

Pengukuran *Pulse Width Modulation* sebagai Pengatur Resistansi Sensor Cahaya

Mohammad Istajarul Alim, Muchamad Fauzy, Diky Anggoro
Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Raya ITS, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: diky_anggoro@gmail.com

Abstrak — *Pulse width modulation* dikenal baik sebagai piranti yang dapat memodulasi suatu sinyal. Adapun tujuan dari dilakukannya pengukuran ini yaitu untuk mengetahui pengaruh *pulse width modulation* terhadap nilai resistansi sensor cahaya, membandingkan nilai resistansi sensor cahaya berdasarkan perhitungan nilai ADC dan pengukuran multimeter, serta mengetahui karakteristik dari sensor cahaya. Prinsip percobaan yang digunakan yaitu berdasarkan sifat dari PWM yang dapat memodulasi sinyal dengan melebarkan atau menyempitkan sinyal. Ketika dilakukan percobaan, seluruh piranti diatur sedemikian rupa sehingga rangkaian dapat berjalan dengan baik. Nilai PWM yang melalui potensiometer dapat diatur sehingga *code* yang digunakan dapat di *upload* ke program arduino uno. Keluaran yang ditampilkan pada program arduino uno kemudian dicatat dan dibandingkan dengan pengukuran menggunakan multimeter. Variasi juga dilakukan dengan menggunakan LED warna merah, hijau dan biru. Selain itu, PWM juga dilakukan variasi untuk 100, 150, 200 dan 250 dengan pengulangan tiap variasi sebanyak 5 kali. Adapun hasil yang didapatkan pada pengukuran tersebut yaitu didapatkan hubungan antara PWM dengan resistansi sensor dan keseksamaan antara hasil perhitungan nilai ADC dengan pengukuran multimeter.

Kata Kunci – ADC, *pulse width modulation*, sensor cahaya

I. PENDAHULUAN

Kehidupan manusia modern lebih lekat dengan adanya teknologi yang semakin mutakhir. Banyak sekali teknologi-teknologi yang ada sekarang ini didalam bentuk digital. Apapun itu, sangat sulit ditemukan teknologi yang berbasis analog di era zaman ini. Walaupun tidak seluruh teknologi analog telah menghilang, namun presentase penggunaan kedua teknologi ini lebih dominan akan teknologi digital yang khususnya menerapkan rangkaian PWM (*pulse width modulation*) sebagai standarisasi modulasi teknologi yang digunakan. Adapun contoh kongkret teknologi tersebut banyak dijumpai pada permodulasian di jaringan telekomunikasi hingga yang paling sederhana sebagai modulasi sensor seperti pada pengukuran kali ini. Dengan begitu banyaknya manfaat dari penerapan PWM tersebut, maka sangat perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam terhadap bahasan masalah tersebut yang telah dikemukakan.

PWM atau yang disebut dengan *pulse width modulation* adalah salah satu jenis modulasi. Dimana modulasi PWM tersebut dilakukan dengan cara mengubah perbandingan lebar pulsa positif terhadap lebar pulsa negatif ataupun sebaliknya dalam frekuensi sinyal yang tetap. Artinya, total 1 periode pulsa dalam PWM adalah tetap. Penyebutan PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif terhadap total pulsa. PWM adalah teknik modulasi yang

digunakan untuk pengkodean sebuah pesan kedala sinyal berdenyut. Meskipun teknik modulasi ini dapat digunakan untuk pengkodean informasi sebagai transmisi, penggunaan utamanya adalah untuk memungkinkan kontrol daya yang dipasok ke perangkat listrik. Selain itu, PW adalah salah satu dari dua algoritma utama yang digunakan dalam pengisian daya baterai surya fotovoltaik. Adapun secara umum penggunaan PWM dapat dibedakan sebagai daya keluaran suatu perangkat, sebagai daya masukan kendali suatu perangkat, sebagai penentu sudut posisi motor DC servo dan sebagai pengendali kecepatan motor DC bersikat [1].

ADC atau yang disebut dengan *analog to digital converter* merupakan suatu perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi digital. Dimana suatu perangkat ADC dapat berbentuk suatu modul atau rangkaian elektronika maupun suatu *chip* IC. ADC difungsikan untuk menjembatani pemrosesan sinyal analog oleh sistem digital. ADC dapat dikatakan sebagai piranti yang dapat mengubah sinyal input analog menjadi kode-kode digital. ADC dapat digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukur atau pengujian. Umumnya, ADC digunakan sebagai perantara antar sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan ataupun berat dan aliran yang kemudian dilakukan pengukuran dengan menggunakan sistem digital. Prinsip kerja dari ADC yaitu dengan mengkonversi sinyal analog kedalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Sebagai contoh, apabila tegangan referensi 5 volt dan tegangan input 3, volt, maka rasio input terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit berskala maksimum 255 akan didapatkan sinyal digital sebesar $60\% \times 255 = 153$ [2].

Sensor cahaya merupakan suatu komponen elektronika yang dapat melakukan perubahan besaran elektrik pada saat terjadi perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya tersebut. Secara dasar, sensor cahaya dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu sensor *photovoltaic* dan *photoconductive*. Dimana untuk *photovoltaic* yaitu suatu sensor cahaya yang dapat merubah besarnya nilai intensitas cahaya menjadi suatu perubahan tegangan. Salah satu contoh dalam penggunaan jenis sensor *photovoltaic* adalah *sollar cell*. Kemudian untuk jenis sensor kedua yaitu *photoconductive* merupakan suatu sensor cahaya yang dapat merubah besarnya nilai intensitas cahaya menjadi suatu perubahan nilai konduktansi atau dalam hal ini merupakan nilai resistansi. Contoh penggunaan prinsip sensor *photoconductive* dapat dicontohkan seperti pada piranti LDR, *photodiode*, dan *phototransistor* [3].

LDR merupakan sensor cahaya yang memiliki 2 terminal output, dimana kedua terminal output tersebut memiliki

resistansi yang dapat berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang ditermia. Dimana nilai resistansi kedua terminal output LDR akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang ditermia LDR semakin tinggi. Selanjutnya untuk *phototransistor* merupakan suatu transistor yang memiliki resistansi antar kaki kolektor dan emitor yang dapat berubah sesuai intensitas cahaya yang diterima. *Phototransistor* memiliki dua terminal output dengan nama emitor dan kolektor, dimana nilai resistansi emitor dan kolektor tersebut akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterima *phototransistor* semakin tinggi. Dan yang terakhir *photodiode* yaitu suatu dioda yang akan mengalami perubahan resistansi pada terminal anoda dan katoda apabila terkena cahaya. Nilai resistansi anoda dan katoda pada *photodiode* akan semakin rendah apabila intensitas cahaya yang diterima *photodiode* semakin tinggi [3].

Pembagi tegangan merupakan rangkaian sederhana yang dapat merubah tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Prinsipnya yaitu dengan menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri. Dengan diberikan sebuah tegangan input, kita dapat membuat tegangan output yang mana tegangan output ini merupakan hasil perhitungan dari tegangan input. Aplikasi rangkaian pembagi tegangan dapat dijumpai pada rangkaian penguat transistor dengan bias pembagi tegangan [4].

Aplikasi secara nyata pada sistem pembagi tegangan dapat dijumpai pada perangkat elektronika berupa potensiometer. Dimana potensiometer adalah variabel resistor yang dapat digunakan untuk membuat atau merancang sebuah pembagi tegangan yang dapat diatur keluarannya. Didalam potensiometer terdapat resistor tunggal dan sebuah *wiper* yang berdungsi membelah resistor tunggal tersebut menjadi dua bagian dan bergerak untuk mengatur perbandingan resistansi dari dua dua bagian resistor tersebut. Didalam potensiometer terdapat tiga buah kaki, dimana dua kaki yang menghubungkan tiap ujung dari resistor, dan kaki ketiga terhubung dengan *wiper* potensiometer. Fungsi potensiometer secara umum yaitu dapat digunakan untuk mengatur stasiun radio, membuat tegangan referensi, mengukur posisi pada *joy stick*, atau aplikasi lain yang membutuhkan tegangan bervariasi [4].

II. METODE PENELITIAN

Pada percobaan pengukuran *pulse width modulation* sebagai pengatur resistansi sensor cahaya dilakukan dengan mengukur nilai resistansi yang ada berdasarkan perhitungan dan pengukuran. Adapun metode yang digunakan dapat dijelaskan berikut ini.

2.1 Peralatan pengukuran

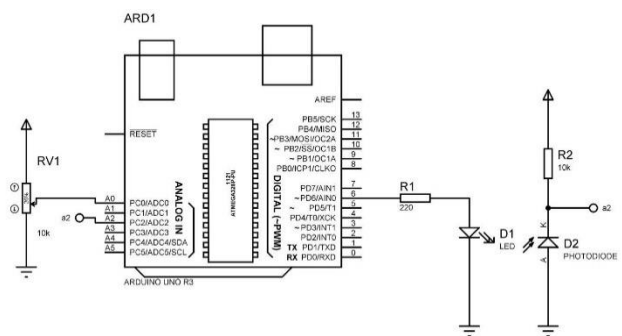
Dalam percobaan ini, peralatan pengukuran yang digunakan yaitu perangkat lunak arduino uno beserta komputer yang digunakan sebagai *mikrokontroler* pengendali komponen elektronika. Variabel resistor atau potensiometer digunakan sebagai perangkat resistansi yang dapat berubah-ubah nilai resistansinya. Sensor cahaya digunakan sebuah LDR yang memiliki kepekaan terhadap intensitas cahaya. Kemudian untuk sumber cahaya digunakan LED dengan warna merah, hijau dan biru yang akan memberikan rangsangan terhadap LDR. Resistor juga digunakan sebagai komponen hambatan tetap. Dan yang terakhir digunakan *project board*, kabel beserta beberapa jumper sebagai komponen sekunder untuk menghubungkan komponen-komponen elektronika primer lainnya.

2.2 Langkah Kerja

Langkah kerja dilakukannya pengukuran ini adalah dengan menyiapkan peralatan pengukuran dan sisusun seperti pada gambar 1. Kemudian perangkat elektronika yang ada dihubungkan dengan komputer melalui *port* USB yang tersedia. Program komputer arduino uno kemudian dijalankan dan dilakukan pemrograman untuk pengukuran hingga diolah menjadi nilai resistansi perhitungan berdasarkan arduino sebanyak 5 kali pengulangan dengan PWM yang berbeda. Setelah dilakukan langkah tersebut, resistansi LDR kemudian diukur dengan menggunakan multimeter. Seluruh langkah tersebut kemudian dilakukan variasi untuk LED dengan warna yang berbeda. Hasil akhir dari pengukuran tersebut yaitu dengan membandingkan nilai resistansi LDR berdasarkan pengukuran multimeter dengan perhitungan arduino.

2.3 Skema Alat

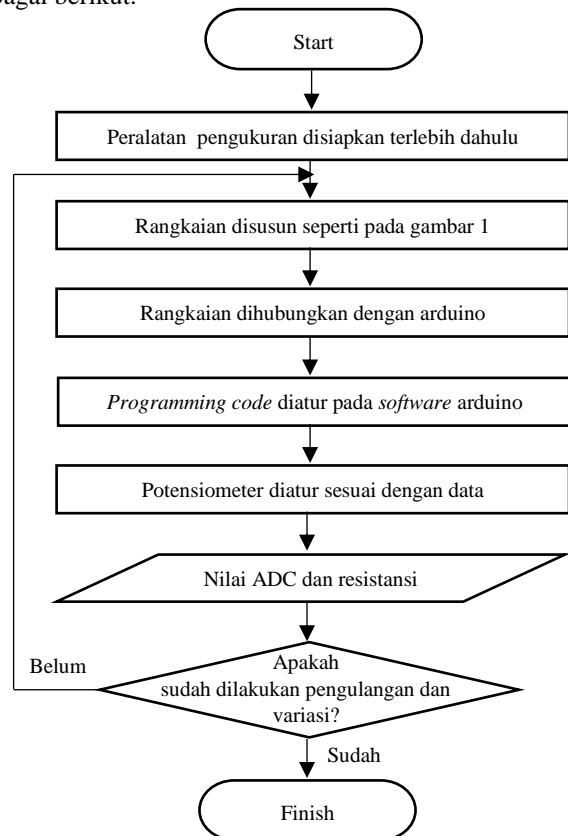
Adapun skema alat yang digunakan dalam percobaan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Skema alat dalam percobaan

2.4 Diagram alir

Diagram alir yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram alir percobaan

III. HASIL DAN DISKUSI

Data yang telah didapatkan pada pengukuran ini yaitu nilai ADC dan resistansi dari LDR secara pengukuran multimeter. Adapun data tersebut kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan tegangan dan resistansi LDR secara perhitungan sehingga dapat di plot dalam bentuk grafik dan dilakukan pembahasan yang ada.

3.1 Analisa Data

Berdasarkan hasil pengukuran atas variasi PWM dan lampu LED tiga warna serta pengulangan pengukuran sebanyak lima kali, maka didapatkan data-data pengukuran tersebut yang dapat ditampilkan pada tabel 1, 2 dan 3 berikut ini.

Tabel 1.
Hasil percobaan untuk LED biru

PWM	Pengulangan	ADC LDR	R LDR percobaan (Ω)	Rata-rata R percobaan (Ω)
50	1	170	376	376,2
	2	153	377	
	3	237	375	
	4	211	377	
	5	100	376	
100	1	154	363	364,4
	2	107	364	
	3	118	365	
	4	185	364	
	5	164	366	
150	1	112	364	366,4
	2	134	369	
	3	153	368	
	4	116	365	
	5	110	366	
200	1	101	346	349
	2	102	347	
	3	105	349	
	4	124	350	
	5	110	353	
250	1	97	356	356,2
	2	97	357	
	3	97	355	
	4	98	356	
	5	97	357	

Tabel 2.
Hasil percobaan untuk LED hijau

PWM	Pengulangan	ADC LDR	R LDR percobaan (Ω)	Rata-rata R percobaan (Ω)
50	1	119	328	329,2
	2	116	330	
	3	107	329	
	4	94	330	
	5	111	329	
100	1	68	285	285,8
	2	56	286	
	3	60	285	
	4	76	287	
	5	68	286	
150	1	47	234	234,6
	2	51	235	
	3	41	236	
	4	42	233	
	5	47	235	
200	1	44	205	205,8
	2	39	206	
	3	40	207	
	4	41	206	
	5	44	205	
250	1	34	179	180
	2	35	180	
	3	34	181	
	4	34	180	
	5	34	180	

Tabel 3.
Hasil percobaan untuk LED merah

PWM	Pengulangan	ADC LDR	R LDR percobaan (Ω)	Rata-rata R percobaan (Ω)
50	1	180	363	364,4
	2	165	365	
	3	155	364	
	4	174	365	
	5	167	365	
100	1	122	357	357
	2	125	358	
	3	118	357	
	4	108	356	
	5	117	357	
150	1	92	333	333
	2	96	333	
	3	103	333	
	4	98	333	
	5	92	333	
200	1	82	320	319,2
	2	82	319	
	3	84	319	
	4	87	319	
	5	81	319	
250	1	75	307	307
	2	75	307	
	3	75	307	
	4	75	307	
	5	75	307	

3.2 Data perhitungan

Dari data-data pada percobaan yang telah dilakukan, maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai tegangan dan resistansi LDR berdasarkan perhitungan. Adapun contoh perhitungan yang dapat dituliskan adalah sebagai berikut.

$$V_{LDR} = \frac{ADC \times VCC}{119 \times 5} = \frac{1023}{119 \times 5} = 0,582 \text{ volt}$$

$$R_{LDR \text{ Perhitungan}} = \frac{V_{LDR} \times R}{VCC - V_{LDR}} = \frac{0,582 \times 4700}{5 - 0,582} = 618,695 \Omega$$

Berdasarkan contoh perhitungan untuk menentukan nilai tegangan dan resistansi LDR secara perhitungan, maka dapat dilakukan perhitungan untuk data yang lain. Adapun data-data tersebut adalah sebagai berikut ini.

Tabel 4.
Hasil perhitungan untuk LED biru

PWM	Pengulangan	V LDR (volt)	R LDR perhitungan (Ω)	Rata-rata R perhitungan (Ω)
50	1	0,831	936,694	982,187
	2	0,748	826,552	
	3	1,158	1417,176	
	4	1,031	1221,305	
	5	0,489	509,209	
100	1	0,753	832,911	785,932
	2	0,523	549,017	
	3	0,577	612,818	
	4	0,904	1037,589	
	5	0,802	897,322	
150	1	0,547	577,827	656,036
	2	0,655	708,436	
	3	0,748	826,552	
	4	0,567	601,103	
	5	0,538	566,265	

200	1	0,494	514,859	557,501
	2	0,499	520,521	
	3	0,513	537,582	
	4	0,606	648,276	
	5	0,538	566,265	
250	1	0,474	492,333	493,455
	2	0,474	492,333	
	3	0,474	492,333	
	4	0,479	497,946	
	5	0,474	492,333	

Tabel 5.
Hasil perhitungan untuk LED hijau

PWM	Pengulangan	V LDR (volt)	R LDR perhitungan (Ω)	Rata-rata R perhitungan (Ω)
50	1	0,582	618,695	563,284
	2	0,567	601,103	
	3	0,523	549,017	
	4	0,459	475,565	
	5	0,543	572,039	
100	1	0,332	334,660	322,305
	2	0,274	272,182	
	3	0,293	292,835	
	4	0,371	377,191	
	5	0,332	334,660	
150	1	0,230	226,332	219,345
	2	0,249	246,605	
	3	0,200	196,232	
	4	0,205	201,223	
	5	0,230	226,332	
200	1	0,215	211,236	199,247
	2	0,191	186,280	
	3	0,196	191,251	
	4	0,200	196,232	
	5	0,215	211,236	
250	1	0,166	161,577	162,561
	2	0,171	166,498	
	3	0,166	161,577	
	4	0,166	161,577	
	5	0,166	161,577	

Tabel 6.
Hasil perhitungan untuk LED merah

PWM	Pengulangan	V LDR (volt)	R LDR perhitungan (Ω)	Rata-rata R perhitungan (Ω)
50	1	0,880	1003,559	925,376
	2	0,806	903,846	
	3	0,758	839,286	
	4	0,850	963,251	
	5	0,816	916,939	
100	1	0,596	636,404	613,032
	2	0,611	654,232	
	3	0,577	612,818	
	4	0,528	554,754	
	5	0,572	606,954	
150	1	0,450	464,447	487,953
	2	0,469	486,731	
	3	0,503	526,196	
	4	0,479	497,946	
	5	0,450	464,447	
200	1	0,401	409,564	416,115
	2	0,401	409,564	
	3	0,411	420,447	
	4	0,425	436,859	
	5	0,396	404,140	
250	1	0,367	371,835	371,835
	2	0,367	371,835	
	3	0,367	371,835	
	4	0,367	371,835	
	5	0,367	371,835	

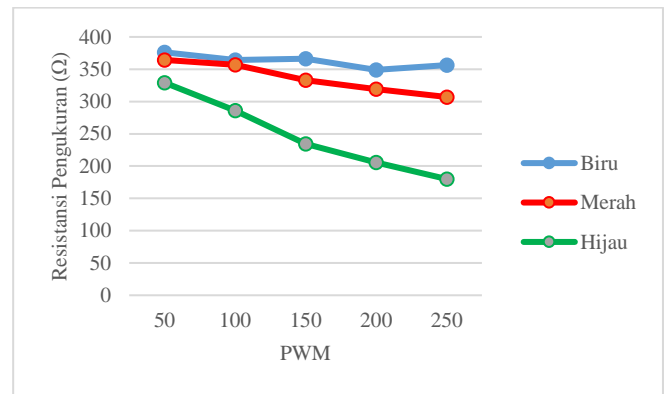
Nilai resistansi LDR berdasarkan perhitungan dan pengukuran yang telah diperoleh, kemudian dapat dilakukan perhitungan error berdasarkan dua data tersebut. Adapun tabel error tersebut dapat ditulis sebagai berikut.

Tabel 7.
Hasil perhitungan error resistansi

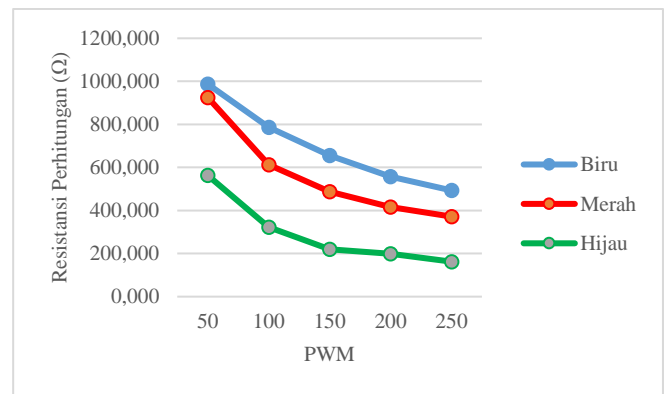
LED	PWM	R pengukuran (Ω)	R perhitungan (Ω)	Error (%)
Biru	50	376,2	987,187	61,9
	100	364,4	785,932	53,6
	150	366,4	656,036	44,1
	200	349	557,501	37,4
	250	356,2	493,455	27,8
Hijau	50	329,2	563,284	41,6
	100	285,8	322,305	11,3
	150	234,6	219,345	6,9
	200	205,8	199,247	3,3
	50	180	162,561	10,7
Merah	50	364,4	925,376	60,6
	100	357	613,032	41,8
	150	333	487,953	31,8
	200	319,2	416,115	23,3
	50	307	371,835	17,4

3.3 Grafik

Setelah didapatkan data resistansi LDR secara pengukuran dan perhitungan, maka dapat dibandingkan dengan PWM. Adapun grafik perbandingan tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik hubungan resistansi pengukuran dengan PWM



Gambar 4. Grafik hubungan resistansi perhitungan dengan PWM

3.4 Pembahasan

Berdasarkan percobaan untuk menentukan nilai resistansi LDR berdasarkan perhitungan dan pengukuran, didapatkan data yang fluktuatif walaupun nilainya kecil. Hal ini dapat dicontohkan pada data percobaan untuk nilai PWM yang tetap, namun nilai ADC nya berubah-ubah. Hal ini dikarenakan adanya faktor gangguan pada rangkaian yang digunakan. Faktor tersebut seperti VCC pada port USB yang tidak selalu konstan 5 volt dan faktor dalam bahan rangkaian itu sendiri yang mengakibatkan hambatan dalam yang berbeda-beda.

PWM pada pengukuran kali ini berperan dalam mengubah lebar pulsa-pulsa yang ada. Adapun apabila dikaitkan hubungannya dengan intensitas cahaya yang diterima oleh

LDR, maka kedua nilai tersebut memiliki hubungan yang sebanding. Berdasarkan data pengukuran yang diperoleh, telah didapatkan bahwa nilai PWM keseluruhannya akan berbanding terbalik dengan nilai resistansi LDR kecuali untuk LED biru terdapat eror yang besar untuk data PWM 150 dan 250. Kemudian untuk hubungan resistansi LDR dengan intensitas cahaya yang diterima LDR sendiri akan berbanding terbalik. Jelas, berdasarkan kedua hal tersebut, maka akan mengakibatkan hubungan PWM dan besarnya intensitas cahaya yang diterima oleh LDR akan berbanding lurus.

Apabila data yang ada dibandingkan berdasarkan jenis warna lampu LED yang digunakan dengan nilai PWM yang sama, maka LED biru akan menghasilkan resistansi pada LDR lebih besar daripada warna lain dan warna hijau akan menghasilkan resistansi pada LDR paling kecil. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dipastikan bahwa LED biru akan memiliki intensitas paling kecil dan LED hijau akan memiliki intensitas paling besar karena hubungan perbandingan pada paragraf sebelumnya berdasarkan percobaan ini.

Data nilai resistansi hasil pengukuran dan perhitungan yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perbandingan berdasarkan nilai PWM berdasarkan grafik. Hasil grafik yang didapatkan akan menghasilkan regresi linier yang condong negatif berdasarkan data pengukuran maupun perhitungan. Hal ini mengidentifikasi merupakan hubungan yang tidak sebanding seperti yang telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya. Berdasarkan data pada grafik yang didapatkan juga bisa dilakukan pengecekan adanya penyimpangan data yang ada. Terlihat bahwa penyimpangan data terdapat pada LED biru untuk data pengukuran dengan nilai PWM 150 dan 250. Seharusnya, data resistansi tersebut harus lebih kecil daripada PWM sebelumnya, namun berdasarkan percobaan didapatkan nilai yang lebih besar. Hal ini dapat terjadi karena adanya faktor eror seperti yang telah dijelaskan pada paragraf pertama.

Hasil resistansi LDR berdasarkan pengukuran multimeter dan perhitungan ACD dapat dibandingkan dan didapatkan nilai eror berdasarkan acuan data perhitungan. Eror yang didapatkan pun berbeda-beda berkisar 60% hingga yang paling kecil hingga 3%. Hal ini dapat terjadi karena dugaan faktor eror pada multimeter saat pengukuran, dimana disaat pengukuran resistansi LDR dengan menggunakan multimeter masih terhubung dengan rangkaian walaupun untuk seluruh tegangan yang mengalir pada LDR sudah diputus, namun hal tersebut masih akan menghasilkan adanya eror pada resistansi LDR. Faktor lain dapat terjadi pada alat pengukuran yaitu multimeter itu sendiri. Dimana hasil output resistansi yang dikeluarkan oleh multimeter berfluktuatif sehingga perlu dilakukan koreksi ulang.

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada percobaan ini yaitu pengaruh PWM terhadap nilai resistansi sensor cahaya LDR pada percobaan ini adalah berbanding terbalik baik secara pengukuran multimeter maupun perhitungan ADC. Kemudian, untuk nilai resistansi itu sendiri berdasarkan pengukuran dan perhitungan dapat dibandingkan dengan nilai eror berkisar antara 60% hingga 3% pada setiap variasi dan pengulangan. Sedangkan untuk karakteristik dari sensor LDR yang digunakan adalah berbanding terbalik antara resistansi dan intensitas yang diterima. Namun untuk intensitas dengan PWM akan berbanding lurus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ibrahim D. *Advanced PIC Microcontroller Projects in C*. New York : Mc Graw Hill Company (2000)
- [2] Budiharto W. *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo (2005)
- [3] Wilson J. *Sensor Technology Handbook*. New York : John Wiley & Sonor (2004)
- [4] Alexander C, Sadiku M. *Fundamentals of Electric Circuits*. New York: Prentice Hall Company (2013)

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya selaku penulis laporan ini dan praktikan dari percobaan pengukuran *pulse width modulation* sebagai pengatur resistansi sensor cahaya mengucapkan terimakasih kepada segenap asisten laboratorium elektronika. Terimakasih saya sampaikan kepada saudara Muchamad Fauzy sebagai asisten laboratorium dari percobaan pengukuran *pulse width modulation* sebagai pengatur resistansi sensor cahaya. Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada rekan-rekan dan semua pihak yang terkait dalam percobaan pengukuran *pulse width modulation* sebagai pengatur resistansi sensor cahaya saat melakukan percobaan serta dalam melakukan penyusunan laporan praktikum ini.