliti sebelumnya, baik analisis perhitungan maupun pengukuran, padahal besaran ini diperlukan oleh PT. Tomoko Daya Perkasa dalam memenuhi permintaan konsumen. Besaran yang ditunjukkan pada Tabel III dapat memberikan kontribusi terhadap PT. Tomoko Daya Perkasa dalam memenuhi permintaan konsumen dalam pemesanan *metalization* pada plastik [13].

TABEL III
PERBANDINGAN PERHITUNGAN DAN PENGUKURAN

Perhitungan			Pengukuran		
Nilai OD	%T	$\Omega/square$	Nilai OD	%T	$\Omega/square$
0,2	63,1	6,85	0,2	62,7	6,85
0,3	50,1	4,57	0,3	47,8	4,57
1	10	1,37	0,998	10	1,37
1,19	6,5	1,15	1,22	6,29	1,14
1,9	1,3	0,72	1,89	1,3	0,73
2,2	0,6	0,62	2,19	0,6	0,63



Gbr. 13 Alat pengukur saat pengujian laboratorium.

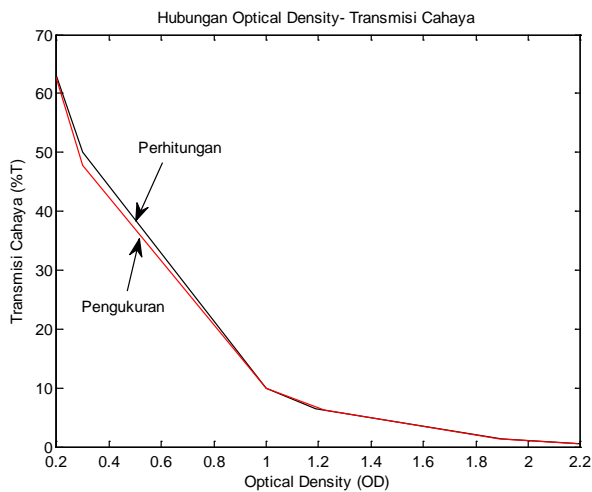


Gbr. 14 Hubungan OD-ketebalan.

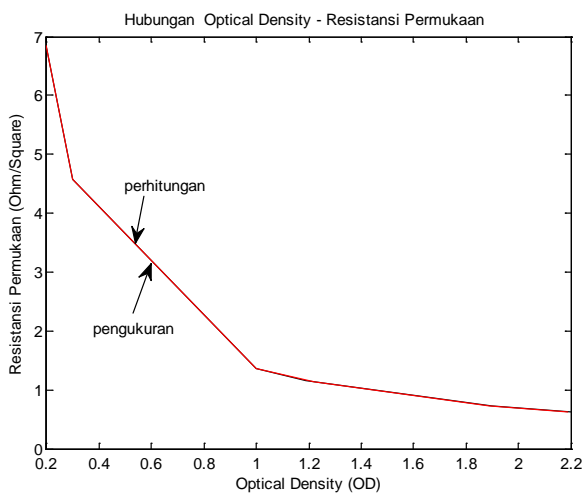
Perbandingan antara perhitungan dan pengukuran pada Tabel III secara grafis ditunjukkan pada Gbr. 14 sampai Gbr. 16. Gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa hasil analisis perhitungan dan hasil pengukuran pengujian laboratorium adalah sama, dengan kesalahan 0,3%. Hal ini dibuktikan dengan grafik antara perhitungan pengukuran hampir berimpit.

Lapisan metal yang semakin tebal memiliki nilai OD yang semakin besar, seperti ditunjukkan pada Gbr. 14, lapisan metal dengan nilai OD yang semakin besar menyebabkan cahaya yang ditransmisikan dalam %T semakin kecil, seperti

Gbr. 15, dan nilai resistans permukaan semakin kecil terjadi pada lapisan dengan ketebalan OD yang semakin besar, seperti diperlihatkan pada Gbr. 16.



Gbr. 15 Hubungan OD-%Transmisi.



Gbr. 16 Hubungan OD-%Resistansi permukaan.

D. Hasil Pengujian Lapangan

Setelah melalui pengujian laboratorium, alat pengukur ketebalan lapisan metal diuji lapangan pada mesin produksi PT. Tomoko Daya Perkasa. Pengujian lapangan dilakukan terlebih dahulu di mesin *rewind*, seperti pada Gbr. 17, yaitu salah satu mesin produksi yang berfungsi untuk membalik lapisan plastik yang telah terlapis metal serta memotong ukuran plastik hasil proses *metalization* sesuai permintaan konsumen.

Gbr. 18 memperlihatkan mesin *rewind* yang telah dipasang alat pengukur ketebalan lapisan metal hasil proses *metalization*. Jumlah sensor inframerah yang aktif pada alat ukur disesuaikan dengan lebar plastik yang diproses saat itu. Saat pengujian lapangan, sensor yang dapat mengenai plastik adalah lima buah sensor dari enam belas kanal sensor yang tersedia pada alat ukur. Jumlah sensor yang aktif sesuai dengan lebar plastik yang diukur ketebalan metalnya.



Gbr. 17 Mesin *rewind* PT. Tomoko Daya Perkasa.

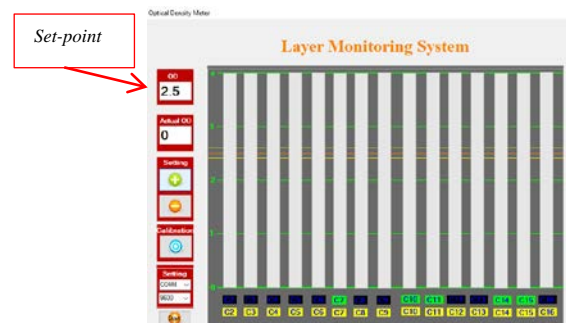


Alat Pengukur Ketebalan Lapisan Metal yang dipasang

Gbr. 18 Mesin *rewind* yang telah dipasang alat ukur.

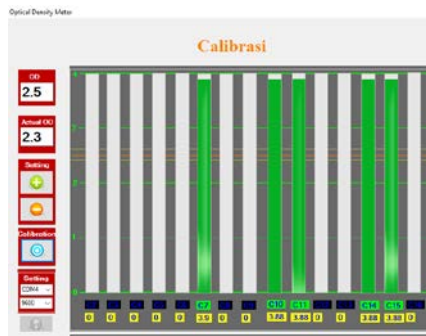


Gbr. 19 Tampilan awal alat ukur.

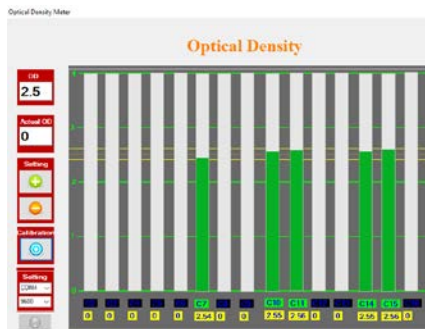


Gbr. 20 *Set-point* alat ukur 2,5 OD.

Pada saat dilakukan pengujian lapangan, alat pengukur ketebalan lapisan metal telah dilengkapi dengan *human machine interface* (HMI) dengan bahasa pemrograman VB-NET. Hasil pengujian lapangan ditunjukkan pada Gbr. 19 sampai dengan Gbr. 22, yang merupakan hasil *capture* dari tampilan di layar komputer.



Gbr. 21 Kalibrasi pengukuran.



Gbr. 22 Hasil pengukuran ketebalan 2,5 OD.

Proses pengujian lapangan diawali dengan Gbr. 19. Alat ukur menyediakan enam belas kanal sensor inframerah untuk membaca ketebalan lapisan metal. Kesiapan sensor ditunjukkan dengan warna hijau C1-C16. Selanjutnya, dilakukan pengaturan *set-point* ketebalan lapisan metal yang akan dipantau/diukur serta mengaktifkan kanal sensor yang akan digunakan. Gbr. 20 menunjukkan *set-point* untuk nilai OD 2,5 dengan sensor aktif pada kanal C7, C10, C11, C15, dan C16. Pengaktifan sensor disesuaikan dengan lebar plastik dan letak sensor yang bisa mengenai plastik yang terpasang pada mesin *rewind*.

Langkah berikutnya, ditunjukkan pada Gbr. 21, adalah kalibrasi pengukuran. Langkah ini untuk mempersiapkan sensor sebelum melakukan pembacaan nilai ketebalan lapisan metal. Jika sensor dalam kondisi siap, maka sensor akan membaca nilai OD yang paling tinggi dari semua pembacaan OD, yaitu 4 OD.

Gbr. 21 menampilkan kondisi saat kalibrasi sensor inframerah membaca nilai OD rata-rata 3,89.

Hasil pengukuran nilai ketebalan lapisan metal pada plastik sebesar 2,5 OD dari pengujian lapangan di mesin *rewind* ditunjukkan pada Gbr. 22. Tiap sensor inframerah pada masing-masing kanal memberikan nilai pembacaan masing-masing 2,54; 2,55; 2,56; 2,55 dan 2,55, sehingga memberikan rata-rata pengukuran OD sebesar 2,55. Besarnya kesalahan pengukuran adalah 1,9%. Kesalahan saat pengujian lapangan ini masih di bawah nilai maksimal toleransi yang digunakan oleh PT. Tomoko Daya Perkasa, yakni bahwa maksimal penyimpangan ketebalan lapisan metal pada proses *metalization* di mesin *metallizing* adalah sebesar 2,5%.

Kesalahan pengukuran yang terjadi disebabkan beberapa hal, di antaranya jarak sensor dengan plastik dan konstruksi

mesin *rewind* yang kompleks. Oleh karena itu, untuk meminimalkan kesalahan pengukuran, alat perlu diletakkan di tempat yang paling sesuai agar sensor inframerah dapat membaca ketebalan lapisan secara optimal. Dari hasil pengujian di mesin *rewind* ini dapat disimpulkan bahwa alat pengukur ketebalan lapisan metal pada plastik dapat bekerja sebagaimana mestinya, sesuai yang diharapkan oleh PT. Tomoko Daya Perkasa, yang selanjutnya akan diimplementasikan ke mesin *metallizing*.

V. KESIMPULAN

Untuk mengukur ketebalan lapisan metal pada plastik di industri *metallizing*, khususnya PT. Tomoko Daya Perkasa, digunakan alat ukur *OD-meter*. Alat ini tidak terpasang pada mesin *metallizing*, sehingga diperlukan alat yang dapat dipasang langsung ke mesin *metallizing* untuk memantau ketebalan saat terjadi proses *metalization*.

Alat pengukur ketebalan lapisan metal dirancang menggunakan sensor inframerah GP2Y1010AU0F dan penerima inframerah TSL 2561 dengan perangkat lunak berbasis pemrograman Arduino dan VB-NET.

Dari pengujian laboratorium dan lapangan di mesin *rewind*, diperoleh kesalahan pengukuran masing-masing sebesar 0,3% dan 1,9%. Nilai kesalahan ini masih di bawah nilai maksimal toleransi yang digunakan oleh PT. Tomoko Daya Perkasa, yaitu maksimal kesalahan 2,5%.

Kesalahan pengujian lapangan disebabkan oleh konstruksi mesin yang sangat kompleks, yang mengakibatkan alat perlu diletakkan di tempat yang paling sesuai sehingga sensor inframerah dapat membaca ketebalan lapisan. Dengan kata lain, perlu dilakukan penempatan alat yang tepat sehingga sensor dapat bekerja secara maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai Penelitian Produk Terapan Tahun 2017. Terima kasih juga disampaikan kepada Politeknik Pratama Mulia Surakarta atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

REFERENSI

- [1] Copeland, N. J., & Astbury, R., "Evaporated Aluminium on Polyester Optical Electrical and Barrier Properties as a Function of Thickness and Time", *AIMCAL Technical Conference*, 2010, hal. 1-18.
- [2] Sudarno, Suharyanto, dan T.Haryono, "Aplikasi Densitas Optis untuk Pengukuran Ketebalan Lapisan Metal pada Plastik," *Science and Enggeering Nasional Seminar 1 (SENS 1)*, 2015, Paper 23, hal 181-191.
- [3] Budianto, Insap.S, dan Sujoko.S, "Purwarupa Sistem Peringatan Dini Awan Panas Gunung Api Berbasis Sistem Informasi Geografis (Kasus Gunung Merapi di Perbatasan Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta)," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, Vol. 1, No. 1, hal. 24-30, Mei 2012.
- [4] *GP2Y1010AU0F Compact Optical Dust Sensor*, SHARP, 2006.
- [5] *TSL2360, TSL2561, Light to Digital Converter*, TAOS, 2009.
- [6] Marsh, K., & Bugusu, B, "Food Packing Roles, Material and Environmental Issues," *Journal of Food Science*, Vol.72, No. .3, hal. 39-58, 2007.
- [7] Ludwid R., Hans.G.L, dan Gerd.H, "Production Proven Vacuum Web Coating System with High Process Flexibility for Robust and

- Environmentally-Friendly Transparent Barriers”, *AIMCAL Fall Technical Conference, Applied Materials*, 2010.
- [8] Akram, H, “Selection of Precise Vacuum Pumps for the Syatems with Diverse Vacuum Ranges,” *Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering*, Vol. XIV, Issue. II, hal. 1-8, 2014.
- [9] Arduino Mega 2560 datasheet, [Online] <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinoomega2560datasheet.pdf>, tanggal akses: 13 November 2017.
- [10] Arduino Nano (V2.3) User Manual, [Online] <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>, tanggal akses: 19 Oktober 2017.
- [11] Nwofe, P, “Influence of Film Thickness on the Optical Properties of Antimony Sulphide Thin Film Grown by the Solution Growth Technique,” *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*, Vol. 4, Hal. 1-6, 2015.
- [12] Bishop, C. A., & Mount III, E, *Metallizing Technical Reference*. In *AIMCAL*, The Association of International Metallizers, Coaters and Laminators, 2012
- [13] Sudarno, Suharyanto, T.Haryono, “Perancangan Alat Pantau Ketebalan Aluminium Pelapis Plastik,” *Proceeding CITEE*, 2015, paper S-TEIa#9, hal. 252-258.