

RANCANG BANGUN ALAT UKUR JARAK DENGAN MEDIA LASER MENGUNAKAN METODE PERUBAHAN SUDUT MOTOR SERVO BERBASIS MIKROKONTROLLER

DESIGNING DISTANCE MEASURING TOOL WITH LASER USING THE ANGLE OF CHANGES IN SERVO MOTOR BASED ON MIKROKONTROLLER

Zulhendri¹, M.Ramdlan Kirom, M.Si², DR. Abrar, S.Si, M.Si³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹zulhendri192@gmail.com, ²mramdlankirom@telkomuniversity.co.id, ³abrarselah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pokok pembahasan pada penelitian ini adalah menjelaskan proses perancang alat ukur jarak menggunakan laser dengan menggunakan metode perubahan sudut motor servo. Pada proses perancangan sistem, ada beberapa aspek yang harus diperhatikan seperti karakteristik objek ukur dan penempatan laser. Objek ukur harus memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, kriterianya antara lain memiliki bidang permukaan yang datar, memiliki tingkat reflektivitas di atas 90%, dan berbanding lurus dengan alat ukur. Dalam perancangan sistem, mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega8535. Untuk proses simulasi menggunakan aplikasi Proteus 8 Profesional. Variable pengukuran pada penelitian ini adalah besar delay yang diberikan pada motor servo dan jarak objek yang diubah secara berkala. Pada delay 600 ms, tingkat presisi alat ukur menjadi yang tertinggi bila dibandingkan dengan delay 200 dan 400 ms. Tingkat presisi pada delay 600 ms sebesar 91 s/d 100%. Selain memiliki tingkat akurasi yang tinggi, pada delay 600 ms nilai rata-rata perhitungan yang dihasilkan mendekati nilai aktual objek ukur.

Kata kunci : motor servo; delay; laser; presisi.

Abstract

The subject of this research is to explain the process designer uses a laser distance measuring devices using servo motors angle changes. In the system design process, there are some moldy that must be considered such as the characteristics of the measuring object and laser placement. Kireteria measuring object must meet predetermined, among other kireterianya have permukaan fields are flat, have a level of reflectivity above 90%, and is directly proportional to the measuring instrument. In designing the system, the microcontroller used is ATmega8535. For the process simulation using Proteus 8 Professional application. Variable measurements in this study were given a large delay in the servo motor and the distance of the object is modified periodically secara. On delay of 600 ms, tingkat precision measuring instrument to be the highest when compared with the 200 and 400 ms delay. The level of precision in the delay of 600 ms for 91 s / d 100%. Besides having a high degree of accuracy, the delay of 600 ms average value calculation of the resulting object approaching the actual value measurement.

Keywords: servo motor; delay; lasers; precision.

1. Pendahuluan

Pengembangan teknik pengukuran jarak menggunakan bantuan sinyal (radio, ultrasonik atau optik/laser) masih tergolong baru di dalam masyarakat. Meskipun demikian, teknik pengukuran ini memiliki keunggulan, baik dalam kecepatan ukur, akurasi, keselamatan, serta kemudahan dalam mengukur dibanding dengan mistar atau meteran dalam melakukan pengukuran jarak jauh. Prinsip dasar dari teknik pengukuran jarak menggunakan sinyal (radio, ultrasonik atau optik) adalah memanfaatkan sinyal pantulan dari objek yang kemudian diolah untuk menentukan jarak tempuh sinyal. Dalam pengukuran jarak yang membutuhkan tingkat resolusi yang tinggi, teknik pengukuran menggunakan optik/laser merupakan pilihan yang tepat, karena sinyal radio atau ultasonik tidak bersifat fokus pada satu titik, sehingga hasil pengukurannya tidak tepat [1].

Meskipun alat ukur menggunakan laser merupakan pilihan terbaik dalam proses pengukuran jarak, namun dalam kenyataannya penggunaan alat ini di masyarakat masih tergolong langka. Mahalnya komponen-komponen penyusun alat dan kompleksnya metode pengolahan data yang digunakan membuat harga alat ukur ini menjadi mahal. Hal inilah yang menjadi alasan utama untuk merancang ulang alat ukur jarak menggunakan laser dengan menggunakan komponen penyusun berharga murah dan menggunakan metoda yang sederhana dalam proses pengolahan datanya, akan tetapi memiliki tingkat akurasi tinggi dalam proses perhitungannya.

Pada penelitian ini, Teknik yang penulis gunakan menyerupai teknik pengukuran rotasi pada alat ukur tachometer. Perbedaan adalah tachometer digunakan untuk mengukur putaran pada motor, sedangkan alat yang akan penulis rancang memanfaatkan putaran motor servo sebagai interval pengiriman pulsa. Masalah yang muncul saat menggunakan metode ini adalah proses pengukuran sangat bergantung pada sinar laser yang dipantulkan oleh objek yang ingin diukur. Oleh sebab itu, reflektivitas objek, bentuk permukaan objek, dan sudut penembakan sinar laser harus diperhatikan. Perubahan sudut motor servo dan sensitifitas sensor cahaya juga menjadi faktor utama dalam menentukan besar presisi alat ukur.

2. Dasar Teori

2.1 Laser

Laser merupakan perangkat yang memancarkan cahaya melalui proses amplifikasi optik berdasarkan stimulasi emisi dari radiasi elektromagnetik [2]. Kata laser sendiri merupakan singkatan dari Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Laser berbeda dari sumber cahaya lain karena mereka memancarkan cahaya yang koheren. Koherensi yang spasial memungkinkan laser untuk fokus pada satu titik meski menempuh jarak yang jauh. Laser juga memiliki tingkat temporal coherence yang tinggi yang memungkinkan laser memiliki spektrum yang sangat sempit, inilah yang menyebabkan laser hanya memancarkan satu warna [1]. Dalam penggunaannya, energi laser yang terpancar tiap satuan waktu dinyatakan dengan orde dari beberapa mW (Laser yang digunakan dalam system audio laser disk) sampai dengan beberapa MW (Laser yang digunakan untuk senjata). Besarnya energi laser yang dipilih bergantung pada penggunaannya.

2.2 Reflektivitas

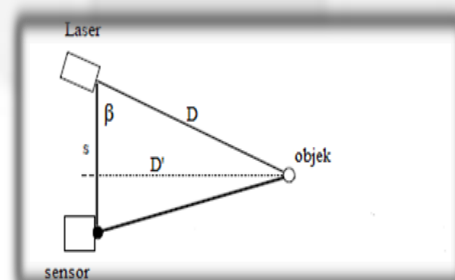
Salah satu sifat dari cahaya yaitu cahaya dapat dipantulkan. Bunyi dari hukum pemantulan cahaya (Snellius) adalah sebagai berikut :

1. Sinar datang, sinar pantul dan garis normal terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang sama dengan sudut pantul.

Ada dua jenis pemantulan cahaya, yaitu pemantulan baur dan pemantulan teratur. pemantulan baur dan teratur dibedakan dari objek benda yang memantulkan cahaya. Untuk pemantulan baur, objek benda tidak memiliki permukaan yang licin dan datar. Untuk permukaan teratur, objek memiliki permukaan yang licin dan datar.

2.3 Prinsip Pengukuran Jarak *Time-of-Flight*

Prinsip pengukuran jarak *Time-of-Flight* dibedakan menjadi dua metode pengukuran, yaitu perhitungan jarak dengan selisih waktu tempuh dan perhitungan dengan besar sudut. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode perhitungan dengan besar sudut. Untuk proses perhitungan dengan metode besar sudut dapat dilihat pada persamaan (1). ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi berdasarkan besar sudut.

Jarak antara objek dan alat ukur yang sebenarnya (D') dapat diperoleh dari:

$$D' = \tan \beta \times S \quad (1)$$

Dengan : D' = jarak yang sebenarnya (m)

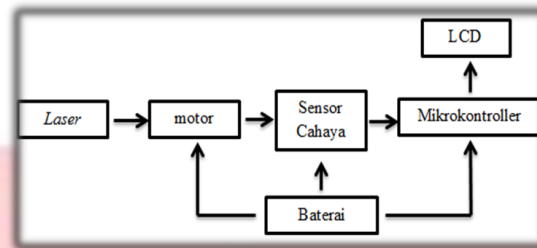
β = sudut putaran motor yang terbaca pada mikrokontroller

S = $\frac{1}{2}$ jarak antara laser dan sensor (m)

3. Perancangan Sistem

3.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem terdiri dari laser, motor servo, senso cahaya, catu daya, mikrokontroller, dan LCD. setiap komponen penyusun sistem memiliki fungsi yang berbeda beda. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



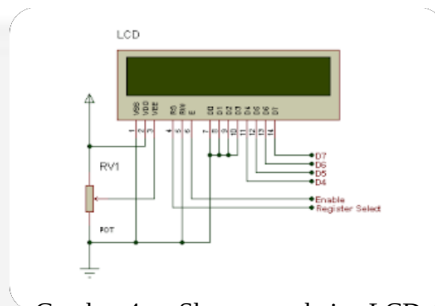
Gambar 3. Diagram blok sistem.

Fungsi dari masing masing blok pada diagram diatas adalah sebagai berikut:

a. Sumber Tegangan (Baterai)

Baterai berfungsi untuk menyuplai tegangan 5V DC pada sistem. Pemilihan baterai sebagai sumber tegangan karena sifat baterai selain mudah digunakan, baterai juga mudah dibawa.

b. Liquid Crystal Display (LCD)

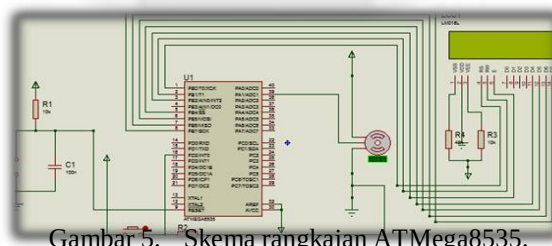


Gambar 4. Skema rangkaian LCD.

LCD berfungsi untuk menampilkan data hasil perhitungan jarak. LCD ini menggunakan 4 bit jalur data. Jalur data ini menggunakan pin C.4 hingga C.7 dari AVR ATmega8535. Sedangkan untuk mengontrol LCD, digunakan pin C.1 dan C.3 dari AVR ATmega8535. Kaki PC.0 digunakan untuk mengontrol kaki RS dari LCD dan kaki PC.2 untuk mengontrol kaki EN dari LCD.

c. Mikrokontroller ATmega8535

ATmega8535 dipilih sebagai mikrokontroller karena perhitungan ATmega8535 hanya membutuhkan 1 kali clock cycles. ATmega 8535 juga memiliki osilator internal dengan kapasitas 8 MHz.



Gambar 5. Skema rangkaian ATmega8535.

d. Laser Pointer

Dalam penelitian ini akan digunakan sebuah laser pointer sebagai sumber cahaya. Laser pointer berfungsi sebagai sumber pulsa, pulsa inilah yang nantinya dimanfaatkan sebagai media ukur jarak antara alat dengan objek. Pulsa laser akan ditembakkan mengenai objek. Objek yang terkena oleh sinar laser akan memantulkan pulsa yang dihasilkan oleh laser. Pulsa hasil dari pantulan objek inilah yang akan dibaca oleh sensor. Dalam alat ini laser berfungsi untuk memberi kondisi logika satu kepada sensor.



Gambar 6. Laser pointer.

e. Fotodioda

Dalam penelitian ini akan digunakan fotodioda sebagai sensor cahaya. Pemilihan fotodioda sebagai sensor cahaya karena karakteristiknya yang sensitif terhadap perubahan cahaya. Proses kerjanya yang cepat menjadikan fotodioda sebagai sensor cahaya yang cocok pada perancangan alat ini. Responsivitas dari fotodioda merupakan perbandingan dalam mA/mW. Jika cahaya yang teradiasi pada cell 2 mv, dioda akan menghasilkan arus yang mengalir sebesar 1 mA [6].



Gambar 7. Fotodioda.

f. Motor Servo GWServo S03T

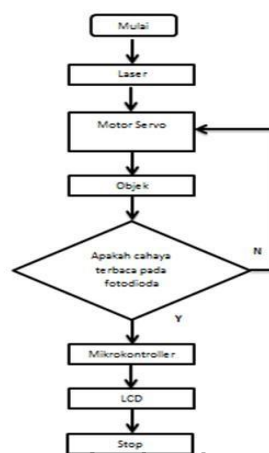
Motor servo digunakan sebagai media penghubung antara laser dan sensor. Motor servo akan dipasangkan cermin sebagai media pemantul sinar laser. Pada umumnya input tegangan yang dibutuhkan oleh motor adalah 4.8V. Servo yang digunakan adalah tipe GWServo S03T. Karakteristik dari servo adalah sebagai berikut : Speed (sec/60deg): 0.23, Torque (Kg-cm/Oz-in): 2.40/35, Size (mm): 39.5x20x39.6, Weight (g/oz): 41/1.44 [7].



Gambar 8. Motor servo Tipe GWServo S03T [7].

3.2 Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data yang dilakukan bersifat Time-of-flight yang berarti hasil dari perhitungan langsung diolah dan ditampilkan di LCD secara cepat. Setiap detail perancangan alat harus diperhatikan secara teliti karena proses pengolahan data hanya dilakukan satu kali. Proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Flowchart akuisisi data.

Proses pengambilan data dimulai dengan mengaktifkan laser yang berfungsi sebagai sumber cahaya. Cahaya yang dihasilkan oleh laser akan ditembakkan ke objek dengan bantuan motor servo. Cahaya yang mengenai objek akan dipantulkan kembali, hal ini karena objek yang diukur berupa cermin datar. Pada saat cahaya mengenai fotodiode, mikrokontroler akan menghentikan putaran motor servo dan proses perhitungan jarak ukur. Proses perhitungan jarak bekerja bersamaan dengan motor servo. Sudut motor servo akan dikonversi menjadi besaran jarak oleh mikrokontroler. Setelah pengolahan data selesai, hasil dari pengolahan data tersebut akan ditampilkan ke LCD dengan format teks.

4. Hasil dan Analisa

4.1 Database Perhitungan Alat Secara Umum

Perhitungan alat ukur jarak pada percobaan ini menggunakan metoda sudut tangen. Perhitungan diperoleh dengan memanfaatkan besar sudut yang dihasilkan oleh motor servo. Besar sudut yang diperoleh dari motor servo, kemudian dikonversi menjadi jarak (mm) dengan menggunakan metoda sudut tangen. Hasil konversi sudut yang diperoleh dari motor servo menjadi jarak dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 1 Database Perhitungan Secara Umum.

Sudut	Alat (mm)	Selisih (mm)	Error (mm)
70	412	21	-
71	436	24	-
72	462	26	-
73	491	29	-
74	523	32	-
75	560	37	-
76	602	42	-
77	650	48	-
78	706	56	-
79	772	66	-
80	851	79	-
81	947	96	-
82	1067	120	20
83	1222	154	154
84	1427	206	106
85	1715	287	187
86	2145	431	331
87	2862	717	617

4.2 Database Perhitungan Alat Secara Berkala

Pada Tabel 1 dapat dilihat, error sudut 80° telah melewati batas yang telah ditetapkan oleh penulis sebesar 20 mm. Besar error yang ditetapkan sebesar 100mm. Besar error dari sudut 78° s/d 87° terus meningkat. Untuk mengurangi nilai error yang dihasilkan oleh alat ukur, penulis menggunakan metoda penguraian sudut. Sudut 80° s/d 88° akan diurai menjadi tiga bagian, sudut 80° s/d 83° , 83° s/d 85° , dan 85° s/d 86° .

a. Database Perhitungan Sudut 80° s/d 83°

Untuk sudut 80° s/d 83° akan diurai menjadi dua tahapan dalam 1° nya. Dengan kata lain, kenaikan nilai sudut sebesar $0,5^\circ$ dalam setiap tahapannya. Hal ini dilakukan untuk mengurangi nilai error yang dihasilkan, agar memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh penulis. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 2 Database Perhitungan Sudut 80° s/d 83° .

Sudut	Alat (mm)	Selisih (mm)	Error (mm)
80,0	851	-	-
80,5	896	46	-
81,0	947	51	-
81,5	1004	57	-
82,0	1067	64	-
82,5	1139	72	-

b. Database Perhitungan Sudut 83° s/d 85°

Untuk sudut 83° s/d 85° kenaikan sudutnya sebesar 0,25°. Dengan menggunakan keniakan sudut sebesar 0,25°, nilai error yang dihasilkan masih memenuhi standar. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 3 Database Perhitungan Sudut 83° s/d 85°.

Sudut	Alat (mm)	Selisih (mm)	Error (mm)
83,00	1222	-	-
83,25	1267	46	-
83,50	1317	49	-
83,75	1370	53	-
84,00	1427	58	-
84,25	1490	62	-
84,50	1558	68	-
84,75	1632	75	-

c. Database Perhitungan Sudut 85° s/d 87°

Untuk sudut 85° s/d 87° kenaikan sudutnya sebesar 0,1°. Dengan menggunakan keniakan sudut sebesar 0,1°, nilai error yang dihasilkan masih memenuhi standar. Berikut adalah hasil perhitungannya.

Tabel 4 Database Perhitungan Sudut 85° s/d 87°.

Sudut	Alat (mm)	Selisih (mm)	Error (mm)
85,0	1715	-	-
85,1	1750	35	-
85,2	1786	37	-
85,3	1824	38	-
85,4	1864	40	-
85,5	1906	42	-
85,6	1949	43	-
85,7	1995	46	-
85,8	2043	48	-
85,9	2093	50	-
86,0	2145	52	-
86,1	2200	55	-
86,2	2258	58	-
86,3	2320	61	-
86,4	2384	65	-
86,5	2452	68	-
86,6	2525	72	-
86,7	2610	77	-
86,8	2683	81	-
86,9	2770	87	-
87,0	2862	92	-

4.3 Hasil Pengujian Alat Ukur

Jarak uji pada penelitian ini mulai dari 400 mm s/d 2600 mm, dengan selang 100 mm tiap kenaikan jaraknya. Jumlah data yang diperoleh sebanyak 28 data. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali percobaan. Pengujian alat ukur dibagi menjadi empat bagian, bagian pertama pada jarak 400 s/d 700 mm, bagian kedua pada jarak 800 s/d 1100 mm, bagian ketiga pada jarak 1200 s/d 1600 mm, dan bagian terakhir pada jarak 1700 s/d 2600. Pada tiap bagian diberikan delay pengukuran sebesar 100 ms. Besar delay yang diujikan pada penelitian ini adalah 200, 400, 600, 800, dan 1000 ms. Perubahan nilai delay dilakukan untuk menghasilkan nilai presisi yang tinggi. Berikut adalah tabel hasil pengujiannya.

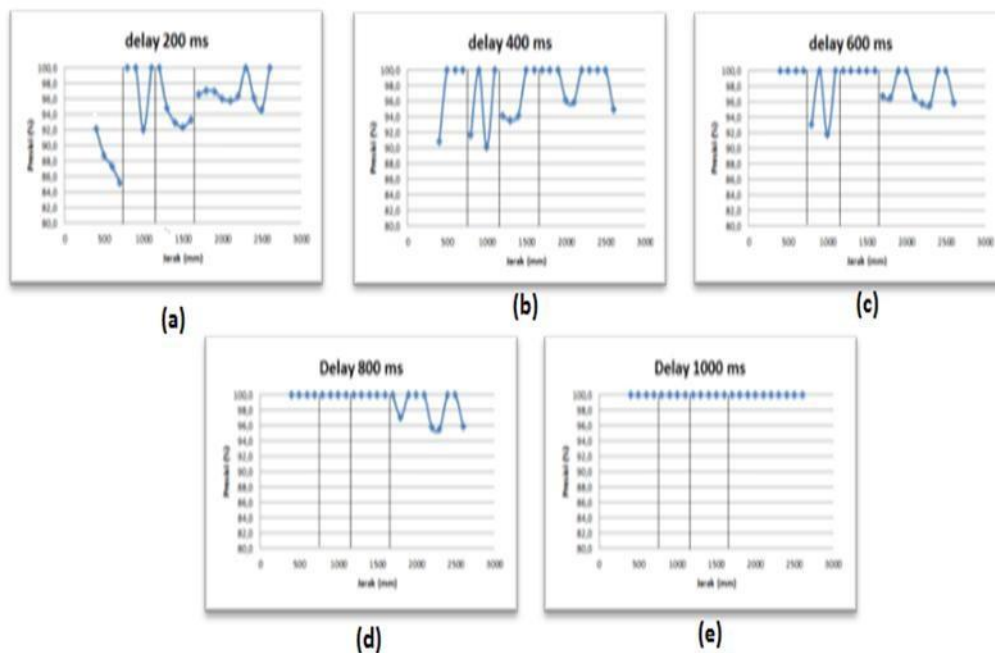
Tabel 5 Hasil Pengujian Alat Ukur

Jarak (mm)	Mean (mm)					Presisi (%)				
	200 ms	400 ms	600 ms	800 ms	1000 ms	200 ms	400 ms	600 ms	800 ms	1000 ms
400	441,2	426,4	412	412	412	92,1	90,8	100	100	100
500	537,8	523	523	523	523	88,7	100	100	100	100
600	621,2	602	602	602	602	87,3	100	100	100	100
700	732,4	706	706	706	106	85,2	100	100	100	100

800	896	878	860	851	851	100	91,6	93	100	100
900	947	947	947	947	947	100	100	100	100	100
1000	1054,4	1041,8	1016,6	1004	1004	92	90,1	91,7	100	100
1100	1139	1139	1139	1139	1139	100	100	100	100	100
1200	1267	1240	1222	1222	1222	100	94	100	100	100
1300	1359,4	1338,2	1317	1317	1317	94,8	93,5	100	100	100
1400	1464,8	1439,6	1427	1427	1427	92,9	94,1	100	100	100
1500	1587,6	1558	1558	1558	1558	92,3	100	100	100	100
1600	1648,6	1632	1632	1632	1632	93,2	100	100	100	100
1700	1808,8	1786	1764,4	1750	1750	96,5	100	96,6	100	100
1800	1872,4	1864	1840	1832	1824	97	100	96,4	97,1	100
1900	1985,8	1949	1949	1949	1949	96,9	100	100	100	100
2000	2113,8	2063	2043	2043	2043	96	96	100	100	100
2100	2223,2	2178	2156	2145	2145	95,7	95,9	96,6	100	100
2200	2270,4	2258	2223,2	2223,2	2200	96,3	100	95,7	95,7	100
2300	2384	2384	2345,6	2345,6	2320	100	100	95,5	95,5	100
2400	2466,6	2452	2452	2454	2452	96	100	100	100	100
2500	2576	2525	2525	2525	2525	94,6	100	100	100	100
2600	2683	2650,2	2617,4	2617,4	2601	100	94,9	95,8	95,8	100

Berdasarkan tabel diatas, Semakin besar nilai delay yang diberikan, semakin mendekati pula nilai rata-rata pengukuran terhadap nilai aktual objek ukur. Pada nilai rata-rata terhadap delay 200 ms, terdapat nilai yang melebihi nilai aktual objek pengukuran sebesar 100 mm yaitu pada nilai 1700, 2000, dan 2100 mm. Hal ini tidak terjadi pada delay 400 s/d1000 ms. Untuk delay 1000 ms, nilai presisi nya stabil pada nilai 100%.

Untuk melihat pola nilai presisi tiap tahapan penelitian, dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 10. Grafik perbandingan jarak dengan Presisi (a) delay 200 ms (b) delay 400 ms (c) delay 600 ms (d) delay 800 ms (e) delay 1000 ms.

Besar nilai presisi tiap proses dapat dilihat pada grafik di atas. Pola tiap grafik berbeda tergantung dengan besar delay yang diberikan. Pada delay 200 ms, bentuk pola pada jarak 400 s/d 700 cenderung menurun hingga mencapai

nilai 85%. Hal ini berbanding terbalik dengan pola delay 400 dan 600 ms pada jarak yang sama. Pada delay 400 ms, bentuk pola naik hingga mencapai 100%. Sedangkan pada delay 600 s/d 1000 ms, bentuk pola konstan pada nilai 100%. Pada jarak 800 s/d 1100 mm, bentuk pola pada delay 200, 400, dan 600 ms relatif sama, bentuk pola nya bergelombang. Sedangkan pada delay 800 dan 1000 ms, bentuk pola stabil pada nilai 100%. Pada jarak 1200 s/d 1600 mm, pola pada delay 200 ms dan 400 ms berbanding terbalik antara satu dan yang lain. Pola pada delay 200 ms menunjukkan penurunan nilai presisi dari 100% menjadi 93%. Untuk pola 400 ms, bentuk pola mengalami kenaikan dari 94% menjadi 100%. Sedangkan pada delay 600 s/d 1000 ms, bentuk pola stabil pada nilai 100%. Pada jarak 1700 s/d 2600 mm, bentuk pola 200 s/d 800 ms bersifat acak. Hal ini diakibatkan oleh kecilnya perubahan sudut motor servo yaitu $0,1^\circ$. Tapi hal ini tidak terjadi pada delay 1000 ms. Pada delay 1000 ms, nilai perhitungan stabil pada nilai 100%.

Adapun hal yang mempengaruhi hasil perhitungan pada penelitian ini adalah perubahan sudut servo dan waktu reaksi fotodiode. Untuk perubahan sudut motor servo dapat dilihat pada Gambar 4.3, semakin kecil kenaikan sudut motor semakin kecil pula nilai presisi yang dihasilkan. Pengaruh waktu reaksi fotodiode pada penelitian ini memiliki dampak pada nilai ukur alat. Tidak konsistennya waktu reaksi fotodiode akan berdampak pada tidak konsistennya nilai pengukuran itu sendiri.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar nilai delay yang diberikan pada motor servo semakin besar pula nilai presisi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, nilai delay yang memiliki presisi yang tinggi adalah 1000 ms dengan nilai presisi stabil pada 100%. Selain memiliki tingkat presisi yang tinggi, pada delay 1000 ms nilai rata-rata pengukuran yang dihasilkan mendekati nilai real jarak objek yang diukur bila dibandingkan dengan dua nilai delay yang lainnya. Meski demikian, penggunaan delay 1000 ms pada motor servo tidaklah tanpa kekurangan. Kekurangan saat motor servo diberikan delay sebesar 1000 ms adalah lamanya waktu pengukuran yang mencapai 113,3 detik tiap pengukurannya. Untuk alat ukur jarak, 113,3 detik merupakan waktu yang tergolong lama bila dibandingkan dengan pengukuran konvensional seperti meteran yang nilai ukurnya langsung bisa terbaca.

Daftar Pustaka:

- [1] Halliday, D., Resnick, R, 1997, *Physics*, terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto, Erlangga, Jakarta.
- [2] A. Kilpelä, 2004, "Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement applications", University of Oulu, Finland.
- [3] J. M. Carroll, 1970, "The Story of the LASER", FP Dutton & Co, Inc.
- [4] P. Palojarvi, 2003, "Integrated Electronic and optoelectronic circuits and devices for pulsed time-of-flight laser rangefinding", University of Oulu, Finland.
- [5] Wardana, L., 2006, "Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535", Andi, Yogyakarta.
- [6] Malvino, Albert Paul, 2003, "Prinsip-prinsip Elektronika", Jilid 1 & 2, Edisi Pertama, Salemba Teknika, Jakarta.
- [7] Motor servo Tipe GWServo S03T. <https://www.pololu.com/product/507>. Diakses pada tanggal 24 Mei 2015.
- [8] M. C. Amann, T. Bosch, M. Lescure, R. Myllylä, and M. Rioux, 2001, "Laser ranging: A critical review of usual techniques for distance measurement", *Opt. Eng.*, vol. 40, no. 1, pp. 10–19,
- [9] K. Konolige, J. Augenbraun, N. Donaldson, C. Fiebig, and P. Shah. 2008, "A Low-Cost Laser Distance Sensor", Pasadena, CA, USA.
- [10] Blais, F., 2004, "Review of 20 Years of Range Sensor Development". *Journal of Electronic Imaging*, (13).
- [11] T. Bosch and M. Lescure, Eds., 1995, "Selected Papers on Laser Distance Measurement", SPIE Milestone Series, Vol. MS 115, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA.
- [12] Andrianto, H., 2008, "Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)", Informatika Bandung, Bandung.
- [13] Rangkuti, Syahban, 2011, "Simulasi dan Praktek Menggunakan ISIS Proteus dan CodeVision AVR". Informatika Bandung, Bandung.