

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT UKUR UNTUK PEMETAAN KONTUR POKET DALAM DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK

## DESIGN AND MANUFACTURE OF MEASURING INSTRUMENTS FOR INSIDE POCKET CONTOUR MAPPING USING ULTRASONIC SENSORS

<sup>1</sup>Evan Aditya\*, <sup>2</sup>Oktavianus Ardhian Nugroho.

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika, Politeknik Industri ATMI

<sup>2</sup>Program Studi Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI

[evanditya@gmail.com](mailto:evanditya@gmail.com), [ardhianatmi@gmail.com](mailto:ardhianatmi@gmail.com)

### INFO ARTIKEL

Diterima: 25 November 2022

Direvisi: 12 Januari 2023

Disetujui: 14 Juni 2023

### Kata Kunci:

*Pengukuran, Kontur Dalam, Sensor Ultrasonik, Pemetaan, Matlab*

### Keywords:

*Measurement, Inside Contour, Ultrasonic Sensor, Mapping, Matlab*

### ABSTRAK

Pada era sekarang ini, alat ukur yang digunakan dalam proses permesinan masih banyak menggunakan prinsip mekanik dan ada beberapa yang dikombinasikan dengan komponen elektrik. Kebanyakan alat ukur yang ada sekarang hanya bersifat linear dan masih sedikit yang dapat mengukur bentuk kontur. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengukur kontur adalah CMM, tetapi harga alat ini sangat mahal. Kebutuhan alat untuk proses pengukuran kontur ini sangat dibutuhkan dalam dunia industri karena beberapa part di industri memiliki bentuk kontur yang beragam dan sulit jika diukur tanpa menggunakan mesin CMM. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah alat ukur untuk pemetaan kontur dengan menggunakan sensor elektronik. Pembuatan dan perancangan alat ukur dimulai dari merancang elektrik dan perangkat keras, kemudian dilanjutkan dengan pemrograman mikrokontroler dan Matlab. Alat ukur ini kemudian diuji kemampuan akurasi pengukuran jarak secara linear, akurasi per sudut, dan keakuratan bentuk kontur. Hasil penelitian menunjukkan hasil ukuran memiliki deviasi maksimal 10 milimeter dengan jarak maksimal 500 milimeter. Sudut 0° merupakan sudut pembacaan terburuk dengan deviasi 8.67 milimeter, sedangkan sudut 90° dan 180° merupakan sudut pembacaan terbaik dengan deviasi 1 milimeter. Bentuk kotak dan persegi panjang dapat direpresentasikan dengan cukup baik, sedangkan bentuk segitiga kurang dapat direpresentasikan dengan baik disebabkan oleh sudutnya yang jauh dari tegak lurus terhadap sensor.

### ABSTRACT

*In this's era, the measuring instruments used in the machining process still use a lot of mechanical principles and there are only a few that are combined with electrical components. Most of the measuring instruments that exist now are only linear and there are still few that can measure the shape of the contour. One of the tools that can be used to measure contours is CMM, but the price of this tool is very expensive. The need for tools for this contour measurement process is very much needed in the industrial world, because some parts in the industry have various contour shapes and are difficult if measured without using a CMM machine. Therefore, the purpose of this study is to make a measuring instrument for contour mapping using electronic sensors. The manufacture and design of measuring instruments starts from designing electricity and hardware, then continues with microcontroller programming and Matlab. This measuring instrument is then tested for linear distance measurement accuracy, accuracy per angle, and accuracy of contour shapes. The results showed that the size results had a maximum deviation of 10 millimeters with a maximum distance of 500 millimeters. The 0° angle is the worst reading angle with a deviation of 8.67 millimeters, while the 90° and 180° angles are the best reading angles with a deviation of 1 millimeter. Square and rectangular shapes can be represented quite well, while triangular shapes are less well represented due to their angles being far from perpendicular to the sensor.*

\*Corresponding author: [ardhianatmi@gmail.com](mailto:ardhianatmi@gmail.com)

## I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan dalam dunia teknik membuat manusia menjadi lebih mudah dalam melakukan sesuatu, salah satunya dampak positifnya yaitu menjadi lebih cepat dan efisien. Salah satu perkembangan teknik yang sudah menjadi topik hangat sejak tahun 1970 yaitu revolusi industri 3.0 [1]. Perkembangan ini berupa mulainya penggunaan elektronika yang dikendalikan dengan komputer [1]. Walaupun di era sekarang mulai berkembang

revolusi industri selanjutnya, masih banyak proses manual yang dilakukan yang seharusnya dan sebaiknya digantikan oleh elektronika dan komputer. Kesadaran peralihan proses teknologi ini perlu lebih dikembangkan agar mempermudah berbagai proses, salah satunya adalah proses pengukuran dan perencanaan.

Menurut CW Darmawan mengukur adalah suatu perbandingan sebuah kuantitas yang tidak diketahui nilainya dengan suatu nilai standar (dalam satuan tertentu) [2].

Dalam bidang permesinan, sebagian besar pengukuran dilakukan untuk mengetahui kuantitas dimensi dengan standar unit salah satunya adalah meter. Pengukuran suatu dimensi benda yang diproses oleh mesin sebagian besar menggunakan jangka sorong, mikrometer sekrup, dan sebagainya dengan satuan unit salah satunya adalah milimeter. Alat-alat tersebut pun memiliki beberapa kelemahan tersendiri tergantung dalam penggunaannya dan harganya pun cukup mahal. Berbagai alat tersebut juga bergantung pada prinsip mekanikal, walaupun di jaman sekarang ini alat-alat tersebut sudah dikombinasikan dengan komponen elektrik menjadi alat ukur semi digital. Kelemahan lain dari alat-alat tersebut yaitu pengukuran yang sangat terbatas secara linear. Hasil dari pengukuran alat-alat ukur tersebut adalah satu angka bersatuan (misalkan milimeter) dan tidak bisa mengukur secara berkelanjutan secara otomatis. Pengukuran secara berkelanjutan dapat dilakukan secara manual dengan cara mengukur satu per satu titik secara diskrit. Hal ini tentu membuat proses pengukuran suatu kontur memakan waktu cukup lama.

Mesin CMM (*Coordinate Measuring Machine*) merupakan suatu alat pengukur multifungsi berkecepatan tinggi yang menghasilkan akurasi dan efisiensi pengukuran yang tinggi [3]. Mesin ini menjawab permasalahan sebelumnya untuk mengukur kontur secara berkelanjutan secara presisi. CMM mengukur suatu dimensi benda dengan cara menyentuhkan *probe* ke beberapa titik (minimum dua titik) pada benda yang diukur [3]. Walaupun mesin ini dapat melakukan hal tersebut secara otomatis dan presisi, ukuran dari mesin ini sangat besar dengan harga yang sangat tinggi.

Berbagai alat ukur yang disebutkan sebelumnya merupakan alat pengukuran yang membutuhkan kontak secara langsung. Permasalahan akan muncul jika benda yang akan diukur tidak dapat disentuh atau mendapatkan kontak secara langsung, misalkan benda yang memiliki tekstur mudah hancur ataupun benda yang memiliki suhu ekstrim. Metode pengukuran lain yang dapat digunakan adalah metode tanpa kontak. Metode ini menjadi solusi dari permasalahan sebelumnya, tetapi untuk mencapai hal ini dibutuhkan sensor khusus. Beberapa sensor yang dapat digunakan adalah sensor cahaya, sensor suara, sensor kamera, dan sebagainya.

Pengukuran yang hanya bisa dilakukan secara linear dan diskrit serta besar dan mahalnya mesin CMM hanya salah dua dari berbagai masalah pengukuran yang ada. Untuk mengukur kontur *pocket* ataupun kontur dalam dari suatu benda cukup sulit dilakukan secara berkelanjutan jika menggunakan jangka sorong ataupun mikrometer sekrup. Jika harus mengukur menggunakan mesin CMM pun harganya sangat mahal [4]. Hal ini menjadi tambahan permasalahan yang ada. Terlepas dari proses pengukuran pun muncul permasalahan baru, yaitu menampilkan dan mempresentasikan data yang ada. Jika dilakukan proses pengukuran manual, untuk menampilkan data kontur suatu benda sangat sulit, butuh adanya proses penggambaran ulang dari data yang sudah dikumpulkan. Hasil dari gambar kontur pun keakuratannya tergantung dari berapa banyaknya titik yang diukur serta kemampuan orang yang menggambar dari data tersebut. Dalam penelitian ini, penulis berusaha menjawab permasalahan-permasalahan tersebut dengan

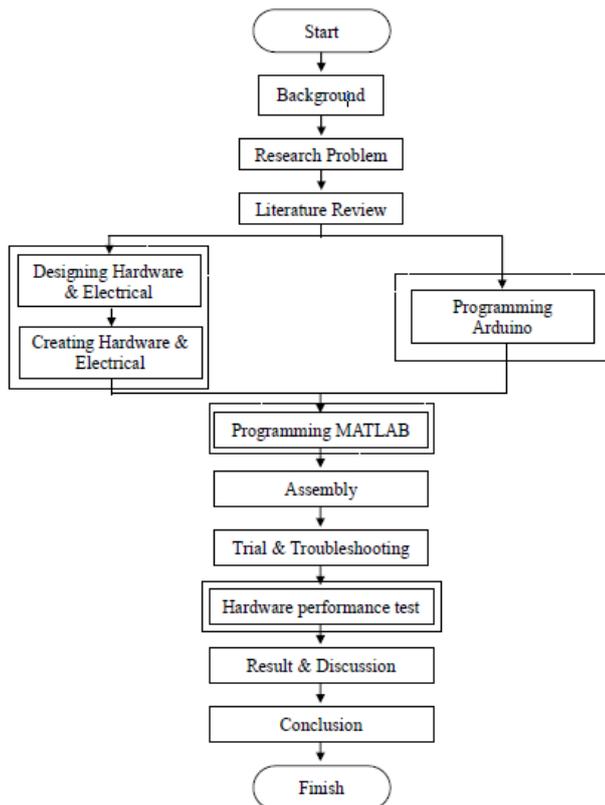
merancang dan membuat alat pemetaan kontur dalam dengan sensor ultrasonik.

Beberapa penelitian sebelumnya sudah menggunakan sensor tanpa kontak ultrasonik untuk mengukur suatu dimensi berupa jarak benda ke sensor. Arsada B. menggunakan sensor ultrasonik yang dipasangkan pada robot kontes agar dapat mendeteksi jarak robot terhadap dinding [5]. Penelitian lain oleh Satya T. et al., menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian permukaan air pada tandon air kandang ternak ayam [6]. Dari kedua penelitian tersebut memiliki hal kemiripan berupa mengukur jarak tetapi hanya secara linear dan hasilnya hanya berupa suatu angka bersatuan.

Dalam penelitian ini, sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur secara otomatis dan berkelanjutan hingga dapat mempresentasikan hasil berupa gambar kontur dalam. Walaupun secara prinsip sensor ultrasonik hanya dapat mengukur jarak secara linear, dengan dikombinasikan dengan suatu aktuator akan menjadi suatu sistem pengukur otomatis berkelanjutan. Data dari sensor tersebut akan diolah oleh mikrokontroler dan diteruskan ke komputer agar dapat diproses lanjutan. Hasil akhir dari pengukuran ini berupa suatu kumpulan data pengukuran dan hasil gambar kontur dalam.

## II. METODE PENELITIAN

Pada Gambar 1 di bawah merupakan diagram alir perancangan alat pemetaan kontur dalam dengan sensor ultrasonik. Pertama menentukan latar belakang dan permasalahan sebagai perancangan awal penelitian. Kedua, mencari literatur dan studi lapangan sebagai referensi penelitian. Selanjutnya, merancang *hardware*, elektrik, dan program Arduino sebagai *software*. Hal tersebut dapat dilakukan secara bersamaan maupun bergantian karena berkaitan satu sama lain. Setelah desain dari *hardware*, elektrik, dan program mikrokontroler sudah selesai, dilanjutkan dengan mengaplikasikan desain tersebut secara langsung, membuat *hardware*, merangkai komponen elektrik, dan membuat program mikrokontroler. Dalam tahap ini, masing-masing bagian dibuat secara terisolir dan purwarupa tanpa terkoneksi satu sama lain. Dilanjutkan dengan memprogram pembuat gambar kontur dalam menggunakan aplikasi Matlab. Data yang digunakan dalam tahap ini berupa data *dummy* agar bisa diuji coba secara terisolir dari bagian lain. Setelah semua bagian sudah berjalan sesuai, tahap selanjutnya adalah merangkai menjadi satu sistem, bagian *hardware* yang sebagian besar digunakan sebagai penumpu alat dipasangkan dengan bagian elektrik. Program diunggah ke mikrokontroler dan dicoba dihubungkan dengan komputer sebagai pemroses data dan penghasil gambar menggunakan aplikasi Matlab. Setelah semua terpasang, dilakukan uji coba sistem keseluruhan, jika ada permasalahan dapat dilakukan perbaikan atau *troubleshooting*. Jika sistem sudah berjalan dengan lancar dan baik, tahap selanjutnya adalah uji performa dari alat pemetaan kontur dalam dengan sensor ultrasonik. Hasil dari uji coba tersebut kemudian dicatat dan diolah sebagai bahan diskusi. Tahap akhir dari penelitian ini berupa kesimpulan dari berbagai proses sebelumnya yang sudah dijalankan.

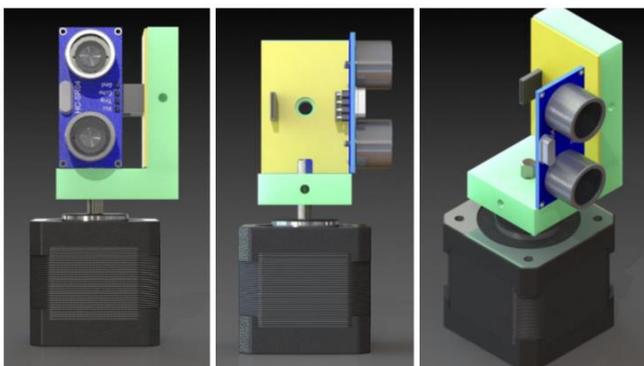


Gambar 1 Diagram alir perancangan alat pemetaan kontur dalam dengan sensor ultrasonic

#### A. Proses Perancangan hardware

Tahap pertama pada penelitian ini adalah pencangan *hardware*. Dalam penelitian perancangan hardware berfokus pada pembuatanudukan sensor ultrasonik ke motor stepper. Beberapa komponen yang digunakan antara lain, untuk sensor ultrasonik menggunakan HC-SR04, untuk motor stepper yang digunakan adalah stepper NEMA 17. Kedua komponen tersebut, membutuhkan sebuah rancangan dudukan yang disesuaikan dengan ukuran komponen tersebut.

Dimensi utama yang sudah diperoleh kemudian dirancang menggunakan *software* 3D Solidwork.



Gambar 2 Perancangan *hardware* dudukan sensor ke motor stepper.

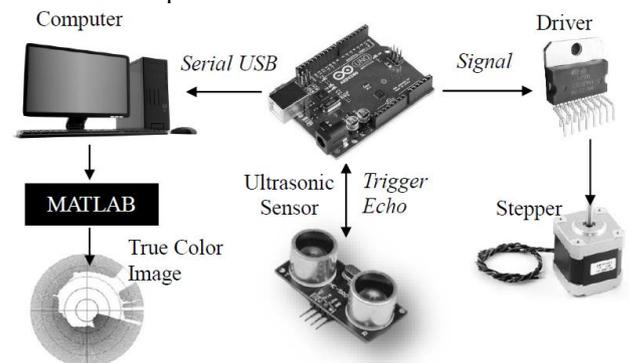
Dalam proses ini potensi kendala berupa berkurangnya akurasi deteksi kontur saat pengoperasian dapat diperbaiki dengan membuat orientasi vertikal. Diketahui pada saat pengujian bahwa proses pengirim dan penerima gelombang

ultrasonik menjadi semakin lebar. Jika menggunakan orientasi horisontal. Orientasi sensor ini membuat besar area gelombang saat mengukur kontur menjadi tidak sesuai. Hal ini diperbaiki dengan membuat orientasi sensor ultrasonik secara vertikal sehingga diharapkan dapat memperkecil area gelombang saat pengukuran. Hasil desain dapat dilihat pada Gambar 2. Setelah hasil dari desain 3D didapatkan kemudian dilanjutkan dengan pembuatan dudukan secara langsung. Bahan yang digunakan sebagai dudukan adalah Raku tool [7] yang dibentuk melalui proses permesinan CNC.

#### B. Perancangan Elektrik

Sebagai penggerak utama, motor stepper NEMA 17 digunakan dalam penelitian ini. Motor stepper ini dipilih karena harganya paling terjangkau dan sering digunakan, contohnya dalam pembuatan CNC berskala kecil [8]. Motor stepper ini membutuhkan pengendali, maka IC L298 digunakan sebagai driver. Komponen pengukur utama dalam penelitian ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor ini dipilih karena sudah sangat banyak digunakan di penelitian-penelitian sebelumnya, salah satunya penelitian oleh Satya T et al. untuk monitoring ketinggian [6]. HC-SR04 pun dipilih karena dinilai bagus, murah, serta proses pengukurannya cukup sederhana [9].

Sebagai otak utama alat penelitian ini, mikrokontroler Arduino Uno dipilih karena pemrogramannya cukup mudah serta harganya yang terjangkau [10]. Pada era sekarang ini, mikrokontroler Arduino Uno juga sedang banyak digunakan [11]. Komponen terakhir yang cukup penting adalah perangkat lunak aplikasi Matlab sebagai pemroses sinyal jarak menjadi gambar pemetaan kontur dalam. Semua komponen tersebut terkoneksi satu sama lain dan secara keseluruhan dapat dilihat di Gambar 3.



Gambar 3 Perancangan *hardware* kedua berupa dudukan sensor ke motor stepper.

Spesifikasi Komponen Elektrik yang akan di rangkai dapat dilihat pada Tabel I. Pada sistem alat ini, tegangan listrik yang dibutuhkan ada dua jenis yaitu 5V dan 12V. Sebagian besar komponen menggunakan 5V yaitu IC driver L298, sensor ultrasonik HC-SR04, dan mikrokontroler Arduino Uno. Untuk tegangan Arduino Uno, bisa didapatkan langsung dengan menghubungkan ke komputer menggunakan kabel USB [12]. Sedangkan untuk motor stepper NEMA 17 membutuhkan tegangan sebesar 12V. Pemilihan motor tersebut membuat arus yang muncul menjadi cukup besar, maka dari itu pemilihan IC driver L298 dibutuhkan.

TABEL I  
SPESIFIKASI KOMPONEN ELEKTRIK

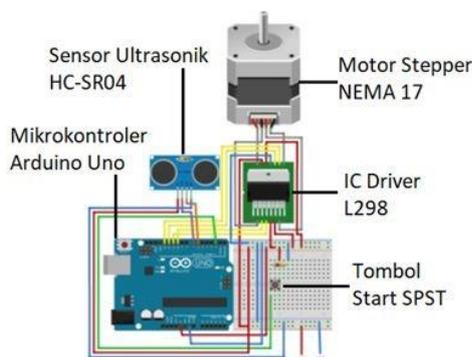
No	Nama Komponen	Type Komponen	Besar Tegangan
1	Mikrokontroler	Arduino Uno	5V
2	IC Driver Sensor	L298	5V
3	Ultrasonik	HC-SR04	5V
4	Motor Stepper	NEMA 17	12V

Cara kerja dari alat ini berpusat pada sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor ini akan mengukur jarak antara sensor dengan permukaan benda yang ada pada jarak deteksi. Prinsip pengukuran jarak ini memanfaatkan gelombang suara ultrasonik, gelombang suara yang memiliki frekuensi di atas 20 kHz, diluar jangkauan pendengaran manusia [13].

Cara kerja dari sensor ini menggunakan dua komponen berbeda, yaitu pemancar gelombang suara dan penerima gelombang suara. Untuk pemancar, dikendalikan oleh pin *trigger* atau pemicu pada sensor HC-SR04. Komponen penerima di sensor ultrasonik HC-SR04 berhubungan dengan pin *echo* dan dikoneksikan dengan salah satu pin input di mikrokontroler Arduino.

Agar alat dapat bekerja secara otomatis dan berkelanjutan, maka digunakanlah motor stepper NEMA 17. Untuk mengendalikan motor stepper, IC driver L298 digunakan sebagai jembatannya. Hasil sinyal kendali yang sudah diproses oleh IC L298 diteruskan dan dikeluarkan berupa 4 output yang langsung dikoneksikan dengan motor stepper NEMA 17.

Satu buah tombol berkonfigurasi SPST (*Single Pole Single Throw*) [14] dibutuhkan sebagai tombol mulai dari alat ini. Tombol ini bertujuan sebagai pengendali alat agar bisa memulai proses pemetaan kontur sesuai harapan operator. Gambar 4 menjelaskan tentang rancangan elektrik yang digunakan dalam penelitian secara detail.



Gambar 4 Perancangan rangkaian elektrik alat pemetaan kontur dalam dengan sensor ultrasonik

Untuk mendapatkan hasil berupa gambar pemetaan, maka dibutuhkan aplikasi Matlab sebagai pemroses lanjutan. Aplikasi Matlab [15] bekerja dalam sistem operasi Windows. Koneksi komunikasi serial digunakan dalam penelitian ini, tujuannya agar data dari mikrokontroler Arduino dapat dikirimkan ke komputer.

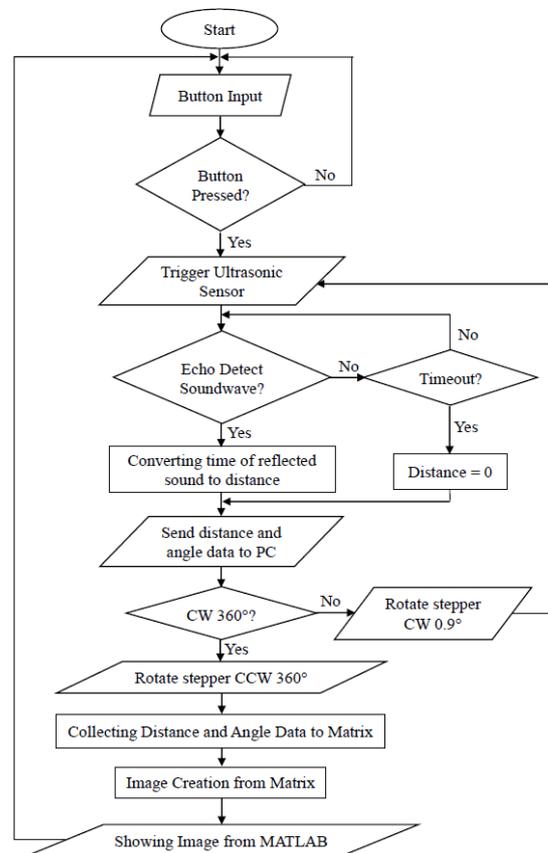
Koneksi serial dalam mikrokontroler Arduino Uno menggunakan dua pin, pertama pin TX sebagai pemancar atau *transmitter* bersamaan dengan pin 1 Arduino, kedua pin

RX sebagai penerima atau *receiver* bersamaan dengan pin 0 Arduino. Koneksi serial mikrokontroler Arduino ke komputer sudah sangat dipermudah oleh pembuat Arduino [16], untuk menghubungkannya hanya memerlukan satu kabel USB tipe A yang terhubung ke komputer dan USB tipe mikro-B 5 pin.

### C. Perancangan Program (Software)

Perancangan program dapat dibagi menjadi dua, program untuk mikrokontroler Arduino dan program untuk pemrosesan data di Matlab. Pemrograman pada mikrokontroler Arduino memiliki fungsi mengukur jarak dengan sensor ultrasonik HC-SR04, menggerakkan motor stepper per langkah hingga satu putaran penuh, dan mengirimkan data jarak hasil pengukuran ke komputer melalui koneksi serial.

Pada pemrograman Matlab, fungsinya adalah untuk menangkap data jarak dari mikrokontroler Arduino melalui koneksi serial dan memproses data tersebut untuk membuat peta gambar kontur dalam dengan warna. Diagram alir keseluruhan program dapat dilihat di Gambar 5.



Gambar 5 Diagram alir keseluruhan program

Pada pemrograman mikrokontroler Arduino, tahap pertama yang dirancang adalah tombol mulai. Input dari tombol mulai menentukan berjalannya suatu proses, jika mendapatkan input *high* atau 1 (sebesar 5V) maka langkah program selanjutnya berjalan. Jika tombol tidak ditekan atau mendapatkan input *low* (sebesar 0V), program akan menunggu dan berulang-ulang menanyakan kondisi tombol sampai berubah menjadi kondisi *high*.

Tahap selanjutnya setelah tombol ditekan, sensor ultrasonik HC-SR04 mengukur jarak permukaan benda dengan mengirimkan gelombang ultrasonik [17]. Proses ini dimulai dengan memberikan sinyal output *high* ke pin *trigger* pada HC-SR04. Sensor HC-SR04 memancarkan gelombang suara ultrasonik dan jika ada permukaan benda dalam jangkauan maka permukaan tersebut memantulkan gelombang suara dan gelombang tersebut akan kembali ke sensor dan ditangkap oleh penerima gelombang ultrasonik. Sensor HC-SR04 akan memberikan sinyal balik ke mikrokontroler melalui pin *echo* saat menerima gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh permukaan benda.

Waktu jeda antara pengiriman sinyal gelombang ultrasonik dan penerimaannya menjadi faktor utama penentu jarak. Semakin singkat waktu sinyal kembali dapat diartikan semakin dekat jarak antara sensor dan permukaan benda. Waktu jeda ini memiliki kata lain *time of flight* sebagai kata yang umum digunakan secara internasional, karena mendefinisikan waktu terbang gelombang suara ultrasonik.

Untuk mengubah *time of flight* dari gelombang ultrasonik menjadi jarak antar sensor dan permukaan benda, perlu memperhatikan beberapa faktor, yaitu kecepatan suara pada udara dan konstanta  $k$  yang bernilai 0.5 dikarenakan gelombang tersebut berjalan dua kali. Perjalanan pertama adalah dari sensor ke permukaan benda, dan kedua adalah dari permukaan benda kembali ke sensor.

Konstanta  $k$  yang berupa 0.5 berfungsi membagi 2 waktu yang digunakan oleh gelombang tersebut. Untuk kecepatan gelombang suara dalam Persamaan (1) disimbolkan menjadi  $V_s$  bernilai 344 m/s dalam suhu 20°C [18]. Dalam Pers. 1 konstanta  $k$  dan kecepatan suara  $V_s$  sudah diatur selalu sama dengan mengabaikan faktor suhu yang dapat berubah. *Time of flight* yang disimbolkan  $T_f$  menjadi variabel penentu terakhir untuk menghitung jarak. Setelah konstanta tetap  $k$  dan  $V_s$  dimasukkan dalam Persamaan (1), konstanta baru bernilai 5.8139 didapatkan untuk mempersingkat perhitungan dalam program, hal ini dapat dilihat di Persamaan (2). dari Persamaan (2) digunakan dalam program Arduino dan variabel  $T_f$  didapatkan dari perhitungan waktu tunggu jeda antara *trigger* dan *echo*.

$$D = T_f * k * V_s \quad (1)$$

$$D = \frac{T_f}{5.8139} \quad (2)$$

Proses pengukuran jarak oleh sensor ultrasonik HC-SR04 tidak dilakukan hanya sekali, siklus proses tersebut akan dilakukan berkali-kali setiap pergerakan motor stepper NEMA 17. Motor stepper berputar per langkah berdasarkan spesifikasinya masing-masing, pada penelitian ini menggunakan NEMA 17 yang dapat berputar per langkah sejauh 1.8° *full step*. Putaran per langkah dalam motor stepper memiliki dua jenis, yaitu *full step* dan *half step*. Untuk mencapai ketelitian yang lebih baik penelitian ini menggunakan langkah *half step* pada motor stepper NEMA 17, hingga dapat mencapai putaran 0.9° per langkah. Berdasarkan hal tersebut, proses pengukuran jarak akan terjadi sebanyak 400 kali hingga motor stepper berputar 360°.

Untuk menggerakkan motor stepper NEMA 17 per langkah dengan metode *half step*, keempat output mikrokontroler Arduino dinyalakan bergantian per langkah, misalkan output 1 menyala, kemudian output 1 dan 2 menyala, dilanjutkan dengan output 2 menyala, lalu output 2 dan 3 menyala sampai siklus penuh. Total siklus ini hingga 8 langkah, dapat dilihat pada Gambar 6. Dengan menggunakan perintah *switch case*, pin output mikrokontroler diatur kondisi menyala dan matinya satu per satu.

Dari setiap proses pengukuran jarak akan langsung dikirimkan ke komputer beserta data sudut yang ditempuh melalui koneksi serial USB agar dapat disimpan dalam bentuk matriks. Dalam penelitian ini, koneksi serial menggunakan *baudrate* sebesar 9600. Kedua alat yang dikomunikasikan, mikrokontroler Arduino dan komputer harus diatur *baudrate* komunikasi sama, jika tidak maka data yang akan dikirimkan tidak bisa diinterpretasikan secara benar.

Siklus yang dilakukan alat ini adalah mengukur jarak dari sensor dengan gelombang ultrasonik, mengirimkan data jarak dan sudut ditempuh ke komputer, lalu memutar satu langkah secara *half step* motor stepper sejauh 0.9°. Setelah satu siklus selesai, siklus akan diulang secara terus menerus hingga 400 kali untuk mencapai satu putaran penuh motor sejauh 360°.

```
void movingstep(int c)
{
  switch(c)
  {
    case 1:
      digitalWrite(pin1.HIGH);
      digitalWrite(pin2.LOW);
      digitalWrite(pin3.LOW);
      digitalWrite(pin4.LOW);
      break;
    case 2:
      digitalWrite(pin1.HIGH);
      digitalWrite(pin2.HIGH);
      digitalWrite(pin3.LOW);
      digitalWrite(pin4.LOW);
      break;
    .
    .
    case 7:
      digitalWrite(pin1.LOW);
      digitalWrite(pin2.LOW);
      digitalWrite(pin3.LOW);
      digitalWrite(pin4.HIGH);
      break;
    case 8:
      digitalWrite(pin1.HIGH);
      digitalWrite(pin2.LOW);
      digitalWrite(pin3.LOW);
      digitalWrite(pin4.HIGH);
      break;
  }
}
```

Gambar 6 Program mikrokontroler arduino pengendalian stepper

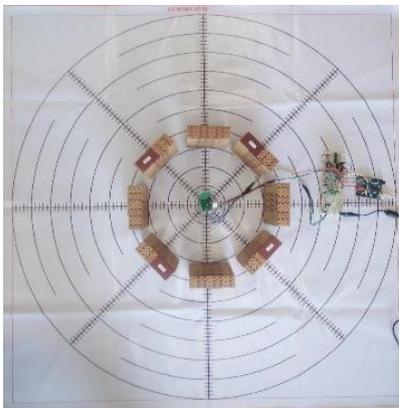
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses pemrograman pada Matlab, setiap data yang dikirimkan akan dimasukkan ke dua array yang berbeda. Array pertama digunakan khusus untuk

menyimpan data jarak, array kedua digunakan untuk menyimpan data sudut. Dengan adanya kedua data ini, jika jarak dan sudut digabungkan maka akan didapatkan tipe data polar.

Untuk merepresentasikan data ini menjadi gambar, perlu adanya proses perubahan data menjadi kartesian. Perubahan data dari polar menjadi kartesian diperlukan karena pembuatan gambar pada Matlab berbasis *pixel*. Data *pixel* dalam gambar sangat terkait dengan sistem koordinat kartesian sehingga lebih mudah membuat gambar dari koordinat kartesian dibanding bentuk koordinat polar. Perubahan bentuk data koordinat polar menjadi kartesian dapat menggunakan perintah `pol2cart` dalam Matlab.

Proses selanjutnya sebelum proses penciptaan gambar kontur dalam, beberapa garis referensi untuk membantu pembacaan perlu dipersiapkan. Penggambaran Matlab dalam penelitian ini memiliki dua garis referensi, yaitu garis lurus koordinat kartesian dan garis skala inkremental berbentuk lingkaran. Garis lurus koordinat kartesian terdiri dari dua bagian, yaitu garis koordinat x dan garis koordinat y. Garis skala inkremental terdiri dari 5 lingkaran yang perubahan diameternya tiap 20 sentimeter, sehingga dapat dilihat perubahan jarak dari alat tiap 10 sentimeter. Bentuk kontur aktual yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 7.

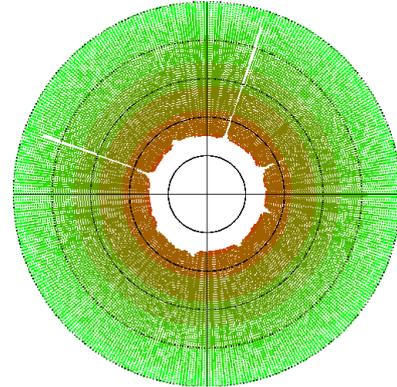


Gambar 7 Kontur Aktual

Dalam penggambaran Matlab, pewarnaan pixel juga digunakan dengan mengatur tiga variabel tiap *pixel*-nya, yaitu merah, hijau, dan biru. Tiap warna dari *pixel* ditentukan oleh besarnya nilai dari ketiga variabel tersebut, dengan minimum nilai 0 dan maksimum nilai 1. Pewarnaan tiap *pixel* ini untuk membantu pembacaan secara visual, jika benda dekat dengan alat maka akan berwarna merah, semakin menjauh maka benda akan berubah cenderung menjadi hijau. Transisi warna ini dapat dicapai dengan mengatur perubahan nilai variabel merah dan hijau di tiap *pixel*.

Seluruh data yang sudah terkumpul dalam array hasil akhirnya akan diproses menjadi suatu garis dalam gambar. Tiap perubahan sudut  $0.9^\circ$ , satu garis akan digambarkan. Proses penggambaran garis dimulai dari titik jarak deteksi hingga maksimum radius yang sudah ditentukan dalam penelitian ini, berupa 50 sentimeter. Pada hasil akhir gambar, kontur dari suatu benda akan tervisualisasi melalui

Matlab dan diharapkan dapat merepresentasikan keadaan fisik. Hasil dapat dilihat di Gambar 8. Perbandingan dari Gambar 7 beserta ukuran jaraknya dapat dilihat pada gambar tersebut.



Gambar 8 Kontur hasil visualisasi matlab

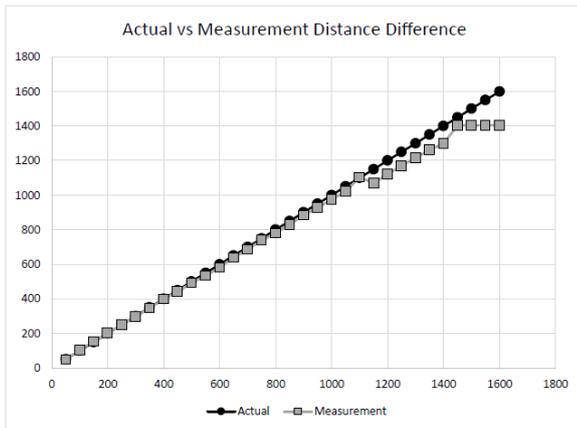
#### A. Hasil eksperimen jarak linear

Eksperimen pertama yang dilakukan untuk menguji akurasi dari kemampuan sensor ultrasonik. Berdasarkan penelitian oleh Andayani M. et al., sensor HC-SR04 dapat bekerja baik pada jarak 14 hingga 250 sentimeter [19]. Dalam eksperimen, akan dilakukan pengukuran dimulai dari jarak 50 milimeter dengan peningkatan sebesar 50 milimeter hingga sensor tidak dapat membaca jarak lagi. Hasil data pada eksperimen ini dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II  
DATA HASIL EKSPERIMEN JARAK LINEAR

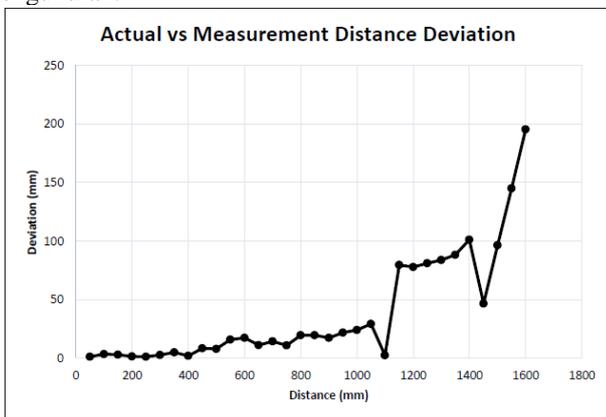
Actual	Measurement	Actual	Measurement
50	48.8	850	830.25
100	103.55	900	885.5
150	153.05	950	928.15
200	201.65	1000	975.9
250	248.65	1050	1020.65
300	297.15	1100	1102.65
350	345	1150	1070.35
400	397.95	1200	1122.2
450	441.4	1250	1168.75
500	492	1300	1216.1
550	534.15	1350	1261.65
600	582.45	1400	1298.9
650	638.65	1450	1403.3
700	685.5	1500	14.3.55
750	738.9	1550	1405.05
800	780.25	1600	1404.65

Untuk memudahkan pembacaan perbandingan, data hasil eksperimen dapat dikonversi menjadi grafik yang dapat dilihat pada Gambar 9. Eksperimen jarak linear ini berhenti pada pengukuran 1600 milimeter dikarenakan tidak adanya perubahan signifikan pada hasil pengukuran. Perubahan hasil pengukuran terjadi dimulai dari pengukuran awal hingga 1450 milimeter, setelah pengukuran ini hasil pembacaan sensor hanya berubah maksimal 2 milimeter walaupun pada aktualnya perubahan mencapai 50 milimeter.



Gambar 9 Grafik perbedaan aktual dan hasil pengukuran pada eksperimen jarak linear

Data hasil eksperimen kemudian diolah untuk mendapatkan deviasi dari tiap pengukuran. Hal ini bertujuan untuk melihat lebih akurat perbandingan antara aktual dan hasil pengukuran. Grafik dari deviasi dapat dilihat pada Gambar 10. Walaupun perubahan deviasi pada pengukuran di awal ada naik dan turun, tetapi secara umum terjadi kenaikan dengan meningkatnya jarak benda dari alat pengukuran.



Gambar 10 Grafik deviasi perbedaan aktual dan hasil pengukuran pada eksperimen jarak linear

**B. Hasil eksperimen jarak per sudut**

Eksperimen ini dilakukan untuk menguji kemampuan pengukuran jarak di beberapa sudut acuan. Sudut yang dipilih dalam eksperimen ini dimulai dari 0° hingga satu putaran penuh dengan inkremental 45°. Percobaan tiap siklus ini dilakukan tiga kali dengan tiga jarak benda yang berbeda, yaitu 150 milimeter, 200 milimeter, dan 250 milimeter. Hasil data pada eksperimen ini dapat dilihat pada Tabel III.

TABEL III  
DATA HASIL EKSPERIMEN JARAK PER SUDUT

Sudut	Pengukuran		
	150 mm	200 mm	250 mm
0°	153	192	235
45°	152	196	245
90°	150	197	250
135°	150	197	245
180°	150	197	250
225°	157	200	249
270°	150	201	242
315°	151	196	243

Hasil data eksperimen jarak per sudut ini kemudian diproses hingga didapatkan deviasinya. Setelah diproses deviasinya, deviasi dari setiap sudut dirata-rata. Hal ini bertujuan untuk mencari sudut mana yang akurat dan yang paling tidak akurat. Hasil dari deviasi eksperimen jarak per sudut dapat dilihat di Tabel IV. Berdasarkan hasil deviasi, dapat diketahui bahwa sudut 0° merupakan sudut yang paling tidak akurat. Sudut yang paling akurat memiliki rata-rata deviasi sebesar 1 milimeter, yaitu sudut 90° dan sudut 180°.

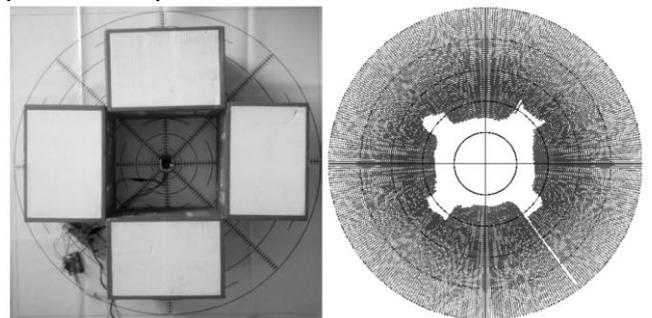
TABEL IV  
DEVIASI DATA EKSPERIMEN JARAK PER SUDUT

Sudut	Deviation from actual			Average
	150	200	250	
0°	3	8	15	8.667
45°	2	4	5	3.667
90°	0	3	0	1
135°	0	3	5	2.667
180°	0	3	0	1
225°	7	0	1	2.667
270°	0	1	8	3
315°	1	4	7	4

**C. Hasil eksperimen bentuk kontur**

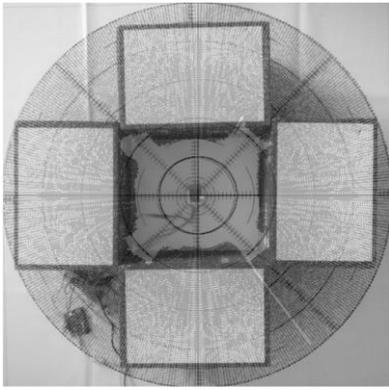
Eksperimen terakhir yang dilakukan adalah perbandingan bentuk kontur dalam secara keseluruhan. Dikarenakan produk hasil akhir dari alat ini berupa gambar kontur, kemampuan alat untuk mendeteksi berbagai bentuk kontur perlu diuji. Pada eksperimen ini, 3 bentuk kontur diuji, yaitu bentuk kotak, persegi panjang, dan segitiga.

Salah satu contoh pada hasil experiment bentuk kotak Pada Gambar 11, sejumlah benda berbahan kardus dibentuk menjadi kotak dengan dimensi 20x20 sentimeter. Sesuai hasil, alat dapat menangkap bentuk kotak secara keseluruhan walaupun ada bagian yang kurang tertangkap pada sudut tiap kotak.



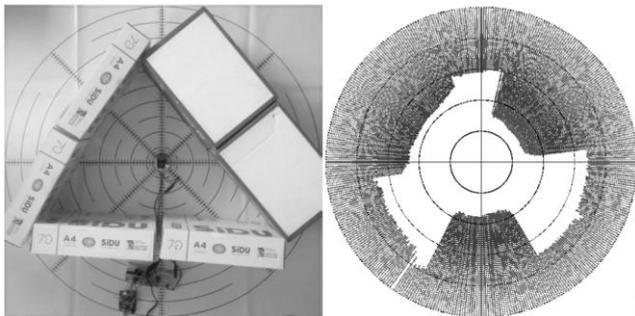
Gambar 11 Hasil eksperimen bentuk kontur kotak aktual (kiri) dan proyeksi gambar (kanan)

Pengukuran jarak antara aktual dan hasil proyeksi gambar juga menunjukkan kecocokan yang cukup baik. Hasil kombinasi dari aktual dan proyeksi gambar pada Gambar 12 bertujuan untuk membandingkan langsung secara visual.



Gambar 12 Hasil eksperimen bentuk kontur kotak kombinasi aktual dan hasil proyeksi gambar

Hasil eksperimen kontur persegi dan persegi panjang diketahui bahwa alat tetap dapat mendapatkan kontur persegi dan persegi panjang secara keseluruhan. Hasil pengukuran jarak juga menunjukkan hal yang sama. Ada permasalahan yang muncul juga pada eksperimen, yaitu bentuk kontur pada tiap sudut tidak dapat digambarkan dengan baik oleh alat. Hal ini juga dibuktikan dengan bentuk segitiga. Pada saat pengujian sudut lurus pada bentuk segitiga dapat terbaca dan memiliki hasil pengukuran yang baik, sebaliknya pada ketiga sudut segitiga memiliki hasil pengukuran yang tidak sesuai. Hasil experiment bentuk segitiga dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Hasil eksperimen bentuk kontur segitiga aktual (kiri) dan proyeksi gambar (kanan)

Dari hasil percobaan dengan 3 bentuk kontur yang sudah dicoba pada eksperimen dengan bentuk kontur persegi, persegi panjang, dan segitiga diketahui bahwa sudut permukaan terhadap pembacaan sensor sangat mempengaruhi hasil pengukuran dengan alat yang sudah dibuat.

#### IV. KESIMPULAN

Pengukuran linear pada eksperimen ini membuktikan kemampuan pengukuran kontur maksimal pada jarak 1450 milimeter. Pada kemampuan pengukuran maksimal 1450 milimeter, deviasi yang didapat sangat besar, sehingga untuk mendapatkan hasil yang cukup akurat dengan deviasi 30 milimeter maksimal pada jarak 1100 milimeter. Jika dibutuhkan keakuratan yang lebih baik dengan deviasi maksimal 10 milimeter, jarak pengukuran maksimal ada pada 500 milimeter. Dengan bertambahnya jarak antara alat dengan permukaan benda, keakuratan pembacaan jarak akan berkurang.

Kemampuan alat untuk mengukur jarak kontur per sudut memiliki beberapa variasi. Maksimal deviasi pengukuran adalah 15 milimeter dan rata-rata deviasi keseluruhan 3.335 milimeter. Sudut  $0^\circ$  merupakan sudut pembacaan yang paling tidak akurat dengan deviasi 8.67 milimeter. Di sisi lain, sudut  $90^\circ$  dan  $180^\circ$  merupakan sudut pembacaan yang paling akurat dengan nilai deviasi sebesar 1 milimeter.

Hasil eksperimen pada bentuk kontur cukup akurat pada kontur kotak dan persegi panjang. Kedua bentuk kontur ini sangat serupa, untuk pengukuran jarak juga memiliki hasil yang cukup baik. Walaupun pembacaan secara keseluruhan cukup baik pada kedua kontur ini, didapatkan permasalahan yang sama pada sudut tiap bentuknya. Permasalahan ini ditunjukkan lebih jelas pada kontur segitiga. Hasil proyeksi gambar pada bentuk segitiga hanya terbaca sebagian, sesuai hasil dapat dilihat alat mendeteksi kontur yang tegak lurus dengan sudut pengukuran sensor. Semakin besar perubahan sudut dari sudut tegak lurus sensor, pembacaan bentuk kontur semakin tidak akurat. Hal ini disebabkan oleh prinsip pemantulan gelombang suara sensor yang tidak langsung kembali ke sensor setelah kontak dengan permukaan kontur benda. Jika sudut antara sensor dan permukaan tegak lurus, gelombang akan langsung kembali dan memberikan pembacaan *time of flight* yang akurat. Semakin besar deviasi sudut tegak lurusnya, maka kecenderungan gelombang suara untuk dipantulkan ke arah lain dan tidak kembali semakin besar. Fenomena ini yang menyebabkan pembacaan jarak menjadi tidak akurat atau bahkan dapat tidak terbaca.

#### DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. Annisa, "Sejarah Revolusi Industri dari 1.0 sampai 4.0," *Artikel Mahasiswa Sistem Telekomunikasi*, vol. 1, pp. 2–3, 2021.
- [2] C. W. Darmawan, "Alat Ukur dan Teknik Pengukuran," 2021.
- [3] A. D. Wilujeng and R. Hakim, "Rancang Bangun Purwa-Rupa Cmm Tower Fixture Sebagai Dasar Media Pembelajaran Gd&T," *Jurnal Integrasi*, vol. 12, no. 1, pp. 88–93, 2020.
- [4] B. W. Febriantoko, A. Muklis, and M. Riska, "Reverse Engineering Outer Fender pada Mobil Mini Truk Esemka," 2012.
- [5] B. Arsada, "Aplikasi sensor ultrasonik untuk deteksi posisi jarak pada ruang menggunakan arduino uno," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [6] T. P. Satya, M. R. al Fauzan, and E. M. D. Admoko, "Sensor ultrasonik HCSR04 berbasis arduino due untuk sistem monitoring ketinggian," *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, vol. 15, no. 2, pp. 36–39, 2019.
- [7] D. Sukhorukov, A. Kreshchik, V. Sharshin, and E. Sukhorukova, "Recycling of polymer materials for foundry patterns," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Sep. 2020, vol. 919, no. 6. doi: 10.1088/1757-899X/919/6/062037.
- [8] T. F. Prasetyo, H. Sujadi, and R. M. Azizi, "Desain Dan Pengembangan Peralatan Rekayasa Otomatis

- Pada Papan Tulis Menggunakan Arduino Uno R3 Terintegrasi Dengan Android,” *INFOTECH journal*, vol. 6, no. 2, pp. 57–64, 2020.
- [9] V. A. Zhmud, N. O. Kondratiev, K. A. Kuznetsov, V. G. Trubin, and L. v Dimitrov, “Application of ultrasonic sensor for measuring distances in robotics,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015, no. 3, p. 032189.
- [10] M. Gofur Saleh and I. Subijanto, “PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PROTOTYPE KODE PANGAMAN BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK SEPEDA MOTOR,” 2013.
- [11] R. Hidayat, R. A. Darajatun, R. Setiawan, and V. P. Fakhriani, “ALAT PENGUKUR KECEPATAN LARI BERBASIS MIKROKONTROLER,” *Barometer*, vol. 4, no. 1, pp. 167–173, 2019.
- [12] U. Latifa and J. S. Saputro, “Perancangan Robot Arm Gripper Berbasis Arduino Uno Menggunakan Antarmuka Labview,” *Barometer*, vol. 3, no. 2, pp. 138–141, 2018.
- [13] M. Sholihah, U. Ahmad, and I. W. Budiastira, “Aplikasi gelombang ultrasonik untuk meningkatkan rendemen ekstraksi dan efektivitas antioksidan kulit manggis,” *Jurnal keteknik pertanian*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [14] S. Pengajar Jurusan Teknik Elektro, P. H. Negeri Semarang Jl Soedarto, and S. Tembalang Semarang, “RANCANG BANGUN TIMER TERPROGRAM DENGAN TAMPILAN LAMPU TIGA WARNA SEBAGAI PEWAKTU PADA KEGIATAN SEMINAR,” 2019.
- [15] M. Isnaini and M. Silfia Dewy, “PEMANFAATAN MATLAB SIMULINK SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PRAKTIKUM SECARA DARING,” *Jurnal TIK dalam Pendidikan*, vol. 8, no. Desember, p. p, 2021.
- [16] M. Ferdian Putra, A. Harsa Kridalaksana, Z. Arifin, and P. Studi Ilmu Komputer FKTI Universitas Mulawarman Jl Barong Tongkok Kampus Gunung Kelua Kota Samarinda, “RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI KEBOCORAN GAS LPG DENGAN SENSOR MQ-6 BERBASIS MIKROKONTROLER MELALUI SMARTPHONE ANDROID SEBAGAI MEDIA INFORMASI,” *Jurnal Informatika Mulawarman*, vol. 12, no. 1, p. 1, 2017. [Online]. Available: [www.cayenne-mydevices.com](http://www.cayenne-mydevices.com).
- [17] P. Stevano *et al.*, “JURNAL EINSTEIN Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika IMPLEMENTASI SENSOR ULTRASONIK HC-SR04 SEBAGAI SENSOR PARKIR MOBIL BERBASIS ARDUINO,” Dipublikasikan, 2017. [Online]. Available: <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/inpafie-issn:2407-747x,p-issn2338-1981>
- [18] J. Shipman, J. D. Wilson, and C. A. Higgins, *An introduction to physical science*. Cengage Learning, 2012.
- [19] M. Andayani, W. Indrasari, and B. H. Iswanto, “Kalibrasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 sebagai Sensor Pendeteksi Jarak pada Prototipe Sistem Peringatan Dini Bencana Banjir,” in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)*, 2016, vol. 5, pp. SNF2016-CIP.