

PURWARUPA INSTRUMEN ELEKTRONIK UNTUK MENGUKUR JARAK DAN TINGGI OBJEK SECARA NIRKABEL MENGGUNAKAN PRINSIP TEOREMA PYTHAGORAS

Arman Sani*, Raja Harahap, Ryandika Afdila, Herez Grishmar Wienanta

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
arman3@usu.ac.id; raja@usu.ac.id; ryandika@usu.ac.id; Herez.huanghqw1@gmail.com

Abstrak

Mengukur jarak sebuah objek dari titik tertentu dan sekaligus memperoleh tinggi objek tersebut menggunakan alat ukur panjang konvensional dapat menghambat aktivitas pengukuran. Tulisan ini mendeskripsikan hasil penelitian rancang bangun purwarupa instrumen elektronik yang dapat mengukur jarak dan tinggi objek tertentu secara nirkabel menggunakan prinsip teorema Pythagoras. Instrumen terdiri dari tiga modul fungsional, yaitu sensor ultrasonic HC-SR04 berfungsi untuk menghasilkan data yang berhubungan dengan jarak horizontal dari titik pengukuran ke objek yang ingin diketahui tingginya (sumbu-X) dan modul fungsional kedua terdiri dari rotary encoder KY-040, servo motor SG90 dan laser pointer dengan sinar berwarna merah untuk menghasilkan data yang berhubungan dengan sudut elevasi yang dibentuk oleh sumbu-X dan tinggi objek (sudut θ). Mikrokontroler Arduino Uno ATmega328 sebagai modul fungsional ketiga memproses input dari dua modul pertama dan melakukan perhitungan tinggi objek berdasarkan prinsip teorema Pythagoras. Hasil berupa sumbu-X dan tinggi objek (sumbu-Y) ditampilkan pada LCD blue backlight 4x20 secara real time. Dari hasil pengujian diketahui bahwa sensor ultrasonic HC-SR04 dalam menghasilkan data untuk mengukur sumbu-X memiliki kesalahan rata-rata sebesar 0,98%, sedangkan modul fungsional kedua menghasilkan data dengan kesalahan rata-rata sebesar 4,87%. Secara umum dapat dinyatakan bahwa nilai hasil pengukuran dengan instrumen: untuk jarak horizontal objek ke titik pengukuran adalah $\text{sumbu-X} \pm 1\%$ dan untuk tinggi objek adalah $(\text{sumbu-X} \pm 1\%) \times \tan(\theta \pm 5\%)$.

Kata-Kata Kunci : Teorema Pythagoras, Modul Fungsi, Sensor, Arduino Uno

I. Pendahuluan

Penggunaan alat ukur panjang konvensional (alat ukur manual dan lebih dikenal dengan nama meteran) memiliki beberapa kelemahan yang dapat menghambat aktivitas pengukuran. Selain keterbatasan panjang fisik meteran, medan lokasi yang sulit dijangkau juga merupakan kendala dalam penggunaan alat ukur ini. Sebagai contoh, untuk mengukur jarak sebuah objek dari titik tertentu dan sekaligus memperoleh tinggi objek tersebut akan cukup sulit bila bentangan yang ada sulit dilalui dan fisik objek sulit dijangkau. Salah satu solusi adalah memanfaatkan gelombang radio, suara (bunyi) dan atau gelombang cahaya yang dapat merambat tanpa media fisik (nirkabel), sehingga pengukuran dapat dilakukan lebih praktis dan fleksibel diberbagai medan lokasi pengukuran.

Dengan memanfaatkan komponen elektronika yang ada dipasaran, khususnya sensor elektronik dilakukan penelitian tentang instrumen nirkabel yang dapat mengukur jarak horizontal sebuah objek dari titik tertentu dan tinggi objek tersebut berdasarkan prinsip teorema Pythagoras. Dari beberapa penelitian sebelumnya diketahui bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 telah digunakan pada alat ukur tinggi badan [1], rangkaian umpan balik eksternal untuk kendali sudut servo motor [2] dan sistem monitoring ketinggian berbasis Arduino Uno [3].

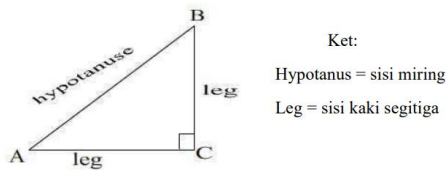
Pada penelitian yang telah dilakukan berhasil dirancang bangun instrumen elektronik yang menggabungkan fungsi sensor ultrasonic HC-SR04

sebagai alat pengukur jarak dan fungsi rangkaian servo motor SG90 dan rotary encoder KY-040 sebagai kontrol dan sensor dalam mengarahkan berkas cahaya laser pointer dari titik pancaran ke puncak objek yang ingin diketahui tingginya dan menghitung besar sudut elevasi yang terbentuk. Dengan dua data yang telah diperoleh secara nirkabel, mikrokontroler Arduino Uno ATmega328 yang terpasang pada instrumen akan melakukan pengolahan data dan perhitungan tinggi objek menggunakan prinsip teorema Pythagoras. Hasil proses dan perhitungan berupa jarak horizontal dari titik pengukuran ke objek (sumbu-X) dan tinggi objek tersebut akan ditampilkan pada LCD blue backlight 4x20 yang terdapat pada instrumen secara real time. Instrumen yang dirancang bangun juga dilengkapi dengan waterpass untuk memastikan posisi rata secara horizontal saat dioperasikan.

II. Dasar Teori

Teorema Pythagoras menjelaskan hubungan mendasar dalam geometri di antara tiga sisi bangun datar yang bernama segitiga siku-siku. Segitiga siku-siku didefinisikan sebagai segitiga yang memiliki satu sudut siku-siku dan dua sudut lancip pelengkap. Sisi dihadapan sudut siku-siku merupakan sisi terpanjang yang disebut dengan sisi miring (hypotenuse), sedangkan sisi-sisi dihadapan sudut lancip disebut kaki (leg) dari segitiga tersebut. Secara singkat teorema Pythagoras berbunyi “pada sebuah segitiga siku-siku, kuadrat sisi miring (sisi di

depan sudut siku-siku) sama dengan jumlah kuadrat sisi-sisi yang lain” [4].



Gambar 1. ΔABC on

Gambar 1 memperlihatkan ΔABC sebagai segitiga siku-siku dengan sudut C sebagai sudut siku-siku (sudut $=90^\circ$), sudut A (sudut θ) dan B sebagai sudut lancip (sudut $<90^\circ$), sisi AB sebagai *hypotenuse*, serta sisi AC (Sumbu-X) dan BC (Sumbu-Y) sebagai *legs*. Teorema Pythagoras untuk ΔABC ini dapat dituliskan seperti pada Persamaan 1.

$$(AB)^2 = (AC)^2 + (BC)^2 \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan besar perbandingan (rasio) antar sisi dari ΔABC ini dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.

$$\sin(\theta) = \frac{BC}{AB}, \cos(\theta) = \frac{AC}{AB}, \tan(\theta) = \frac{BC}{AC}, \dots\dots(2)$$

Dari Persamaan 1 dapat diturunkan Persamaan 3 untuk menghitung panjang sisi BC, yaitu:

$$BC = AC \times \tan(\theta) \dots\dots\dots(3)$$

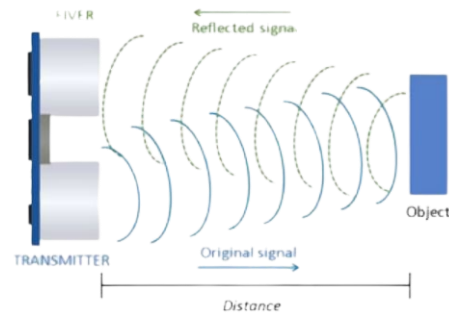
Rumus Pythagoras dapat diterapkan untuk mengukur jarak dan ruang, misalnya dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan sebuah gedung [4].

III. Perangkat Keras

3.1 Sensor Ultrasonic HC-SR04

Gelombang adalah getaran yang merambat. Gelombang Ultrasonik adalah getaran yang merambat dengan frekuensi sangat tinggi dan tidak dapat didengar oleh manusia yakni diatas 20 Khz. Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik). Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara yang dapat dilihat pada Gambar 2 sehingga dapat dipakai menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu [5].

Sensor ini bekerja dengan mengirimkan gelombang ultrasonik (di atas ambang batas pendengaran manusia) dan menyediakan pulsa keluaran yang berkaitan dengan waktu yang dibutuhkan saat gelombang pantulan diterima kembali oleh sensor.



Gambar 2. Cara Kerja Sensor Ultrasonic

Dengan mengukur jeda waktu pulsa dikirim dan diterima kembali oleh sensor, maka jarak objek yang diukur dapat dikalkulasikan menggunakan Persamaan 4.

$$S = 340 \cdot t / 2 \dots\dots\dots(4)$$

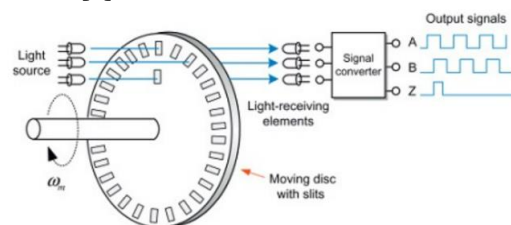
Dimana S adalah jarak antara sensor dengan objek benda yang diukur (m) dan t adalah jeda waktu saat pulsa dikirim dan diterimakembali oleh sensor (s). Pada penelitian ini digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 seperti diperlihatkan pada Gambar 3 [5]



Gambar 3. Sensor Ultrasonic HC-SR04

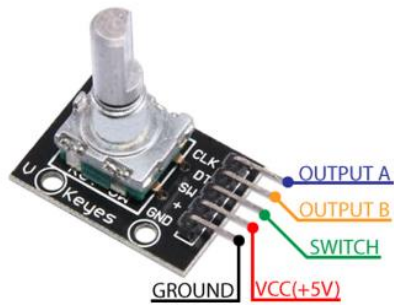
3.2 Rotary Encoder KY-040

Rotary encoder atau *shaft encoder* adalah perangkat elektromekanik jenis sensor posisi yang dapat mendeteksi posisi sudut dan gerakan poros putar dan menghasilkan sinyal keluaran digital berdasarkan pergerakan rotasi yang terjadi. *Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan sebagai gerakan, posisi dan arah pada beban yang dikontrolnya (misalnya, servo motor), seperti pada Gambar 4 [6].



Gambar 4. Prinsip Kerja Rotary Encoder

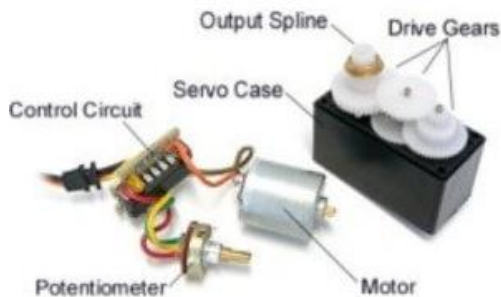
Rotary encoder juga dapat mengolah posisi sudut suatu poros benda berputar menjadi informasi berupa kode digital untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. Pada penelitian ini digunakan *Rotary Encoder* KY-040 seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rotary Encoder KY-040

3.3 Servo Motor SG90

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor DC yang dilengkapi dengan kontroler dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan sebesar 0° , 90° , 180° atau 360° . Motor pada sebuah motor servo adalah motor DC yang dikendalikan oleh bagian kontroler dan komponen yang berfungsi sebagai sensor adalah potensiometer yang terhubung pada sistem gearbox pada motor servo tersebut. Berbeda dengan motor DC, untuk menjalankan atau mengendalikan servo motor diperlukan sumber tegangan dan sinyal kontrol. Besarnya sumber tegangan tergantung dari spesifikasi servo motor yang digunakan, sedangkan untuk mengendalikan putarannya dilakukan dengan mengirimkan pulsa kontrol berfrekuensi 50Hz dengan periode 20ms dan lebar bagian positif atau t_{on} DutyCycle dari pulsa berbeda. Untuk menggerakkan servo motor sebesar 90° diperlukan pulsa dengan t_{on} DutyCycle sebesar 1,5ms dan 2ms untuk 180° . Gambar 6 memperlihatkan komponen penyusun sebuah servo motor [6].

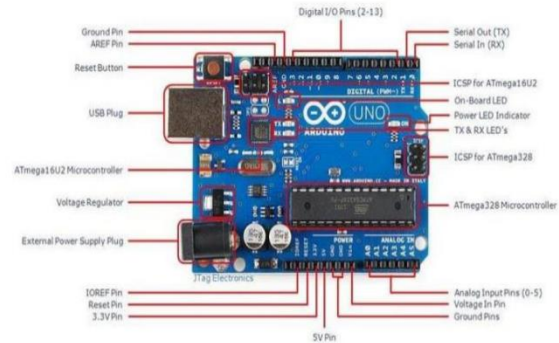


Gambar 6. Komponen Servo Motor SG90

3.4 Arduino Uno ATMEGA328P

Arduino adalah sebuah platform elektronik yang open source, berbasis pada software dan hardware yang fleksibel dan mudah digunakan. Arduino ditujukan untuk setiap orang yang tertarik dalam membuat objek atau lingkungan yang interaktif.

Arduino adalah salah satu keluarga Atmel mikrokontroler yang menggunakan chip Atmega328 yang menggunakan bahasa C sebagai program pengontrolan. Arduino memiliki beberapa jenis yakni Arduino nano, Arduino due, Arduino Uno, dan lain-lain. Pada penelitian kali ini penulis akan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler pada alat yang dirancang [7].



Gambar 7. Arduino Uno ATMEGA328P

Dari Gambar 7 terlihat bahwa Arduino Uno ini sendiri dibekali dengan mikrokontroler ATMEGA328P. Versi terakhir yang dibuat adalah versi R3. Modul ini juga sudah dilengkapi dengan berbagai hal yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler untuk bekerja. Arduino Uno mempunyai sebuah sekering reset yang melindungi port USB komputer dari hubungan pendek dan arus lebih. Jika yang diterima port USB lebih dari 500 mA, sekering secara otomatis akan memutuskan koneksi sampai hubungan pendek atau kelebihan beban hilang.

Arduino Uno merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Versi yang terakhir adalah Arduino Uno Revisi 3 (R3). Bagi para pemula sangat disarankan untuk menggunakan Arduino Uno. Pemrogramannya cukup menggunakan koneksi USB [7].

3.5. LCD Blue Back-light 20x4

Liquid Crystal Display (LCD) 20x4 Penampil data Liquid crystal display (LCD) 20x4 merupakan komponen elektronika, mempunyai fungsi sebagai penampil karakter, angka, huruf bahkan grafik. CMOS logic adalah salah satu teknologi yang digunakan dalam membuat LCD, di mana teknologi ini memantulkan cahaya yang ada pada sekelilingnya dan tidak menghasilkan cahaya (back-light). Saat di trigger tegangan, maka elektroda aktif dengan medan listrik dan molekul-molekul organik yang beebentuk panjang dan silindris secara otomatis menyesuaikan dengan elektroda pada seven segmen [8].

Pada sistem pencahayaan, terdapat lapisan sandwich yang memiliki polarizer cahaya dengan bentuk vertical depan dan polarizer cahaya horizontal, dan terdapat juga lapisan reflector yang mengikuti. Pada saat membentuk sebuah karakter yang diinginkan, maka gelombang cahaya yang dipantulkan tidak dapat menembus lapisan molekul yang sudah menyesuaikan serta segmen yang aktif terlihat gelap. LCD 20x4 sendiri memiliki tegangan minimum untuk trigger elektroda. Jika LCD 20x4 diberi trigger tegangan yang cukup, maka tampilan LCD akan seperti Gambar 8 [8].

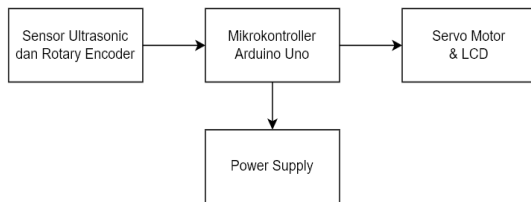


Gambar 8. LCD 4x20

IV. Perancangan Alat

4.1 Diagram Sistem Instrumen

Adapun blok diagram pada rancangan perangkat sistem dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Blok Diagram Perancangan Sistem

Dari blok diagram pada Gambar 9, sensor ultrasonik HCSR-04 bertugas mengumpulkan data jarak horizontal antara alat dengan bidang yang ingin di ukur. Rotary encoder bertugas sebagai sensor untuk memerintahkan servo motor yang berperan sebagai aktuator berputar dengan sudut yang telah ditentukan. Servo motor sendiri direkatkan dengan laser untuk menunjukkan arah yang dituju oleh sudut elevasi yang ditentukan. Dengan mendapatkan jarak horizontal dan sudut elevasi, sistem dapat memproses data tersebut menghasilkan panjang perpindahan laser antara titik awal dan titik akhir yang dituju.

4.2 Gambaran Mekanisme Sistem Instrumen

Adapun cara kerja sistem instrumen elektronik yang telah berhasil dirancang bangun diuraikan pada poin-poin berikut ini.

- Saat instrumen akan dioperasikan harus ditempatkan di titik pengukuran dalam keadaan rata secara horizontal dan posisi objek yang akan diukur (jarak dan tingginya) harus tegak lurus terhadap bidang horizontal.
- Ketika instrumen dinyalakan rotary encoder harus berada pada posisi 0^0 yang ditandai dengan arah pancaran berkas cahaya laser pointer sejajar garis horizontal dan tertuju mengenai objek. Pada keadaan ini Arduino akan langsung memproses data jarak horizontal yang dihasilkan oleh sensor ultrasonik menggunakan Persamaan 4.
- Ketika tuas pada rotary encoder diputar maka ia akan membangkitkan sinyal pulsa yang dikirim ke input servo motor sehingga akan ikut bergerak dan akan merubah arah pancar berkas cahaya laser pointer. Setiap langkah perputaran tuas rotary encoder akan menggerakkan servo motor dan memberikan berubah arah pancar berkas cahaya laser

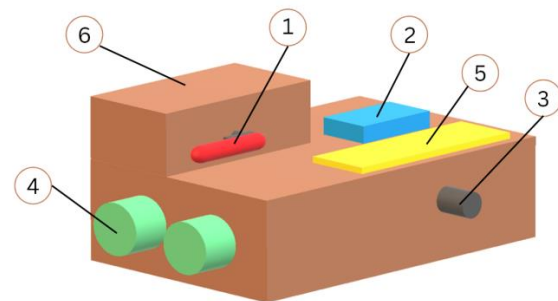
pointer sebesar layar 1^0 . Perubahan yang terjadi dapat diamati dari tampilan layar LCD. Tuas rotary encoder diputar perlahan-lahan hingga titik berkas cahaya laser pointer berada dipuncak ketinggian objek.

- Ketika titik pancaran berkas cahaya laser pointer telah mengenai titik puncak ketinggian objek, maka pemutaran tuas rotary encoder dihentikan dan besar sudut elevasi yang terbentuk diperoleh. Tinggi objek diperoleh dari hasil perhitungan yang dilakukan Arduino menggunakan Persamaan 3. LCD akan menampilkan hasil pengukuran jarak horizon dan tinggi objek.

4.3 Spesifikasi dan Desain Alat

Desain dari instrumen yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 10. Terkait dengan spesifikasi instrumen yang akan di ujicoba bergantung pada jenis tipe alat sensor yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan spesifikasi purwarupa instrumen yang akan dibuat:

- Pengukuran Maksimum Jarak Horizontal : 300 cm.
- Pengukuran Maksimum Jarak Vertikal : 300 cm.
- Pengukuran Maksimum Sudut : 45^0 .
- Delay Alat : 1 detik.



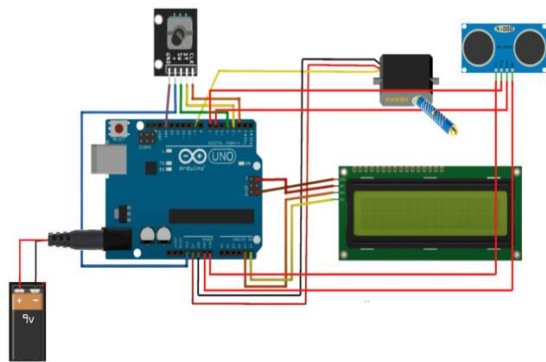
Gambar 10. Desain 3D Sistem Instrumen

Keterangan Gambar :

- No.1, Warna Merah : Laser.
- No.2, Warna Biru : Waterpass.
- No.3, Warna Abu-abu : Rotary Encoder.
- No.4, Warna Hijau : Sensor Ultrasonik HC-SR04.
- No.5, Warna Kuning : LCD.
- No.6, Warna Coklat: Kemasan Instrumen Elektronik

4.4 Perancangan Rangkaian Instrumen

Sistem elektronika merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengendalikan sistem, dimana rangkaian ini melibatkan sebuah pengendali, dan komponen pendukung lainnya. Adapun skematik sistem Instrumen yang dirancang bangun ditunjukkan pada Gambar 11



Gambar 11. Skematik Rangkaian Instrumen

Setelah skematik rangkaian tersebut di rancang, pada akhir pembuatan alat akan dihubungkan atau direkatkan laser pointer dengan servo motor. Tampilan akhir dari alat yang dirancang ini diperlihatkan dalam bentuk 3D seperti pada Gambar 10.

4.5 Pembuatan Instrumen dan Uji Coba

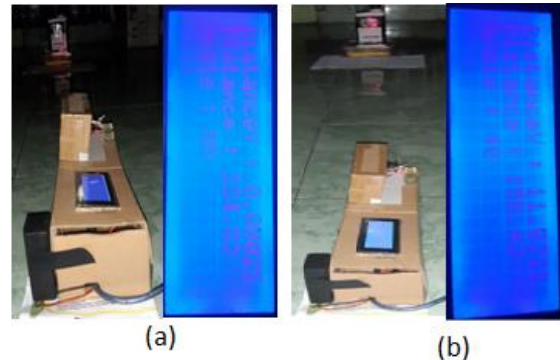
Pada proses pembuatan instrumen ini terlebih dahulu dipersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan. Pembuatan instrumen mengacu pada Gambar 10 dan Gambar 11. Proses pembuatannya sebagai berikut:

- Persiapkan alat dan bahan terlebih dahulu.
- Membuat rangkaian sesuai dengan Gambar 11 skematik rangkaian alat dengan bahan dan alat yang sudah dipersiapkan sebelumnya.
- Setelah membuat rangkaian tersebut, bukalah software Arduino IDE pada laptop / pc yang akan digunakan.
- Input program atau coding pada software Arduino IDE.
- Upload program tersebut pada Arduino Uno tersebut. Kemudian, hubungkan Arduino uno tersebut pada sumber arus DC.
- Susun rangkaian alat pada box yang sudah disiapkan dan tempatkan posisi sensor pada box sesuai dengan desain. Instrumen hasil rancang bangun diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Instrumen Hasil Rancang Bangun

- Kemudian dilakukan ujicoba pengukuran dengan instrumen yang berhasil dirancang bangun diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Uji Coba Pengukuran
(a). Awal Pengukuran
(b). Akhir Pengukuran

V. Hasil Ujicoba dan Analisis

5.1 Pengujian dan Analisis Sensor Ultrasonic HCSR-04

Pengujian sensor ultrasonic HC-SR04 merupakan pengukuran panjang sumbu-X menggunakan instrumen yang telah berhasil dirancang bangun. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai error yang dihasilkan oleh sensor dikarenakan sensor ini akan memberi pengaruh pada hasil perhitungan pengukuran sumbu-Y. Pengujian dilakukan dengan memulai pengukuran pada bidang datar dari jarak 10 cm hingga 300 cm. Perbandingan hasil pengukuran dengan alat dan manual serta nilai kesalahan yang terjadi diperlihatkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dihitung dan dianalisis besar kesalahan yang terjadi, yaitu 0.98% dengan selisih jarak 0.2cm – 1 cm. Terlihat bahwa untuk panjang sumbu-X yang semakin besar sensor ultrasonic HC-SR04 menghasilkan kesalahan yang semakin kecil

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonic HCSR-04

Pengukuran Ke	Tampilan Pada LCD	Hasil Pengukuran Manual	Selisih Hasil Pengukuran	Nilai Error (%)
1	10 cm	10 cm	0	0.00%
2	20 cm	19 cm	1	5.26%
3	30 cm	30.3 cm	0.3	0.99%
4	40 cm	40.4 cm	0.4	0.99%
5	50 cm	50.8 cm	0.8	1.57%
6	60 cm	60.4 cm	0.4	0.66%
7	70 cm	69.5 cm	0.5	0.72%
8	80 cm	81.3 cm	1.3	1.60%
9	90 cm	91.9 cm	1.9	2.07%
10	100 cm	101.1 cm	1.1	1.09%
11	110 cm	110.8 cm	0.8	0.72%
12	120 cm	121.1 cm	1.1	0.91%
13	130 cm	130.6 cm	0.6	0.46%
14	140 cm	140.7 cm	0.7	0.50%
15	150 cm	150.6 cm	0.6	0.40%
16	160 cm	160.5 cm	0.5	0.31%
17	170 cm	170.5 cm	0.5	0.29%
18	180 cm	180.5 cm	0.5	0.28%
19	190 cm	190.2 cm	0.2	0.11%
20	200 cm	200.4 cm	0.4	0.20%
21	210 cm	210.2 cm	0.2	0.10%
22	220 cm	220.2 cm	0.2	0.09%
23	230 cm	230.2 cm	0.2	0.09%
24	240 cm	239.6 cm	0.4	0.17%
25	250 cm	250.3 cm	0.3	0.12%
26	260 cm	260.2 cm	0.2	0.08%
27	270 cm	270.4 cm	0.4	0.15%
28	280 cm	280.3 cm	0.3	0.11%
29	290 cm	290.5 cm	0.5	0.17%
30	300 cm	300.6 cm	0.6	0.20%

5.2 Pengujian dan Analisis Pengukuran Sumbu-Y

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran tinggi sumbu-Y dari panjang sumbu-X sebesar 200cm dari bidang yang diukur dengan sudut yang dibentuk antara 3^0 derajat hingga 45^0 untuk setiap kenaikan sudut sebesar 3^0 . Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Pengukuran Sumbu-Y

Percobaan 1	Tampilan Pada LCD			Pengukuran Manual	
	Pengukuran ke	Sudut (0)	Sumbu X (cm)	Sumbu Y (cm)	Sumbu Y (cm)
1	3	200	10.47	200.2	7.3
2	6	200	21	200.2	18.8
3	9	200	31.66	200.2	30
4	12	200	42.48	200.2	42.5
5	15	200	53.55	200.2	54
6	18	200	64.93	200.2	66.5
7	21	200	76.71	200.2	80.2
8	24	200	89.01	200.2	91.5
9	27	200	101.82	200.2	103.7
10	30	200	115.37	200.2	117.6
11	33	200	129.77	200.2	131.7
12	36	200	145.23	200.2	144.2
13	39	200	161.95	200.2	161.3
14	42	200	180.07	200.2	177
15	45	200	199.9	200.2	197.4

Peran masing-masing nilai error komponen jika diuraikan lebih lanjut, sebenarnya akan menyebabkan hasil pengukuran menghasilkan nilai error sebesar sumbu $x \pm 1\%$ dikalikan dengan tangen dari sudut yang dihasilkan $\pm 4.87\%$.

VI. Kesimpulan

Purwarupa instrumen elektronik yang terdiri dari 3-modul fungsional untuk mengukur jarak dan tinggi objek tertentu secara nirkabel menggunakan prinsip teorema Pythagoras telah berhasil dirancang bangun. Modul fungsional pertama menggunakan sensor ultrasonic HC-SR04 yang berfungsi untuk mengukur panjang sumbu-X memiliki kesalahan rata-rata sebesar 0.98%. Modul fungsional kedua terdiri dari rotary encoder KY-040, servo motor SG90 dan laser pointer dengan sinar berwarna merah untuk menghasilkan data yang berhubungan dengan sudut elevasi yang dibentuk oleh sumbu-X dan tinggi objek, yaitu sudut θ memiliki kesalahan rata-rata sebesar 4,87%. Secara umum dapat dinyatakan bahwa nilai hasil pengukuran dengan instrumen: untuk jarak horizontal objek ke titik pengukuran adalah sumbu- $X \pm 1\%$ dan untuk tinggi objek adalah $(\text{sumbu-X} \pm 1\%) \times \tan(\theta \pm 5\%)$.

Daftar Pustaka

- [1]. R. Akbar, 2014, *Pengukur Tinggi Badan Berbasis Arduino*, Jurnal Ilmiah Mikrotek 1 (4).
- [2]. H. M. Saputra, 2016, *Rancang Bangun Umpan Balik Eksternal Untuk Kendali Sudut Motor Servo Berbasis Arduino*, LIPI.
- [3]. F. Fitri Puspasari, 2019, *Sensor Ultrasonik HC-SR04 Berbasis Arduino Due Untuk Sistem Monitoring Ketinggian*, Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, vol. 15, no. 2, Departemen Teknik Elektro Dan Informatika Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.
- [4]. George B. Thomas, Jr., Maurice D. Weir, Joel Hass, 2016, *Thomas' Calculus Early Transcendentals*, 13th Edition, Pearson Publisher.
- [5]. V. V. Simanjuntak, 2017, *Analisis Dc Motor Pada Aplikasi Parkir Vertikal Otomatis Menggunakan Rfid*, Politeknik Negri Sriwijaya, Palembang.
- [6]. D. J. M. S. M. Steven Jendri Sokop, 2016, *Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*, E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer, vol.5 no.3, Jurusan Teknik Elektro-FT. UNSRAT.
- [7]. B. I. I. Journal, 2019, *Prototype Alat Pengukur Jarak Dan Sudut Kemiringan Digital Menggunakan Sensor Ultrasonik Dan Accelerometer Berbasis Arduino Nano*, No. 6, Pp. 185 - 194, 2019.
- [8]. A. Najmurrokhman, 2016, *Perancangan Instrumen Pengukur Ketinggian Menggunakan Sensor Adxl345 Yang Terkoneksi Dengan Smartphone Berbasis Android*, No. Universitas Jendral Achmad Yani.