

SISTEM PENGUKUR KECEPATAN LINEAR BOLA BERBASIS LASER POINTER DIODA DAN PHOTORESISTOR

LAPORAN PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu tugas mata kuliah EL3013 Sistem
Instrumentasi pada Semester I Tahun Akademik 2020-2021**

oleh

Andhika Rahadian

13218030



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
BANDUNG
2020**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
B100 – KONSEP PRODUK	1
1.1 Latar Belakang dan Rumusan Masalah	1
1.1.1 Latar Belakang	1
1.1.2 Rumusan Masalah	2
1.2 Konsep Produk	3
B200 – SPESIFIKASI PRODUK	5
2.1 Spesifikasi Akurasi	5
2.2 Spesifikasi Presisi	6
2.3 Spesifikasi Resolusi	7
2.4 Spesifikasi Linieritas	7
2.5 Spesifikasi Lain	8
B300 - RANCANGAN	9
3.1 Diagram Blok Rancangan Sistem	9
3.2 Wiring Diagram	10
3.3 Flowchart Software	12
B400 - IMPLEMENTASI & REALISASI PRODUK	15
4.1 Pemilihan Sensor Pendeteksi Pergerakan Bola	15
4.2 Pemilihan Komponen User Interfacing	18
4.3 Pemilihan Microcontroller	20
4.4 Skematik Circuit dalam Breadboard	21
4.5 Implementasi Software	24
B500 - PENGUJIAN	27
5.1 Pengujian Spesifikasi Akurasi	27
5.2 Pengujian Spesifikasi Presisi	31
5.3 Pengujian Spesifikasi Resolusi	33
5.4 Pengujian Spesifikasi Linearitas	35
KESIMPULAN DAN SARAN	38
6.1 Kesimpulan	38

6.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA.....		40

B100 – KONSEP PRODUK

1.1 Latar Belakang dan Rumusan Masalah

1.1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa kasus di dunia nyata, terdapat alat alat industri yang fungsinya untuk menumbuk atau memberikan dorongan untuk suatu benda. Misalnya, untuk mensortir barang-barang agar ditempatkan sesuai dengan yang diinginkan. Ketika menumbuk benda yang akan di sortir, benda akan bergerak dengan kecepatan tertentu sesuai dengan momentum yang diberikan oleh penumbuk. Tentu kita tidak menginginkan benda yang ditumbuk melaju terlalu cepat sehingga merusak bend aitu sendiri dan peralatan yang lain[1].

Jika benda benda disortir tidak berdasarkan massanya (seperti hanya berdasarkan warna, atau jenis bahan dari benda), maka dapat dibentuk alat ukur kecepatan benda yang nantinya variabel kecepatan benda diberikan sebagai feedback pengendali gaya yang diberikan pada penumbuk agar benda yang ditumbuk memiliki kecepatan yang sesuai dengan batas amannya.

Sebagai contoh yang lain, untuk kasus spesifik seperti perlombaan robot yang bermain bola, tentu saja terdapat sistem penendang yang digunakan untuk menendang bola agar mencapai gawang. Untuk menguji fungsionalitas dari penendangnya, diperlukan pula suatu alat pengukur kecepatan bola agar dapat memverifikasi keberhasilan sistem penendang

yang diimplementasikan, apakah sudah memenuhi kriteria kecepatan minimal atau belum.

Contoh kasus spesifik lainnya adalah untuk mengukur kecepatan gelinding bowling. Jika ada cabang lomba bowling yang permainannya adu kecepatan bola bowling saat di lemparkan ke track, maka alat pengukur kecepatan dibutuhkan untuk menentukan kecepatan bola bowling yang melewati lintasannya.

Sehingga dengan adanya tiga contoh kasus real yang dipaparkan di atas, penulis hendak merancang suatu alat yang dapat mengukur kecepatan dari suatu benda ketika diberikan suatu momentum atau gaya eksternal dari suatu benda. Namun untuk kemudahan implementasi dan ujicoba, alat tersebut dibatasi untuk hanya dapat mengukur kecepatan linear dengan benda berbentuk bola ketika diberikan gaya atau momentum tertentu. Pemilihan bola juga digunakan karena bola mudah sekali untuk berpindah tempat karena sifatnya yang menggelinding,

Dari beberapa contoh kasus dan konsiderasi dari implementasi yang sudah dijelaskan sebelumnya, penulis akan merancang sistem pengukur kecepatan bola yang sifatnya sederhana.

1.1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang dapat diajukan adalah:

1. Bagaimana cara mengimplementasikan alat pengukur kecepatan bola?

2. Apa saja spesifikasi yang diperlukan untuk merancang alat pengukur kecepatan bola?
3. Apa saja alat atau komponen yang dibutuhkan untuk alat pengukur kecepatan bola

1.2 Konsep Produk

Dengan mempertimbangkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka penulis akan dirancang suatu produk atau alat yang dapat menentukan kecepatan linear dari bola. Konsep dari produk atau alat ini dalam menentukan kecepatan linear bola adalah dengan menggunakan laser pointer mini 5V yang biasa dipakai microcontroller seperti Arduino dan Photoresistor sebagai sensor yang mentranslasi cahaya dari laser pointer tersebut menjadi nilai resistansi yang bervariasi sesuai intensitas cahaya yang ditangkap oleh photoresistor.

Konsep alat yang akan dirancang secara umum adalah terdapat beberapa set laser pointer dan photoresistor sebagai sensor yang posisi antara set nya diatur sedemikian rupa untuk mengidentifikasi posisi bola dan sambil ditentukan juga kondisi timestamp ketika bola mengenai cahaya dari laser pointernya. Tentu saja laser pointer dan photoresistor saling dihadapkan dan dikalibrasi dengan mengatur ulang posisi laser pointer agar cahayanya menuju photoresistor, sebelum bola melewati alat tersebut.

Selanjutnya, nilai resistansi yang dihasilkan oleh photoresistor akan dikonversi menjadi tegangan agar dapat di sensing oleh microcontroller. Dengan tegangan logic level 5V yang terdapat pada microcontroller, akan

digunakan konsep pembagi tegangan sederhana, dengan menserikan photoresistor dengan resistor yang sudah diketahui. Node diantara dua resistor tersebut diambil dan dihubungkan ke pin analog microcontroller.

Sinyal tegangan tersebut akan diolah menggunakan program yang di burn ke chip microcontroller, dan dalam pengolahan tersebut terdapat pewaktuan yang nantinya dengan menggunakan konsep kecepatan rata rata yang membutuhkan data posisi dan waktu, akan ditampilkan hasil kecepatan bola.

B200 – SPESIFIKASI PRODUK

2.1 Spesifikasi Akurasi

Akurasi merupakan salah satu karakteristik statik yang dimiliki sebuah alat ukur dan dijadikan spesifikasi alat ukur itu sendiri. Akurasi dari suatu alat ukur adalah ukuran terhadap seberapa dekat nilai yang dihasilkan pembacaan alat ukur dibandingkan dengan nilai yang sebenarnya[2].

Spesifikasi akurasi yang diajukan pada alat pengukur kecepatan linear bola ini **adalah memiliki kesalahan maksimal sebesar $\pm 5\%$ f.s (full scale)** dari nilai kecepatan yang sebenarnya. Dengan kata lain, sebagai contoh apabila full scale reading yang dimiliki dari alat pengukuran kecepatan bola adalah 0 sampai 10 m/s, maka maksimum error yang ditoleransi adalah $0.05 * 10 \text{ m/s} = 0.5 \text{ m/s}$.

Adapun spesifikasi kedua yang berhubungan dengan akurasi adalah nilai dari full scale reading. Spesifikasi full scale reading dari alat pengukur kecepatan linear bola ini adalah **0.01 m/s sampai dengan 3 m/s**. Yang artinya batas minimal pengukuran adalah 0.01 m/s, dan batas maksimal pengukuran adalah 3 m/s.

Perlu menjadi catatan bahwa untuk seluruh spesifikasi yang diajukan, benda yang dijadikan ujicoba dalam proses pengukurannya adalah bola plastik yang cukup ringan dengan diameter 15cm.

2.2 Spesifikasi Presisi

Presisi adalah suatu ukuran yang mendeskripsikan DOF (*degree of freedom*) dari random errors yang dimiliki alat instrumentasi. Jika dilakukan beberapa kali pengukuran dan diambil datanya, dan data data tersebut memiliki nilai yang sama atau sangat mendekati, maka dapat dikatakan alat pengukuran tersebut memiliki presisi yang tinggi. Atau dengan kata lain, memiliki *spread of readings* yang sangat kecil. Alat yang memiliki presisi tinggi, belum tentu memiliki akurasi yang tinggi, sehingga presisi dan akurasi merupakan dua hal yang berbeda[2]

Spesifikasi presisi yang diajukan untuk alat ini adalah untuk 10 kali percobaan pengukuran data, **didapatkan nilai standard deviasi σ yang kurang dari 5**. Yang berarti, jumlah kuadrat deviasi (perbedaan) setiap data dengan rata rata nilai kecepatan yang diukur sebanyak 10 kali, dibagi dengan (10-1) akan menghasilkan variansi. Nilai akar dari variansi tersebut adalah nilai standard deviasi yang dimiliki alat ini memiliki spesifikasi kurang dari 5.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Gambar 2.2.1 Formula mencari variansi dan standard deviasi, S_x atau σ [3]

2.3 Spesifikasi Resolusi

Resolusi adalah suatu ukuran yang mendeskripsikan batas terkecil dari perubahan magnituda input besaran yang diukur menggunakan alat instrumentasi yang dapat diamati dan ditranslasikan sebagai output pengukuran instrumentasi. Sebagai contoh adalah jarum pada speedometer mobil yang memiliki skala atau garis yang menunjukkan kecepatan. Jarak terdekat antara garis garis tersebut merupakan resolusi dari alat ukur kecepatan mobil[2]

Spesifikasi resolusi yang diajukan adalah alat memiliki batas perubahan terkecil yang dapat diamati sebagai output instrumentasi memiliki nilai sebesar **1 cm/s atau 0.01 m/s**. Dengan kata lain, spesifikasi resolusi yang diajukan adalah output kecepatan yang dihasilkan instrument **akan memiliki hasil yang selalu menunjukkan dua angka di belakang koma dalam m/s**.

2.4 Spesifikasi Linieritas

Linearitas merupakan salah satu karakteristik static dari suatu alat instrumentasi yang sering kali diinginkan dalam beberapa kasus. Linearitas yang dimaksud adalah output yang ditampilkan oleh instrumen, berbanding lurus dengan besaran yang ingin diukur[2]

Spesifikasi linearitas yang diajukan pada alat ini adalah alat dapat menunjukkan perbedaan harga kecepatan ketika bola di gelindingkan dengan 4-6 variasi tenaga dari yang lemah sampai kuat yang di hasilkan

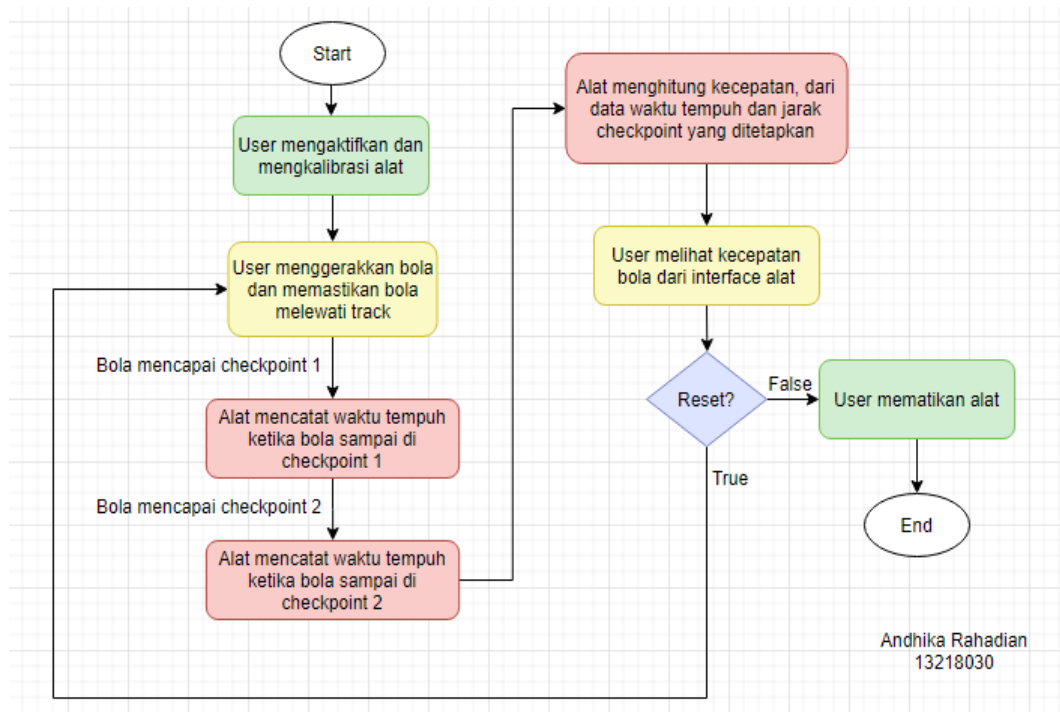
oleh tangan kita. Semakin kuat tenaga yang diberikan kepada bola, semakin besar kecepatan output yang dihasilkan instrument, begitu sebaliknya. Diharapkan alat dapat menunjukkan hasil kecepatan yang linear dengan variasi tenaga yang diberikan kepada bola.

2.5 Spesifikasi Lain

Spesifikasi lainnya, adalah sensor yang digunakan dalam alat, haruslah sensor yang primitif dengan instrumentasi. Sensor yang digunakan juga harus memiliki output sinyal berupa tegangan/arus/frekuensi/pulse dan bukan merupakan data digital.

B300 - RANCANGAN

3.1 Diagram Blok Rancangan Sistem



Gambar 3.1.1 Diagram Blok Rancangan Sistem

Menimbang konsep produk yang sudah dijelaskan pada bagian B100 dan untuk memenuhi spesifikasi yang diturunkan pada B200, berikut adalah diagram blok rancangan sistem yang diajukan untuk sistem Alat Pengukur Kecepatan Linear Bola.

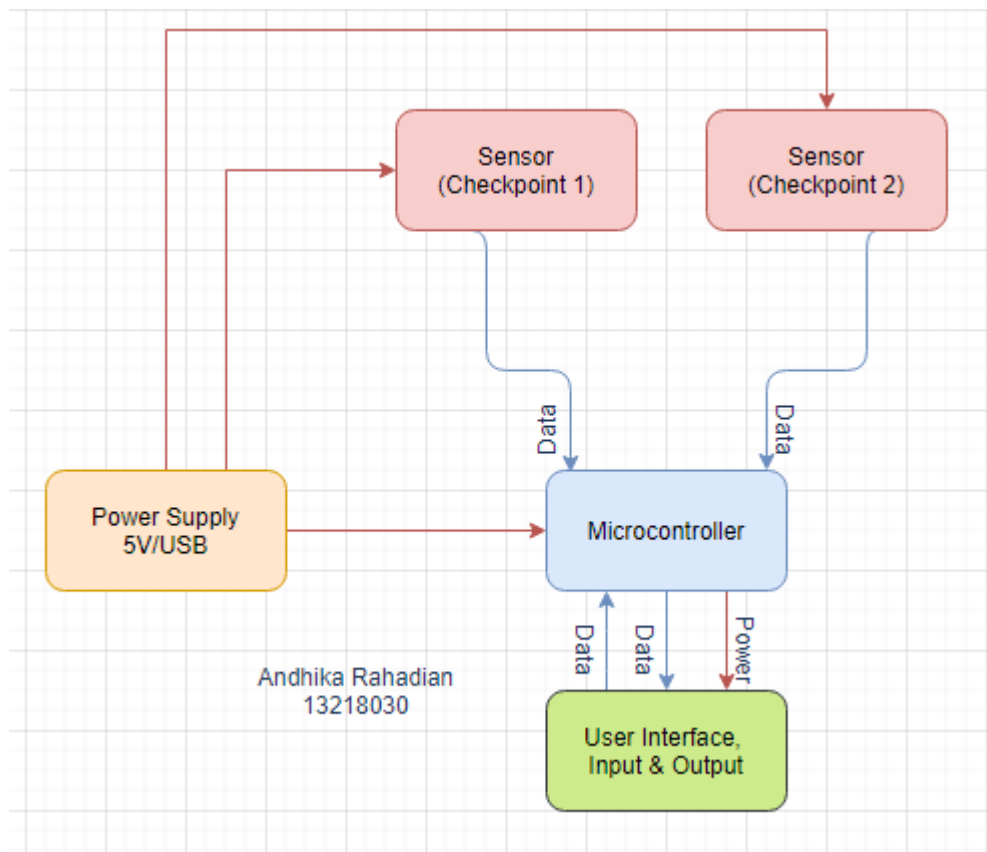
Secara umum, cara penggunaan sistem Alat Pengukur Kecepatan Linear Bola dibagi menjadi 3 bagian. Yang pertama adalah bagian **persiapan alat** yang ditandai dengan blok berwarna hijau. Yang mana blok warna berwarna hijau menandakan bagian persiapan alat pada saat sebelum ingin dipakai mengukur

seperti menyalakan dan mengkalibrasi alatnya, dan mematikan alat ketika sudah selesai digunakan.

Bagian kedua adalah bagian **user input-output**. Yang ditandai dengan blok berwarna kuning. User input dilakukan setelah persiapan alat seperti menyalakan dan mengkalibrasi alat sudah dilakukan. User input dalam alat ini, dilakukan dengan menggelindingkan atau menggerakkan bola sesuai dengan jalur/*track* yang tersedia pada alat. Pergerakan linear bola harus berada di track yang sesuai agar dapat diraba oleh alat dengan tepat. User output adalah berupa data kecepatan yang ditampilkan dengan interface yang ada dalam alat

Bagian ketiga adalah bagian **pemrosesan data** oleh alat. Yang ditandai dengan blok berwarna merah. Pada bagian ini, alat mencatat waktu tempuh ketika bola mencapai kedua *checkpoint*. Setelah itu, dalam alat juga sudah ditetapkan jarak antar *checkpoint* dan dengan mudah, nilai kecepatan linear bola dapat diidentifikasi. Secara umum, diagram alir kerja dari awal sampai akhir dari alat ini dapat dilihat pada gambar 3.1.1.

3.2 Wiring Diagram



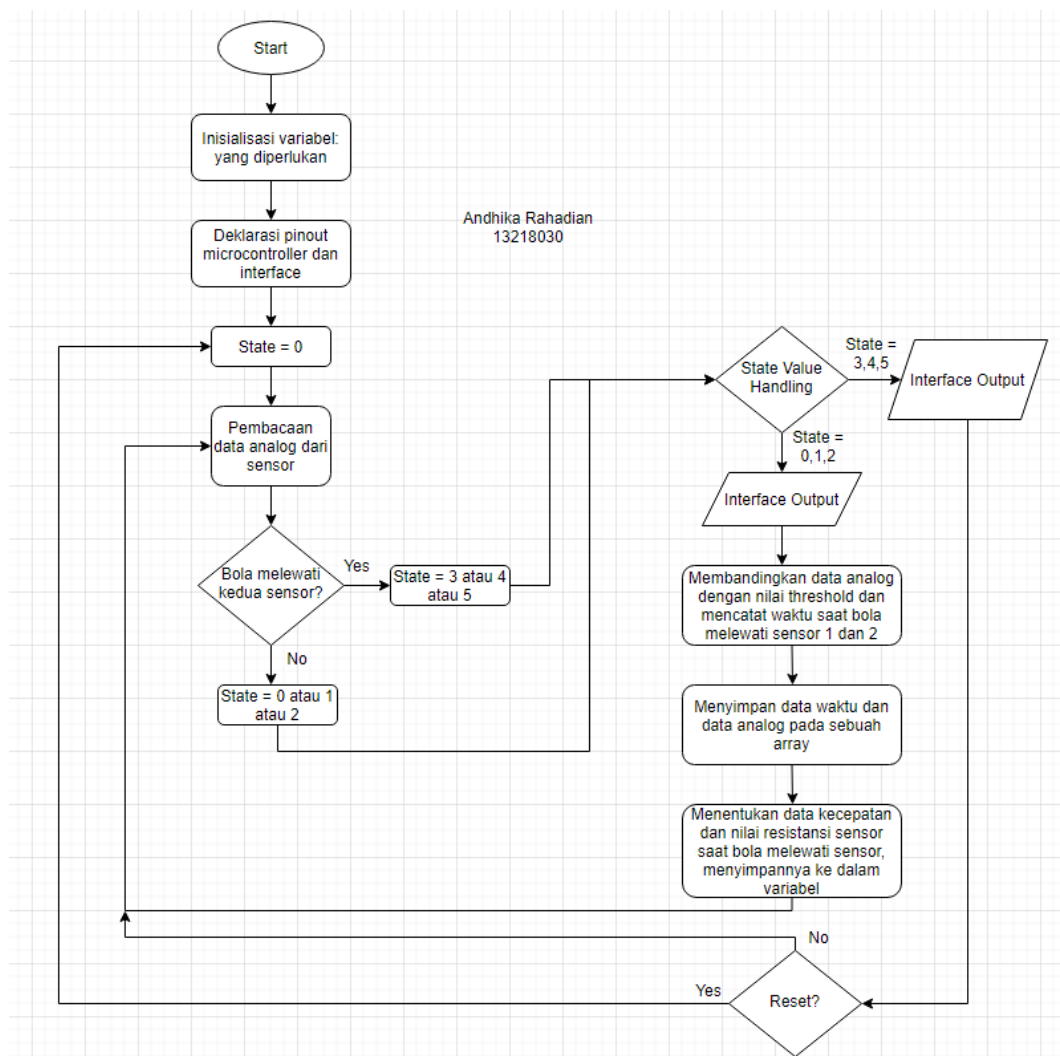
Gambar 3.2.1 Wiring Diagram Alat

Gambar 3.2.1 merupakan gambar wiring diagram secara umum yang membangun sistem alat pengukur kecepatan bola yang diinginkan. Terdapat power supply untuk memberikan tenaga pada microcontroller agar dapat beroperasi. Terdapat dua sensor yang digunakan untuk memeriksa apakah ada benda yang lewat didepannya. Jika ada yang lewat, maka data berupa tegangan/arus dari sensor akan diberikan kepada microcontroller untuk diolah lebih lanjut dengan menggunakan software atau source code yang dibuat sesuai dengan kebutuhan.

Pada alat ini, kebutuhan yang dimaksud adalah terkait dengan pewaktuan atau timer. Setiap kali bola melewati sensor dan mengirim data berupa

tegangan/arus, microcontroller akan mencatat waktu dimana bola tersebut melewati sensor. Selain data sensor, microcontroller juga berhubungan dan saling mengirim data untuk perangkat interfacing hasil pengukuran untuk ditampilkan pada user.

3.3 Flowchart Software



Gambar 3.3.1 Flowchart Software Alat

Gambar 3.3.1 merupakan gambar flowchart software atau diagram alir source code yang diimplementasikan pada microcontrollernya. Pada awal alat dinyalakan, yang dilakukan oleh program adalah menginisiasi variabel variabel

yang diperlukan dan menginisiasi kesediaan perangkat user-interfacing. Setelah itu, variabel state diassign menjadi 0, yang mana ketika state = 0, alat menunggu bola untuk digerakkan ke dalam track alat.

Selanjutnya, proses yang dilakukan oleh microcontroller berada dalam sebuah loop. Program memerintahkan untuk membaca data analog tegangan dari sensor. Dari data analog tegangan tersebut, juga dapat ditentukan nilai resistansi dari sensor. Setelah program memerintahkan untuk membaca data analog dari sensor, Terdapat percabangan terhadap keadaan bola dengan sensor.

Ketika bola belum melewati kedua sensor, maka state yang mungkin terjadi bernilai 0/1/2. State 0 adalah *waiting*, state 1 adalah ketika bola melewati sensor 1, state 2 adalah ketika bola melewati sensor 2. Saat state bernilai 0/1/2, juga dilakukan pemrosesan data dari sensor untuk mendapatkan nilai kecepatan bola dan nilai resistansi. Interfacing yang ditunjukkan ke user pada state ini adalah keadaan posisi bola terhadap sensor, untuk mengetahui apakah sensor mendeteksi keberadaan bola atau tidak.

Ketika bola sudah melewati kedua sensor, maka state yang mungkin adalah bernilai 3/4/5. State 3 terjadi saat microcontroller menyiapkan data final berupa kecepatan dan resistansi sensor, sehingga akan muncul user interfacing yang menandakan alat sedang menyiapkan data final untuk ditampilkan. Setelah state 3 selesai dilakukan, akan beralih ke state 4 yang mana user-interfacing sudah menampilkan data final berupa kecepatan bola dan resistansi sensor. Setelah state 4 selesai dilakukan, terdapat *delay* yang menahan tampilan agar user dapat

membaca hasilnya dan selanjutnya akan beralih ke state 5. Pada state 5, user interfacing akan menampilkan sebuah usulan agar user mengetahui bagaimana caranya untuk melakukan pengukuran ulang.

Sebelum persetujuan untuk melakukan pengukuran ulang dari user didapatkan pada state ini (persetujuan seperti perintah menekan button, dsb.), State akan terus looping antara state 4 dan 5 dan microcontroller. Setelah user memberikan persetujuan untuk melakukan pengukuran ulang, maka state kembali ke awal yaitu 0 (*waiting*). Secara umum, state digunakan untuk keperluan user interfacing agar lebih jelas terlihat hasil pengukurannya, dan terdapat state value handling menggunakan switch case sederhana.

B400 - IMPLEMENTASI & REALISASI PRODUK

Dengan mempertimbangkan rancangan produk pada B300, diperlukan beberapa komponen elektronik yang dapat merealisasikan dari rancangan yang sudah dibuat. Pemilihan komponen, skematik rangkaian dari produk, dijelaskan pada bagian B400 ini.

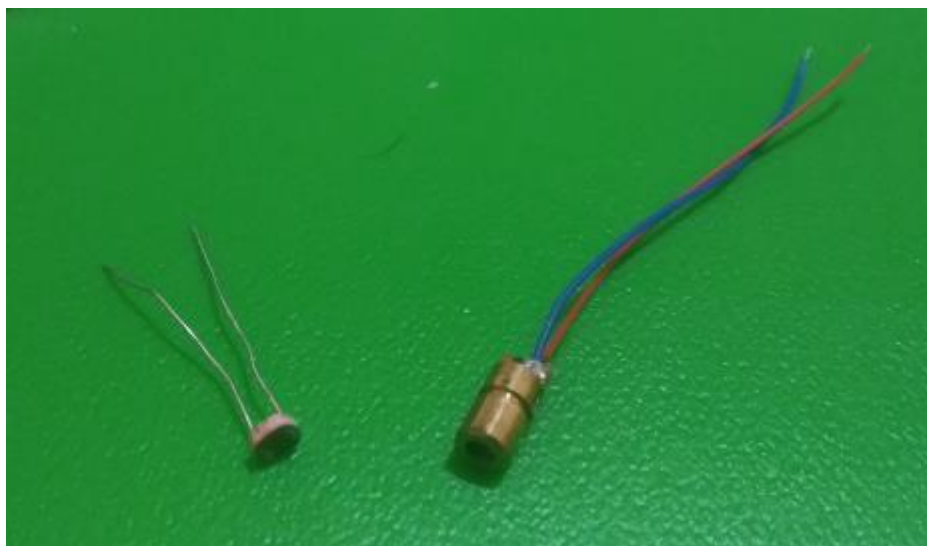
4.1 Pemilihan Sensor Pendeteksi Pergerakan Bola

Dalam implementasi dari sistem instrumentasi, salah satu komponen terpenting adalah sensor. Sensor memeriksa keadaan lingkungan sekitar dan mengonversinya menjadi sinyal elektrik yang berbentuk tegangan, resistansi atau arus. Tanpa sensor, alat pengukuran tidak dapat mengartikan kondisi lingkungan sekitar dan tentu saja apabila demikian, alat tersebut tidak termasuk kategori yang dapat mengukur besaran tertentu.

Alternatif pertama sensor yang dapat digunakan dan umum adalah infrared sensor atau IR. Secara umum, sensor infrared yang dapat diimplementasikan untuk menjadi sensor pendeteksi pergerakan bola adalah sensor IR Obstacle Sensor yang sudah menjadi modul. Modul tersebut sudah mencakup seluruh komponen yang menunjang untuk mendeteksi bola disekitarnya, seperti IR transmitter, IR receiver, comparator dan resistor di dalamnya[4]. Dari segi jarak benda yang dapat diidentifikasi oleh sensor IR Obstacle ini, juga sudah memadai untuk alat ini, yaitu 0,2cm sampai 20cm[5]. Namun data keluarannya merupakan data digital yang langsung dihubungkan ke Microcontroller Arduino[5], sehingga alternatif pertama tidak memenuhi spesifikasi.

Alternatif kedua, yaitu menggunakan laser pointer yang mengeluarkan cahaya terang berwarna merah dan diarahkan secara penuh ke photoresistor sebagai penangkap cahayanya. Ketika bola bergerak melewati laser pointer, maka laser pointer akan terhalang, photoresistor akan menerima cahaya yang intensitasnya yang lebih rendah sehingga menimbulkan respons perubahan nilai resistansi yang beujung pada perubahan nilai arus dan tegangan yang melewatinya. Photoresistor merupakan komponen yang dibentuk oleh material Photoconductors (PCs), yang mana nilai resistansinya berkurang ketika disinari cahaya[6].

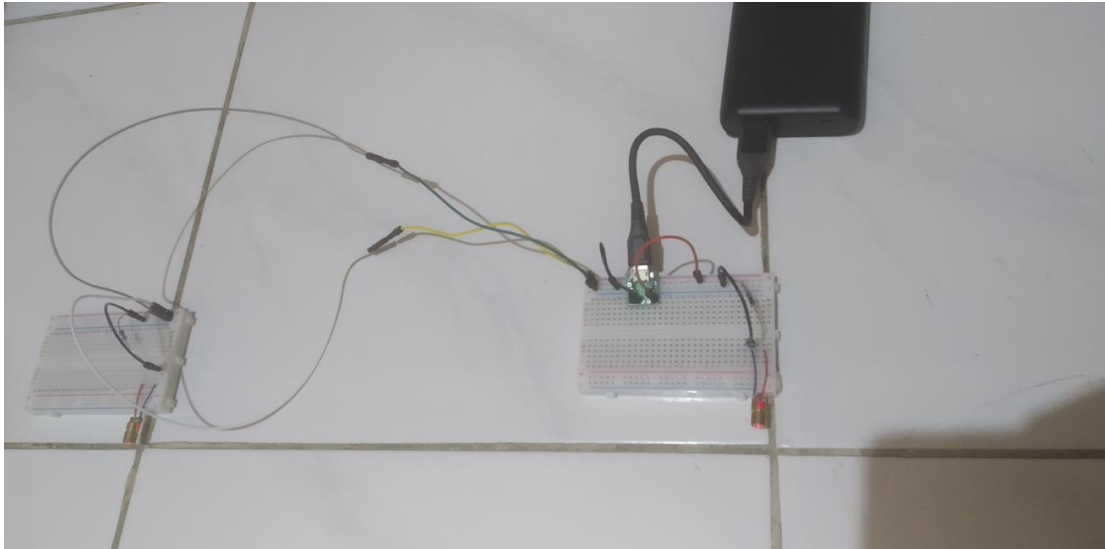
Karakteristik perubahan resistansi photoresistor ketika bola melewati laser pointer, digunakan sebagai konsep sensor untuk mendeteksi adanya bola atau obstacle yang bergerak. Dari segi jarak atau range, sudah memenuhi, bahkan laser pointer dapat memancarkan cahaya merah lurus yang lebih jauh ketimbang IR sensor. Hasil perubahan resistansi tersebut nantinya diolah menggunakan mikrokontroller dengan bantuan komponen potensiometer untuk pembagi tegangan.



Gambar 4.1.1 Photoresistor (kiri) dan laser pointer (kanan)

Photoresistor yang digunakan bertipe GL5539 yang digunakan memiliki nilai resistansi ketika diberi cahaya terang dengan range $50\text{k}\Omega$ - $100\text{k}\Omega$ dan memiliki *dark resistance* (ketika photo resistor ditutup dengan jari) sebesar $5\text{M}\Omega$ [7]. Diperlukan potentiometer dengan batas maksimal $100\text{k}\Omega$ yang dapat diatur nilainya agar mendapat threshold batas nilai resistansi ketika bola menyentuh laser pointer (berhubung nilai photoresistor dapat bervariasi pada range tersebut). Nilai threshold resistansi akan diproses menggunakan microcontroller agar didapat nilai output kecepatan.

Selain itu, implementasi sumber tenaga yang diberikan pada laser pointer diode, adalah menggunakan powerbank 5V 2A, yang diambil menggunakan komponen **micro USB breakout** yang berfungsi untuk memisahkan pin data dan power agar dapat mengambil tegangan VCC dan GNDnya. Sementara, sumber tenaga untuk menentukan resistansi photo resistor dan menentukan tegangan yang akan di sense oleh microcontroller, digunakan dari sumber tenaga 5V yang didapat dari microcontroller.



Gambar 4.1.2 Laser pointer diode diberikan sumber tenaga yang didapat dari powerbank

Dengan kedua alternatif di atas, dipilih alternatif kedua, **yaitu laser pointer dan photoresistor sebagai sensor pendeteksi gerakan bola**. Meskipun dalam implementasinya sedikit lebih sulit karena harus mengatur posisi komponen secara mendetail agar cahaya laser pointer tepat mengenai photoresistor, namun alternatif kedua, **memenuhi spesifikasi umum** dari alat instrumentasi yang akan diimplementasikan. Sebagai tambahan, mengacu pada rancangan B300, terdapat 2 sensor yang akan digunakan, sehingga terdapat 2 set (2 paket) laser pointer dan photoresistor yang digunakan dalam alat ini yang jarak sensornya sudah ditetapkan.

4.2 Pemilihan Komponen User Interfacing

User Interfacing diperlukan sebagai jembatan antara user dengan alat. Tanpa user interfacing, interaksi antara kita sebagai pengguna alat dengan alat itu sendiri sangat rendah. Oleh karenanya dibutuhkan perangkat atau komponen yang

dapat mengeluarkan hasil pengukuran kecepatan yang diproses mikrokontroller sebelumnya.

Jika mengacu pada B300 Rancangan, dibutuhkan suatu komponen yang dapat menampilkan hasil pengukuran, dan suatu komponen yang dapat melakukan reset ketika user ingin menggunakan ulang alat pengukurannya.

Dipilih komponen LCD (Liquid Crystal Display) 20x4 dengan modul I2C sebagai komponen untuk menampilkan data output hasil pengukuran. Pemilihan komponen ini didasarkan pada:

1. Ada beberapa data yang ditampilkan, yaitu hasil kecepatan bola, nilai resistansi sensor 1 dan resistansi sensor 2 (photoresistor 1 dan 2) . Sehingga dipilih 20x4 dibandingkan 16x2
2. Untuk menghemat wiring dan keterhubungan antar komponen, digunakan modul I2C LCD yang dapat memangkas pinout LCD yang semula 16 pin menjad 4 pin saja (5V GND SCK-SerialClock SDA-SerialData)
3. Kemudahan implementasi dalam program, karena sudah banyak library yang mendukung penggunaan I2C LCD
4. Sangat feasible karena dengan mudah dikontrol oleh microcontroller dan user-friendly dalam hal penampilan.

Untuk keperluan reset, digunakan sebuah pushbutton yang apabila ditekan, akan mengubah state user-interfacing (dapat dilihat pada B300 Rancangan) menjadi

0. Perubahan state user-interfacing sudah didefinisikan didalam program

microcontrollernya. Dipilih pushbutton yang berukuran kecil agar memangkas ukuran alat.



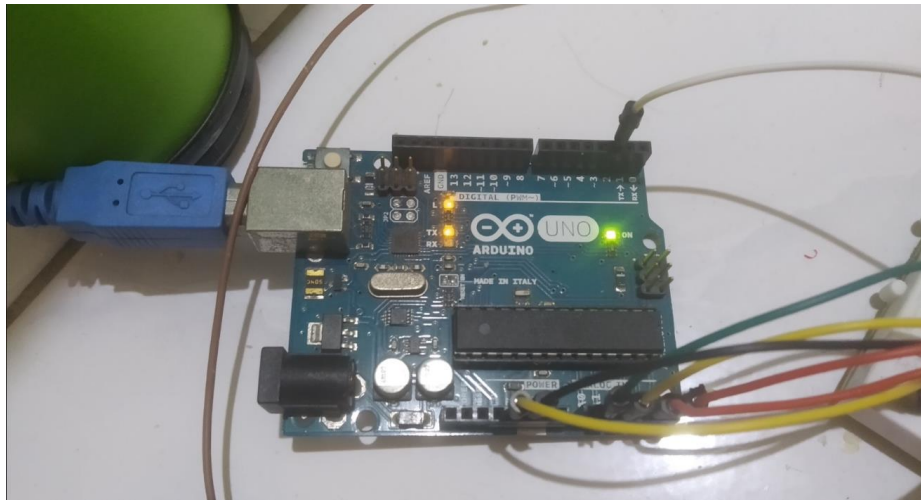
Gambar 4.2.1 User Interface dari Alat, terdapat LCD 20x4 dan reset button

4.3 Pemilihan Microcontroller

Microcontroller merupakan salah satu komponen yang penting pada alat ukur karena didalamnya terdapat prosesor yang dapat mengolah data data yang didapat dari sensor, dan mengolahnya lagi menjadi data output yang diinginkan.

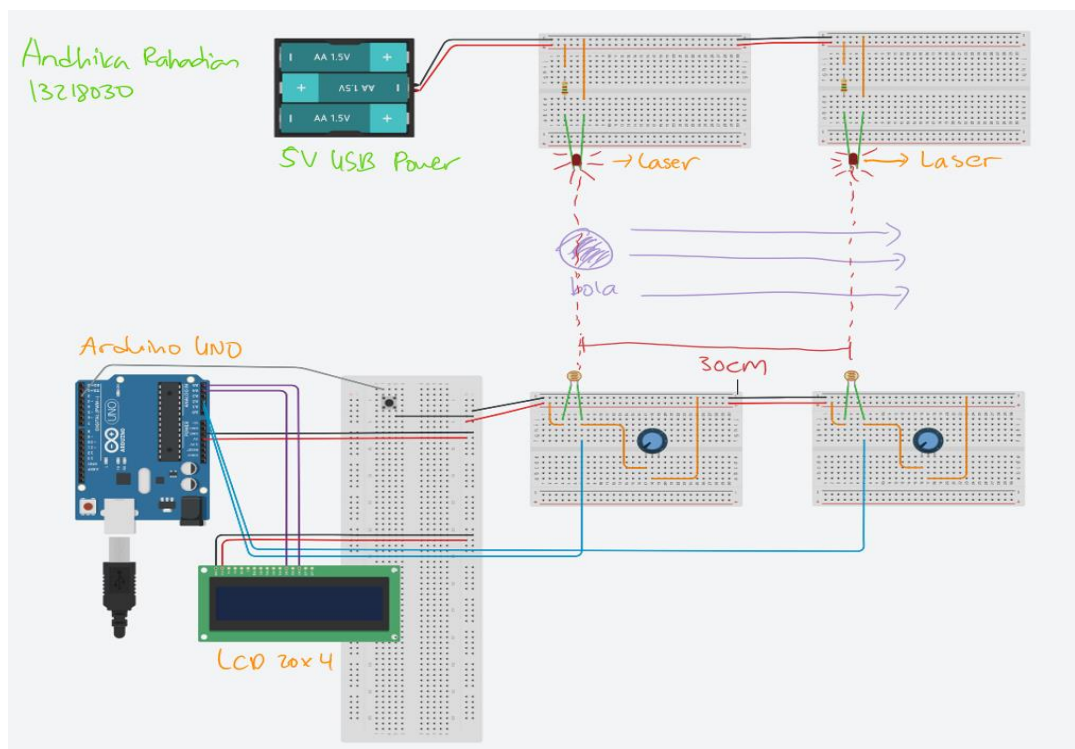
Microcontroller yang umum dipakai adalah Arduino. Untuk jenisnya, karena hanya membutuhkan sedikit pin analog dan digital pada Arduino (tepatnya dua pin analog untuk membaca sensor, dua pin analog untuk LCD dan satu pin digital untuk button), Arduino Nano dapat digunakan. Namun, karena microcontroller yang tersedia adalah Arduino UNO, maka digunakan Arduino UNO dalam pemilihan microcontroller, walaupun Arduino Nano lebih cenderung

dapat dipilih karena ukurannya yang kecil dan dapat menampung kebutuhan alat pengukur kecepatan bola.



Gambar 4.3.1 Microcontroller yang digunakan, Arduino UNO

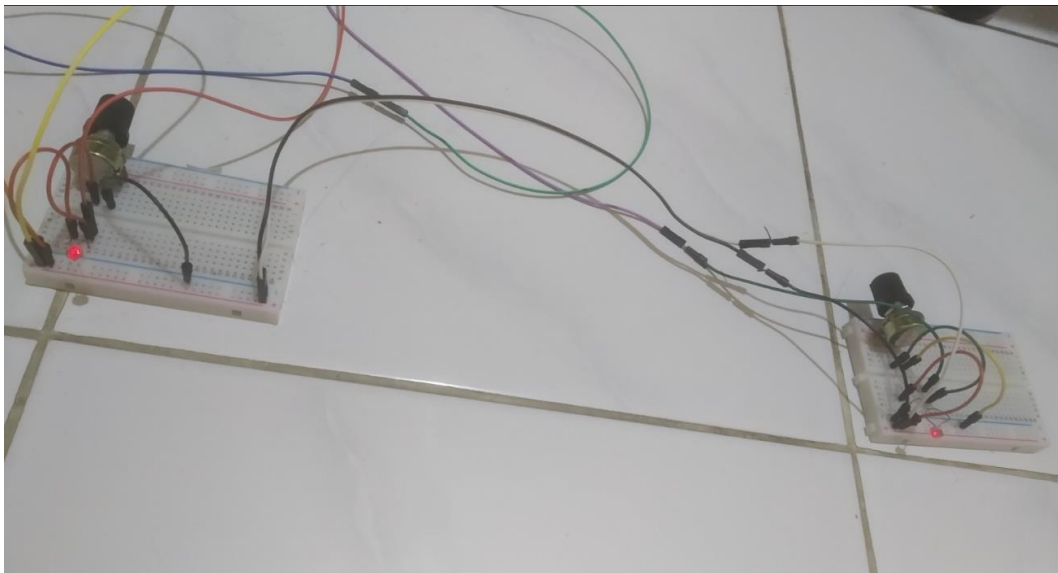
4.4 Skematik Circuit dalam Breadboard



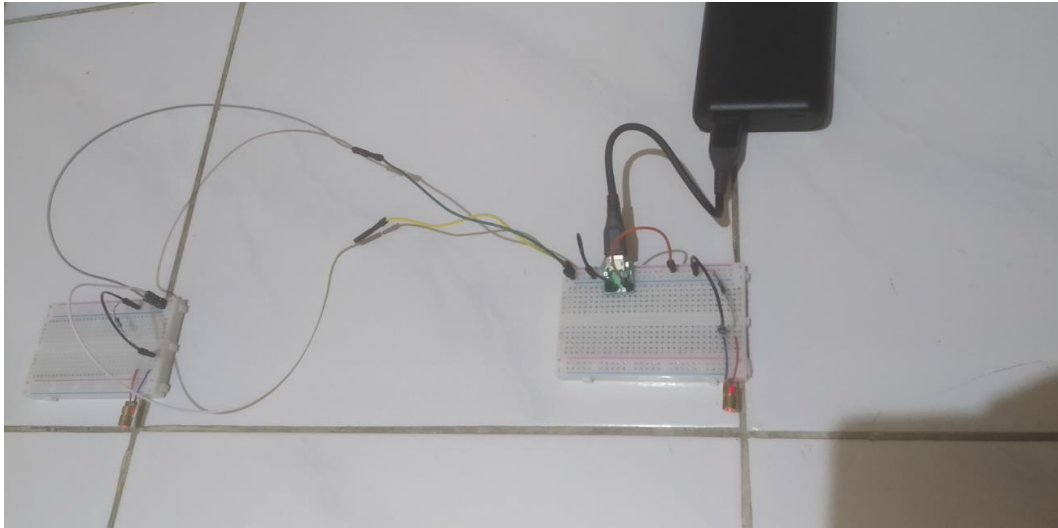
Gambar 4.4.1 Gambar skematik circuit alat pengukur kecepatan bola



Gambar 4.4.2 Gambar bentuk alat pengukur kecepatan bola secara real



Gambar 4.4.3 Gambar keadaan sensor photoresistor sedang disinari laser pointer,
menunggu bola untuk melaju

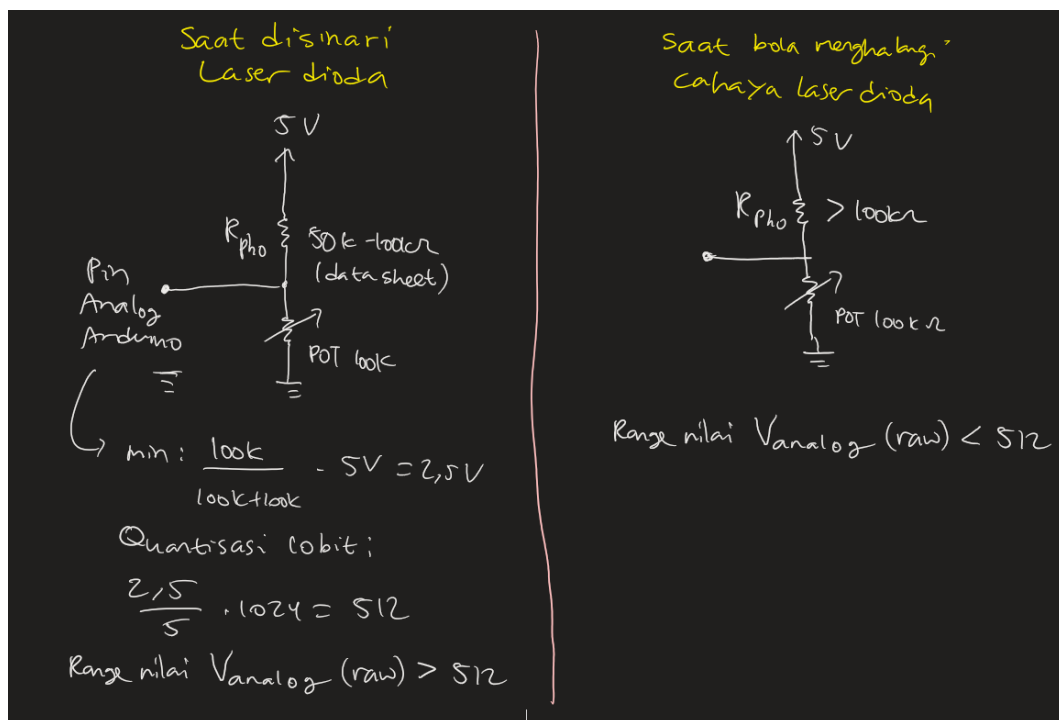


Gambar 4.4.4 Gambar keadaan laser pointer sedang menyinari photo resistor,
menunggu bola untuk melaju

Gambar 4.4.1 menunjukkan skematik gambar sirkuit alat pengukur kecepatan bola dengan software TinkerCAD. Implementasi alat untuk memenuhi spesifikasi dan rancangan adalah dengan berbentuk track atau lintasan yang dapat dilewati oleh bola. Laser pointer dioda diatur posisinya agar mengarah secara langsung ke photoresistor. Arduino UNO sebagai microcontroller akan mengambil data resistansi photoresistor dengan cara mengambil tegangan antara photoresistor dan potentiometer (kabel berwarna biru) dengan konsep pembagi tegangan biasa. Pin analog yang dihubungkan dengan kabel berwarna biru adalah pin A1 dan A2.

Selanjutnya, Arduino akan memproses data tegangan yang diambil dari kabel berwarna biru dan menentukan nilai resistansi photoresistor. Ditentukan nilai threshold hasil pembacaan pin analog (yang berada di range 0 sampai 1024 atau 10 bit) sebagai penentu apakah bola sudah melewati sensor (photoresistor & laser

pointer diode) atau belum. Nilai threshold yang digunakan adalah dibawah 512, karena resistansi photoresistor akan besar ketika bola lewat, dan potentiometer yang hanya memiliki batas harga $100k\Omega$ yang terhubung ke GND akan lebih kecil daripada resistansi photo resistor, yang berakibat Arduino membaca nilai analog yang kurang dari 512 (setengah V_{in}).



Gambar 4.4.2 Konsep penentuan nilai threshold analog saat bola melewati sensor

Selanjutnya, setelah bola melewati kedua sensor, data kecepatan dan data resistansi photoresistor yang diproses menggunakan microcontroller, akan ditampilkan dengan LCD (liquid crystal display) 20x4. Apabila user ingin melakukan pengukuran kembali, dapat dilakukan dengan cara menekan reset button yang ada.

4.5 Implementasi Software

Berikut adalah source code yang diimplementasikan pada microcontroller sebagai implementasi software (termasuk state handling):

```
/* Definisi Library,
   dan Inisialisasi Variabel */
#define analogPin1 1
#define analogPin2 2
#define analogPin3 3
#define resetButton 2
#define SENSOR_DISTANCE 30 // in cms
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
int raw1 = 0;
int raw2 = 0;
int Vin = 5;
float Vout1 = 0;
float R1 = 0;
float Vout2 = 0;
float R2 = 0;
float buffer = 0;
float timer;
float vel;
float traceTime[2];
float Rvar[2];
float R1_known = 95710; // in ohms
float R2_known = 103600; // in ohms
int state;
byte prev_button;

/* Inisialisasi state, LCD,
   Button, Serial Monitor untuk debugging */
void setup()
{
    state = 0;
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    pinMode(resetButton, INPUT_PULLUP);
    Serial.begin(9600);
}

/* Memulai loop */
void loop()
{
    // Mengambil data analog dari pin A1 dan A2
    raw1 = analogRead(analogPin1);
    raw2 = analogRead(analogPin2);

    // Reset Button handling
    if (!digitalRead(resetButton) && (prev_button == LOW))
    {
        state = 0;
        prev_button = HIGH;
    }
    if (digitalRead(resetButton)) {
        prev_button = LOW;
    }
}
```

```

/* State User Interface, Menentukan apa saja yang harus
   dicetak pada LCD ketika alat berada pada state/kondisi tertentu */
switch (state)
{
    case 0: // Menunggu User menggerakkan bola ke track/lintasan alat
        lcd.clear(); lcd.print("Waiting...");
        break;
    case 1: // Bola melewati sensor pertama
        lcd.clear(); lcd.print("Point 1 Passed...");
        break;
    case 2: // Bola melewati sensor kedua
        lcd.clear(); lcd.print("Point 1 Passed...");
        lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Point 2 Passed...");
        delay(1000);
        state = 3;
        break;
    case 3: // Setelah melewati sensor kedua, menghitung kecepatan
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Calculate Velocity");
        delay(2000);
        lcd.print(".");
        delay(2000);
        state = 4;
        break;

    case 4: // Mencetak hasil kecepatan bola ke LCD, bergantian dg state 5
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Ball Velocity = ");
        lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(vel); lcd.print(" cm/s");
        lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Rfotores1: "); lcd.print(Rvar[0]);
        lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("Rfotores2: "); lcd.print(Rvar[1]);
        delay(2000);
        state = 5;
        break;
    case 5: // Mencetak saran press button untuk mengulangi pengukuran
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Ball Velocity = ");
        lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(vel); lcd.print(" cm/s");
        lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Press Btn to Restart");
        delay(2000);
        state = 4;
}

// Main Algorithm
if (raw1 || raw2)
{
    // Menentukan R1 = Rph01, dengan R1_known adalah nilai potentiometer
    buffer = raw1 * Vin;
    Vout1 = (buffer) / 1024.0;
    buffer = (Vin / Vout1) - 1;
    R1 = R1_known * buffer;
    timer = millis();

    // Apabila bola mengenai sensor 1, simpan nilai waktu ke array
    if (raw1 < 512 && (state == 0)) {
        state = 1;
        Serial.print("Point 1 Passed");
        Serial.print(" ");
        Serial.println(timer);
        traceTime[0] = timer;
        Rvar[0] = R1;
    }

    // Menentukan R2 = Rph02, dengan R2_known adalah nilai potentiometer
    buffer = raw2 * Vin;
    Vout2 = (buffer) / 1024.0;
    buffer = (Vin / Vout2) - 1;
    R2 = R2_known * buffer;
    timer = millis();

    // Apabila bola mengenai sensor 2, simpan nilai waktu ke array
    if (raw2 < 512 && (state == 1)) {
        state = 2;
        Serial.print("Point 2 Passed");
        Serial.print(" ");
        Serial.println(timer);
        traceTime[1] = timer;
        Rvar[1] = R2;
    }

    vel = (SENSOR_DISTANCE * 1000) / (traceTime[1] - traceTime[0]);
    delay(2);
}
}

```

B500 - PENGUJIAN

5.1 Pengujian Spesifikasi Akurasi



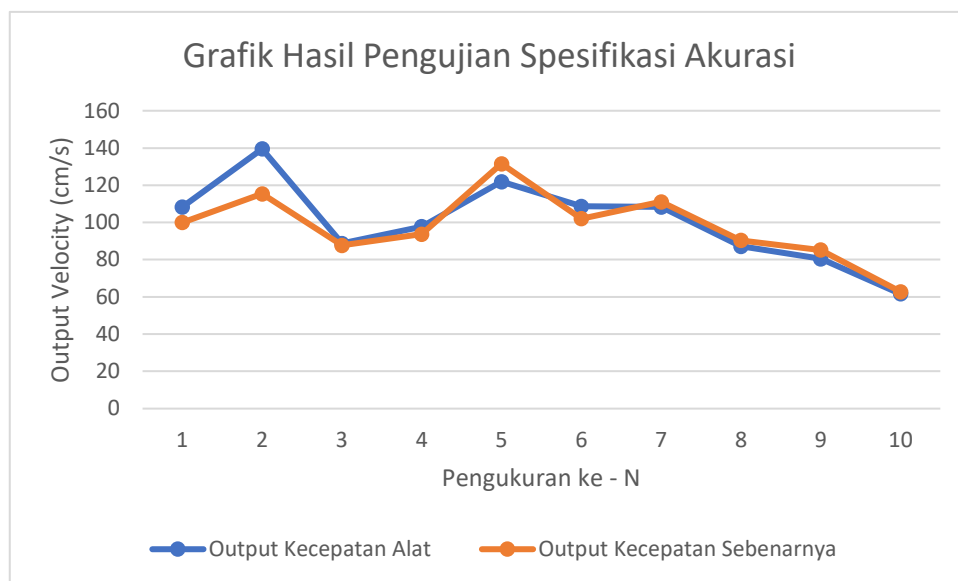
Gambar 5.1.1 Hasil Pengujian Full Scale kecepatan maksimal dengan tenaga yang diberikan bola sangat ekstrim



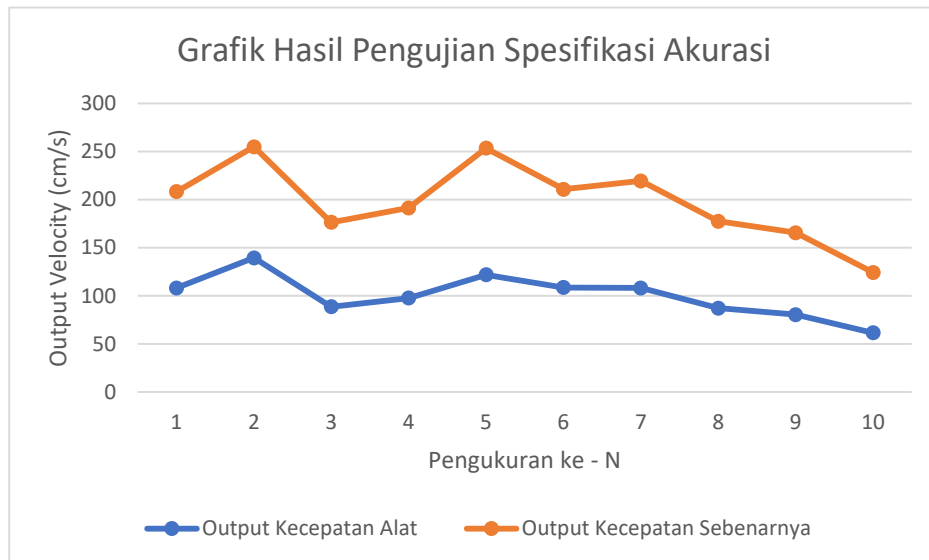
Gambar 5.1.2 Hasil Pengujian Full Scale kecepatan minimal

Tabel Hasil Pengujian Spesifikasi Akurasi				
Waktu Stopwatch adalah jarak tempuh yang diperlukan bola untuk mencapai jarak 150cm				
Pengukuran ke - N	Waktu Stopwatch (s)	Output alat (cm/s)	Output sebenarnya (cm/s)	Error Output Δv (cm/s)
1	1,5	108,3	100	8,3
2	1,3	138,59	115,3846154	23,205385
3	1,71	88,76	87,71929825	1,0407018
4	1,6	97,72	93,75	3,97
5	1,14	121,95	131,5789474	-9,6289474
6	1,47	108,7	102,0408163	6,6591837
7	1,35	108,3	111,1111111	-2,8111111
8	1,66	87,21	90,36144578	-3,1514458
9	1,76	80,43	85,22727273	-4,7972727
10	2,39	61,6	62,76150628	-1,1615063
Mean	1,588	100,156	97,99350132	2,1624987
Variance	0,105496	433,688224	320,8996408	
Std Dev	0,324801478	20,82518245	17,9136719	
MAX FULL SCALE READING			483,87	cm/s
5% x MAX FULL SCALE READING			24,1935	cm/s
Spesifikasi batas error			$\pm 24,1935$	cm/s

Tabel 5.1.1 Tabel Hasil Pengujian Spesifikasi Akurasi



Gambar 5.1.3 Grafik Hasil Pengujian Spesifikasi Akurasi (tipe 1)



Gambar 5.1.4 Grafik Hasil Pengujian Spesifikasi Akurasi (tipe 2)

Gambar 5.1.1 dan Gambar 5.1.2 adalah hasil pengujian alat untuk menentukan full scale reading dari alat pengukur kecepatan bola ini. Metode pengujian yang digunakan untuk menentukan kecepatan maksimal adalah dengan memberikan tenaga yang sebesar besarnya (ekstrim) kepada bola agar bergerak melewati track/lintasan yang terdapat pada alat. Sementara untuk menentukan kecepatan minimal, adalah memperbesar selang waktu bola ketika bergerak melewati kedua sensor. Maka pengujian dilakukan secara manual menggunakan tangan untuk menutupi kedua sensor dengan selang waktu sekitar 30 detik agar mendapatkan kecepatan paling minimal yang dapat diukur oleh alat.

Hasil pengujian full scale reading kecepatan maksimal adalah 483,87 cm/s atau dengan kata lain 4,84 m/s. Kecepatan minimal yang dapat diukur oleh alat adalah 0,91 cm/s. Melihat kembali spesifikasi yang

diajukan pada B200 untuk full scale reading, alat memiliki range full scale reading sebesar 0,01 m/s sampai 3 m/s (atau 1 cm/s sampai 300 cm/s). Sehingga dapat disimpulkan bahwa full scale reading yang dapat diidentifikasi dengan benar sebagai output oleh alat ini, **sudah memenuhi spesifikasi full scale reading yang diajukan**. Karena range yang diajukan oleh spesifikasi berada di dalam range hasil pengujian spesifikasi full scale reading.

Tabel 5.1.1, Gambar 5.1.2 dan 5.1.2 merupakan tabel dan grafik hasil pengujian spesifikasi akurasi. Metode pengujian spesifikasi akurasi, adalah dengan menggunakan stopwatch eksternal (menggunakan handphone) yang digunakan untuk mengukur waktu tempuh bola d. Untuk kemudahan pengujian, ketika bola digelindingkan pada alat untuk ditentukan kecepatannya, jarak tempuh bola yang ditetapkan untuk pengujian adalah 1,5m atau 150cm (sedikit jauh) lalu diukur waktu tempuhnya menggunakan stopwatch. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan waktu tempuh menggunakan stopwatch, karena dengan jarak yang lebih pendek daripada 150cm, akan sulit untuk memulai dan mengentikan stopwatchesnya. Tenaga yang diberikan oleh tangan untuk menggerakkan bola diberikan secepat mungkin untuk menguji spesifikasi akurasi dengan kualitas metodologi yang lebih *proper*.

Meninjau kembali spesifikasi akurasi yang diajukan pada B200, yaitu output kecepatan yang dihasilkan alat **memiliki kesalahan maksimal sebesar $\pm 5\%$ f.s (full scale)** dari nilai kecepatan yang sebenarnya. Seperti

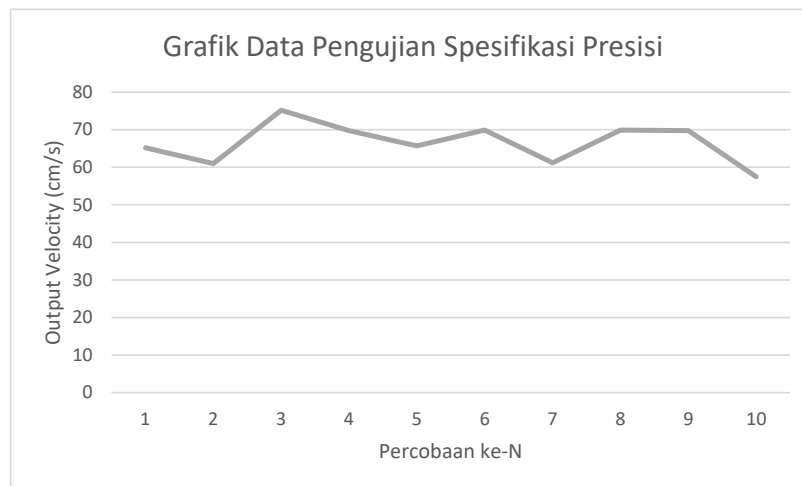
yang sudah dipaparkan dalam tabel 5.1.1, 5% dari full scale reading memiliki nilai sebesar $\pm 24,1935$ cm/s yang artinya adalah spesifikasi akurasi yang diajukan, output alat memiliki maksimum error dengan kecepatan sebenarnya sebesar $\pm 24,1935$ cm/s.

Dari hasil pengujian spesifikasi akurasi pada tabel 5.3.1 juga dapat dilihat bahwa error kecepatan sebenarnya dengan kecepatan alat yang didapatkan (Δv) yang didapatkan dari hasil pengujian spesifikasi akurasi, maksimal memiliki error 23,205 cm/s. Dari grafik 5.1.3 dan 5.1.4, Secara umum bentuk grafik yang didapatkan dari output kecepatan alat dengan kecepatan sebenarnya memiliki bentuk yang hampir sama satu sama lain. Sehingga, dengan hasil pengujian spesifikasi akurasi dengan metode yang sudah dijelaskan sebelumnya, **sudah memenuhi spesifikasi akurasi yang diajukan pada B200.**

5.2 Pengujian Spesifikasi Presisi

Tabel Pengujian Spesifikasi Presisi	
Bola Plastik diameter 15cm, Digelindingkan dengan tenaga sedang	
Pengukuran ke-N	Output kecepatan dari alat (cm/s)
1	65,22
2	60,98
3	75,19
4	69,77
5	65,68
6	69,93
7	61,22
8	69,93
9	69,77
10	57,47
Mean	66,516
Variance	29,18107111
Std Dev	5,401950676

Tabel 5.2.1 Tabel Hasil Pengujian Spesifikasi Presisi



Gambar 5.2.1 Grafik Data Pengujian Spesifikasi Presisi

Tabel 5.2.1 dan Gambar 5.2.1 merupakan hasil pengujian dari spesifikasi presisi. Metode yang digunakan dalam menguji spesifikasi presisi adalah dengan mencoba menggelindingkan bola dengan tenaga lemah (tangan tidak terlalu memberikan energi yang besar) agar masuk ke dalam track/lintasan yang disediakan alat pengukur kecepatan linear bola. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk mendapatkan data output instrumentasi berupa kecepatan dan agar dapat ditentukan standard deviasi dengan konsep statistika sederhana.

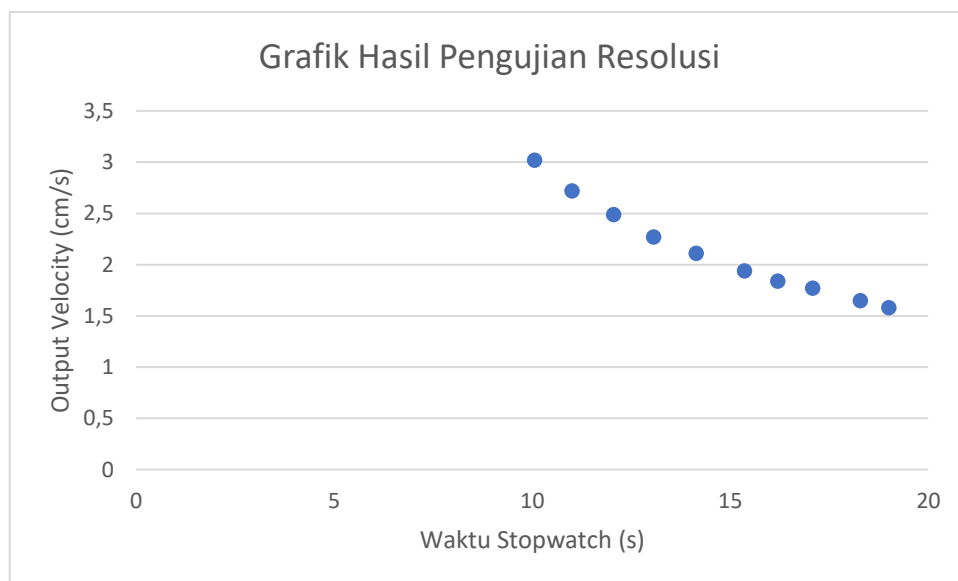
Spesifikasi presisi yang diajukan pada B200 menyatakan bahwa nilai standard deviasi σ kurang dari 5 jika dilakukan 10 kali pengukuran kecepatan bola. Namun dari hasil pengujian pada tabel 5.2.1, dari 10 kali pengambilan data didapatkan standard deviasi σ bernilai 5,40. **Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesifikasi kepresisian yang dimiliki alat**

belum memenuhi meskipun sudah mendekati, karena nilai standard deviasi yang didapatkan pada hasil pengujian masih lebih dari 5.

5.3 Pengujian Spesifikasi Resolusi

Tabel Pengujian Spesifikasi Resolusi (Jarak kedua sensor: 30 cm)		
Pengukuran ke-N	Output kecepatan dari alat (cm/s)	Waktu Stopwatch (s)
1	3,02	10,06
2	2,72	11
3	2,49	12,05
4	2,27	13,06
5	2,11	14,14
6	1,94	15,36
7	1,84	16,2
8	1,77	17,08
9	1,65	18,28
10	1,58	19
Mean	2,139	14,623
Variance	0,230187778	9,426934444
Std Dev	0,479778884	3,070331325

Tabel 5.3.1 Tabel Hasil Pengujian Spesifikasi Resolusi



Gambar 5.3.1 Grafik Hasil Pengujian Spesifikasi Resolusi

Tabel dan Gambar 5.3.1 merupakan hasil pengujian spesifikasi resolusi. Metode yang digunakan dalam menguji spesifikasi resolusi adalah dengan menggunakan stopwatch untuk menentukan selang waktu kedua bola/benda melewati kedua sensor. Untuk mengetahui selisih nilai terkecil yang dapat dikeluarkan (resolusi) oleh alat pengukur kecepatan bola ini, dibutuhkan waktu yang lama sekali. Karena untuk mendapatkan kecepatan yang se minimal mungkin, diperlukan perpindahan posisi dengan waktu yang cukup lama. Untuk keperluan pengujian, digunakan perbedaan waktu (Δt) yang diatur dari 10 sampai 19 detik (10 kali percobaan). Sehingga bola dikontrol oleh tangan sehingga dapat dipindahkan sesuai dengan perubahan waktu (Δt) yang diinginkan.

Hasil output alat pengukur kecepatan bola dengan metode pengujian resolusi di atas, dapat dilihat pada tabel 5.3.1. Hasil yang didapat memiliki dua angka dibelakang koma dalam cm/s. Terlihat perubahan perubahan kecil dari nilai output kecepatan sebagai akibat dari Δt yang diatur menggunakan stopwatch dari 10 detik sampai 19 detik.

Jika dibandingkan dengan spesifikasi yang diajukan pada B200 bagian spesifikasi resolusi, dinyatakan bahwa akan memiliki hasil yang selalu menunjukkan dua angka di belakang koma dalam m/s. Yang dapat dikatakan bahwa **spesifikasi resolusi yang didapatkan dari hasil pengujian, adalah berbeda dengan spesifikasi resolusi yang diajukan. Spesifikasi yang didapatkan pada pengujian adalah dua angka di**

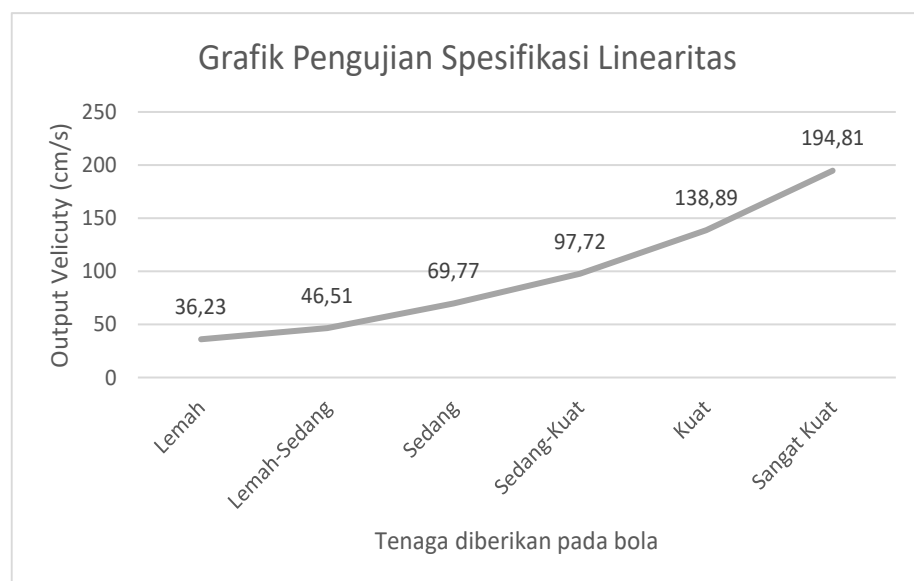
belakang koma dalam cm/s. Berbeda dalam artian, resolusi yang didapatkan dalam pengujian lebih kecil dibandingkan yang diajukan

Akan tetapi dengan sedikit perubahan tipe data kecepatan pada microcontroller Arduino, **spesifikasi resolusi hasil pengujian sudah sesuai dan sama dengan spesifikasi resolusi yang diajukan pada B200.**

5.4 Pengujian Spesifikasi Linearitas

Tabel Pengujian Spesifikasi Linearitas	
Tenaga	Output kecepatan dari alat (cm/s)
Lemah	36,23
Lemah-Sedang	46,51
Sedang	69,77
Sedang-Kuat	97,72
Kuat	138,89
Sangat Kuat	194,81

Tabel 5.4.1 Tabel Hasil Pengujian Spesifikasi Linearitas



Gambar 5.4.1 Grafik Hasil Pengujian Spesifikasi Linearitas

Tabel 5.4.1 dan Gambar 5.4.1 merupakan hasil pengujian dari spesifikasi linearitas. Metode yang digunakan dalam pengujian spesifikasi linearitas ini adalah dengan memvariasikan energi atau tenaga yang diberikan kepada bola. Memvariasikan tenaga yang diberikan kepada bola bertujuan untuk melihat perbedaan hasil kecepatan yang diukur oleh alat pengukur kecepatan bola. Semakin besar tenaga yang diberikan kepada bola, maka kecepatan yang terukur seharusnya lebih tinggi.

Namun, metode yang digunakan untuk pengujian ini dapat digolongkan sebagai metode yang kualitatif dikarenakan tenaga yang diberikan (atau mungkin energi, atau momentum) tidak dapat dinyatakan dengan angka pasti. **Alasan metode kualitatif ini dipilih adalah karena sulitnya mencari *testbench* untuk menguji design alat yang digunakan.** Contoh testbench yang memungkinkan untuk menguji design alat pengukur kecepatan bola ini adalah penumbuk dengan massa tertentu yang digerakkan dengan kecepatan tertentu.

Mengacu pada spesifikasi yang diajukan pada B200, Spesifikasi linearitas yang diajukan adalah alat dapat menunjukkan perbedaan harga kecepatan ketika bola di gelindingkan dengan 4-6 variasi tenaga dari yang lemah sampai kuat yang di hasilkan oleh tangan kita. Dengan melihat hasil pengujian spesifikasi linearitas, dapat diamati bahwa semakin besar tenaga yang diberikan pada bola oleh tangan, semakin besar output kecepatan yang dihasilkan oleh alat. Dari keenam variasi tenaga tersebut, mulai dari yang lemah sampai yang kuat, menunjukkan hasil kecepatan yang monoton naik. Sekilas, bentuk grafik hasil pengujian spesifikasi linearitas yang dihasilkan sudah mendekati bentuk grafik yang linear.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa spesifikasi linearitas yang didapat oleh hasil pengujian **sudah sesuai dengan spesifikasi linearitas yang diajukan pada B200**, walaupun dengan menggunakan metode pengujian yang kualitatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Alat pengukur kecepatan linear bola berbasis laser pointer diode dan photoresistor secara umum, sudah menunjukkan hasil yang diharapkan. Dibuktikan dengan dari empat spesifikasi karakteristik static alat yang sudah diuji, 3 dari 4 spesifikasi karakteristik static alat sudah memenuhi spesifikasi yang diajukan pada B200 (Akurasi, Resolusi, Linearitas). Adapun karakteristik static yang belum memenuhi spesifikasi adalah karakteristik static presisi dari alat pengukur kecepatan linear bola.

Penyebab yang mungkin terjadi akibat kurangnya kepresisian dari alat ini adalah karena kurangnya sensor yang merekam jejak pergerakan bola pada saat posisi tertentu. Selain itu, dikarenakan kecepatan bola yang dapat terbilang cepat relatif terhadap posisi antar sensor, Posisi antar sensor yang dipilih (30cm) adalah posisi yang kurang lebar untuk mengukur kecepatan bola tersebut. Sehingga kepresisian dari alat akan lebih sulit ditemukan.

Namun, meskipun demikian, spesifikasi karakteristik static lainnya seperti akurasi, linearitas dan resolusi sudah memenuhi spesifikasi yang diajukan.

6.2 Saran

Dari beberapa karakteristik static alat yang sudah memenuhi spesifikasi sesuai dengan hasil pengujian pada B500, tentu saja masih terdapat kekurangan yang dapat diperbaiki kedepannya.

Pada spesifikasi karakteristik static presisi, standard deviasi masih berada di atas batas maksimum yang didefinisikan pada spesifikasi. Saran yang pertama adalah dengan **menambah** jumlah sensor yang ada pada alat, sehingga data data yang dihasilkan akan lebih presisi

Saran yang kedua, apabila diinginkan skala kecepatan yang lebih tinggi (misal dalam skala m/s), selain menambah jumlah sensor yang ada pada alat, **jarak antar sensor dibuat lebih lebar atau lebih jauh**. Karena jika jaraknya tetap dekat, untuk skala pengukuran kecepatan yang lebih tinggi, kemungkinan batas threshold pengukuran akan didapatkan pada hasil output alat. Karena alat sudah tidak mampu lagi memproses benda yang bergerak sangat cepat dengan jarak antar sensor yang berdekatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] https://www.youtube.com/watch?v=Eq_LF9MTICQ, diakses 05 Desember 2020, 15:49
- [2] Morris, A.S. 2001. *Measurement and Instrumentation Principles*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [3] Eren, H dan Webster, G. John. 2014. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook 2nd edition*. Boca Raton : CRC Press.
- [4] <https://components101.com/sensors/ir-sensor-module>, diakses 07 Desember 2020, 22:33
- [5] https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Datasheet%20of%20IR%20%20Sensor.pdf , diakses 07 Desember 2020, 23:08
- [6] Northrop, B. Robert. 2005. *Introduction to Instrumentation And Measurements 2nd Edition*. Boca Ration : CRC Press.
- [7] <https://datasheetpdf.com/pdf-file/756866/CdS/GL5539/1>, diakses 07 Desember 2020, 23:14