

Rancang Bangun Kapal Pengukur Volume Sedimen dengan Algoritma PID

Muhammad Khoirun Faza*, Sri Arttini Dwi Prasetyowati, Bustanul Arifin
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

Article Info

Article history:

Submitted July 10, 2023
Accepted August 4, 2023
Published August 13, 2023

Keywords:

Kapal,
Sedimen,
PID,
Arduino

*Vessel,
Sediment,
PID,
Arduino*

ABSTRACT

Penelitian ini merancang sebuah alat berupa kapal pengukur volume sedimen. Alat ini menggunakan algoritma PID yang berfungsi untuk mengontrol pergerakan motor PG45 dan PG28. Nilai yang diukur adalah panjang, lebar, tinggi dan volume. *Adjustable infrared sensor switch* dan *rotary encoder* digunakan sebagai acuan pengukuran volume sedimen dengan pemroses data berupa Arduino Mega 2560. Hasil penelitian ini alat mampu membaca volume sedimen. Didapatkan nilai perbandingan antara nilai asli dan nilai hasil pengukuran alat yang implementasikan dalam bentuk persentase nilai *error*. Dalam 10 kali percobaan didapatkan rata-rata nilai *error* panjang sebesar 2,13 %, lebar sebesar 7,09 %, tinggi sebesar 0,95 %, dan volume sebesar 4,74 %.

This study designed a device in the form of a sediment volume measuring vessel. This tool uses the PID algorithm which functions to control the movement of the PG45 and PG28 motors. The measured values are length, width, height and volume. Adjustable infrared sensor switch and rotary encoder are used as a reference for measuring sediment volume with a data processor in the form of Arduino Mega 2560. The results of this study are that the tool is able to read sediment volume. A comparison value is obtained between the original value and the measurement result of the implemented tool in the form of a percentage error value. In 10 trials, the average error value was 2.13% for length, 7.09% for width, 0.95% for height, and 4.74% for volume.



Corresponding Author:

Muhammad Khoirun Faza,
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang
Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112
Email: *m.k.faza@std.unissula.ac.id

1. PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan pusat berbagai macam kegiatan seperti pemukiman, pertambangan, rekreasi dan sarana. Wilayah pesisir termasuk wilayah yang paling menguntungkan namun memiliki sumber daya lahan yang terbatas, sehingga memerlukan upaya konservasi lahan untuk penggunaan di masa mendatang [1]. Wilayah perairan pesisir rentan terdampak sedimentasi, sebagai contoh kawasan teluk. Sedimentasi yang terjadi di wilayah pesisir berawal dari terbawanya sedimen dari daratan yang lama-kelamaan membentuk pantai. Sedimentasi di area darat terjadi karena kebiasaan membuang limbah rumah tangga yang dialirkan ke sungai membuat air terlihat kotor dan keruh. Kotoran yang terlarut di air lama kelamaan akan mengendap di dasar perairan sehingga mengakibatkan terjadinya sedimentasi. Faktor lain yang menyebabkan sedimentasi adalah tanah yang terlarut oleh air dan adanya erosi pada bantaran sungai kemudian mengendap di dasar perairan. Kotoran dan tanah yang bercampur menjadi satu makin memperburuk keadaan perairan yang lama-kelamaan akan menyebabkan pendangkalan. Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang mampu mendeteksi adanya sedimentasi pada suatu perairan dengan mengukur seberapa banyak dan tingginya endapan sedimentasi yang ada di bawah air. Diketuinya endapan sedimentasi yang ada bawah air, maka ke depannya dapat dilakukan suatu tindakan untuk mengatasi hal tersebut agar tidak menimbulkan hal yang tidak diinginkan.

Sebelumnya sudah ada penelitian untuk mengukur sedimen. Penelitian yang berjudul “Kajian Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Menggunakan TSS Meter pada Sungai Brantas di Desa Pendem Kota Batu” yang dilakukan oleh Dhimas Raditya Wiryamanta, Sumiadi dan Very Dermawan pada tahun 2021. Jurnal ini membahas mengenai penelitian untuk mengetahui distribusi konsentrasi sedimen suspensi untuk memperhitungkan langkah dalam pengelolaan bangunan air di sepanjang sungai. Dalam penelitiannya digunakan

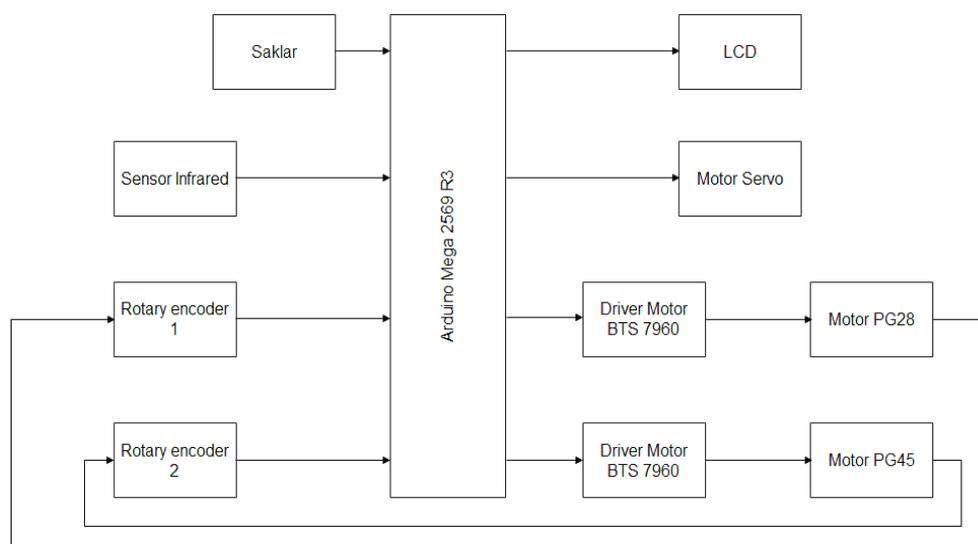
alat bantu portabel TSS Meter dengan tipe Partech 740 yang mempermudah dalam mengambil sampel besaran konsentrasi sedimen suspensi pada lokasi pengujian dengan ketinggian tertentu. Dilakukan sepuluh kali pengambilan sampel data sedimen pada waktu dan hari yang berbeda menggunakan alat bantu portabel TSS Meter untuk mengetahui nilai distribusi konsentrasi sedimen suspensi pada setiap kedalaman aliran [2]. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Segel Ginting dan Waluyo Hatmoko dengan judul “Penentuan Laju Sedimen Pada Rencana Waduk Jatibarang”. Pada penelitian ini dilakukan penentuan besarnya jumlah sedimen yang masuk di waduk Jatibarang. Penelitian ini menggunakan lima metode untuk menentukan nilai laju sedimen yang masuk ke waduk dengan acuan erosi lahan, empiris pengukuran sedimen, model statistik data pengukuran sedimen, aplikasi persamaan sedimen dan model matematis [3]. Kemudian penelitian yang berjudul “Prototipe Alat Pengukur Volume Sedimen Di Dasar Sungai Berbasis Arduino Mega 2560”. Penelitian yang dilakukan oleh Junido Ardali pada tahun 2019 membahas mengenai prototipe alat pengukur volume sedimentasi otomatis yang menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengontrolnya. Alat ini berupa prototipe kapal yang dilengkapi dengan sensor infra merah yang digunakan untuk mengukur besaran volume sedimentasi dengan mengukur panjang, lebar dan tinggi sedimentasi. Pada prototipe ini terdapat 2 buah motor dc yang dilengkapi *rotary encoder* yang diperlukan untuk mengatur pergerakan sensor dan untuk menghitung ukuran sedimentasi dengan merepresentasikan pada putaran motor DC yang dihitung oleh *rotary encoder* [4].

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang masih melakukan pengukuran sedimen secara manual, pada penelitian ini pengukuran sedimen dilakukan secara otomatis menggunakan alat. Sebagai pengembangan penelitian yang dilakukan oleh saudara Junido Ardali berupa prototipe alat pengukur volume sedimentasi otomatis dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengontrolnya. Pada penelitian ini mengembangkan alat yang semula masih berupa prototipe kapal diubah menjadi bentuk kapal sungguhan dengan penambahan fitur penunjang dan memodifikasinya. Mengubah penggulung sensor yang semula menggunakan 2 motor menjadi 1 motor, begitu juga pada penggerak utama yang semula menggunakan 2 buah motor diubah menjadi satu buah motor DC tipe PG45. Tiga buah *Adjustable infrared sensor switch* yang digunakan sebagai acuan dalam mengukur besaran volume sedimentasi dipasang pada pipa yang kendalikan oleh motor DC tipe PG 28. Sebagai pengendali perubahan arah gerakan kapal digunakan motor servo, di mana pada penerapannya motor servo diatur nilai sudutnya untuk memperoleh arah gerakan kapal yang diinginkan. Alat ini dibuat sedemikian rupa sehingga algoritma pada Arduino mampu membuat *adjustable infrared sensor switch* dan *rotary encoder* dapat melakukan pengukuran panjang, lebar, dan tinggi sedimen bawah air. Dari hasil panjang, lebar, dan tinggi sedimen tersebut maka dapat dihasilkan suatu perhitungan volume sedimen.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Diagram blok pada Gambar 1 memperlihatkan bagian *input* yang terdiri dari tiga buah *adjustable infrared sensor switch* yang memiliki fungsi sebagai pendeteksi halangan berupa adanya sedimentasi. *Adjustable infrared sensor switch* digunakan sebagai acuan dalam pengukuran volume sedimentasi. Selain itu terdapat sensor *rotary encoder* yang terpasang dalam internal motor PG28 [5] dan motor PG45. *Rotary encoder* merupakan sensor pendeteksi posisi dan kecepatan dengan memanfaatkan perpindahan mekanik menjadi sinyal-sinyal elektrik dan mengubah sinyal tersebut menjadi sebuah data. Hasil pembacaan *rotary encoder* nantinya akan diolah menjadi nilai volume.

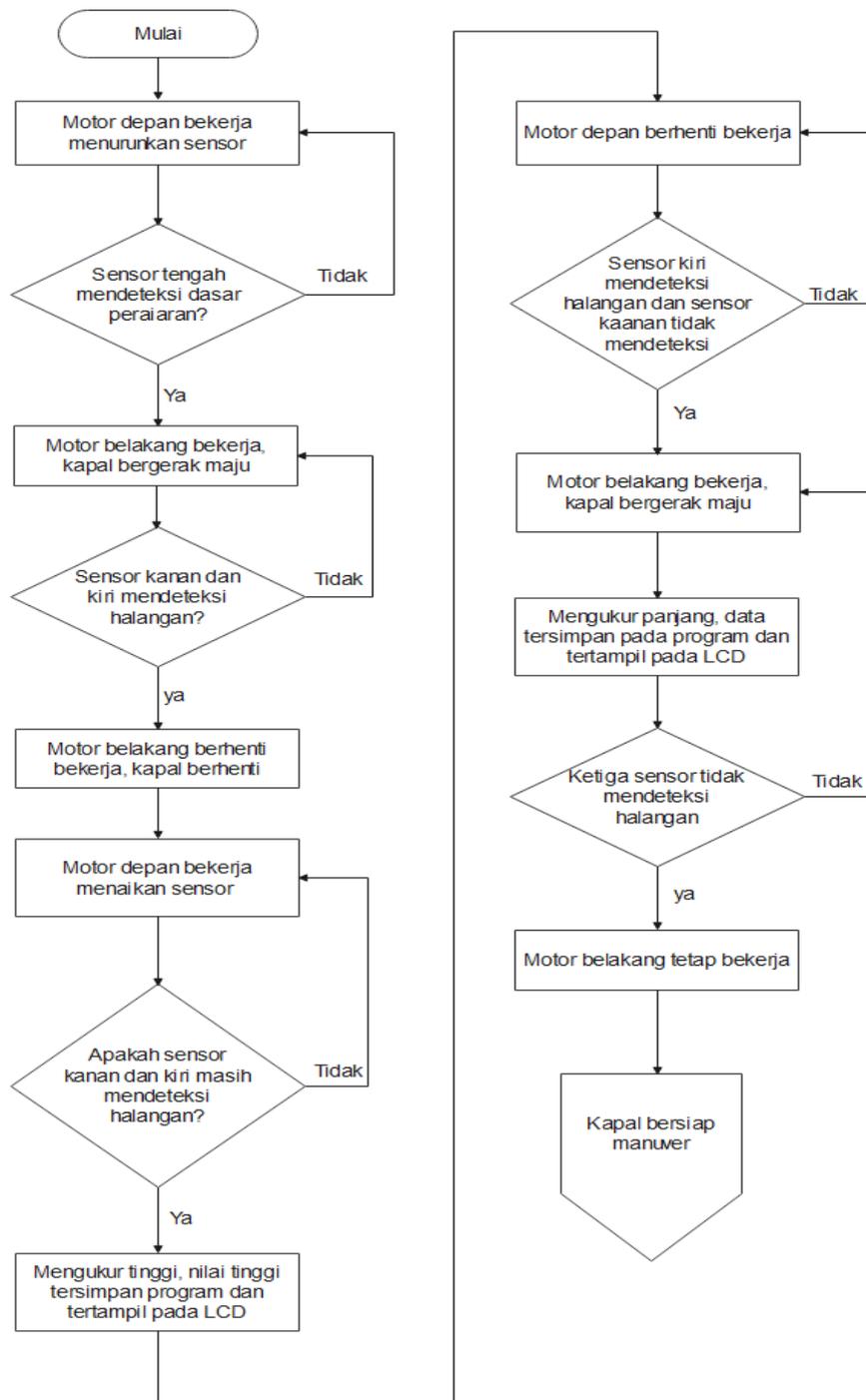


Gambar 1. Diagram blok kapal pengukur volume sedimentasi dengan algoritma pemrograman PID

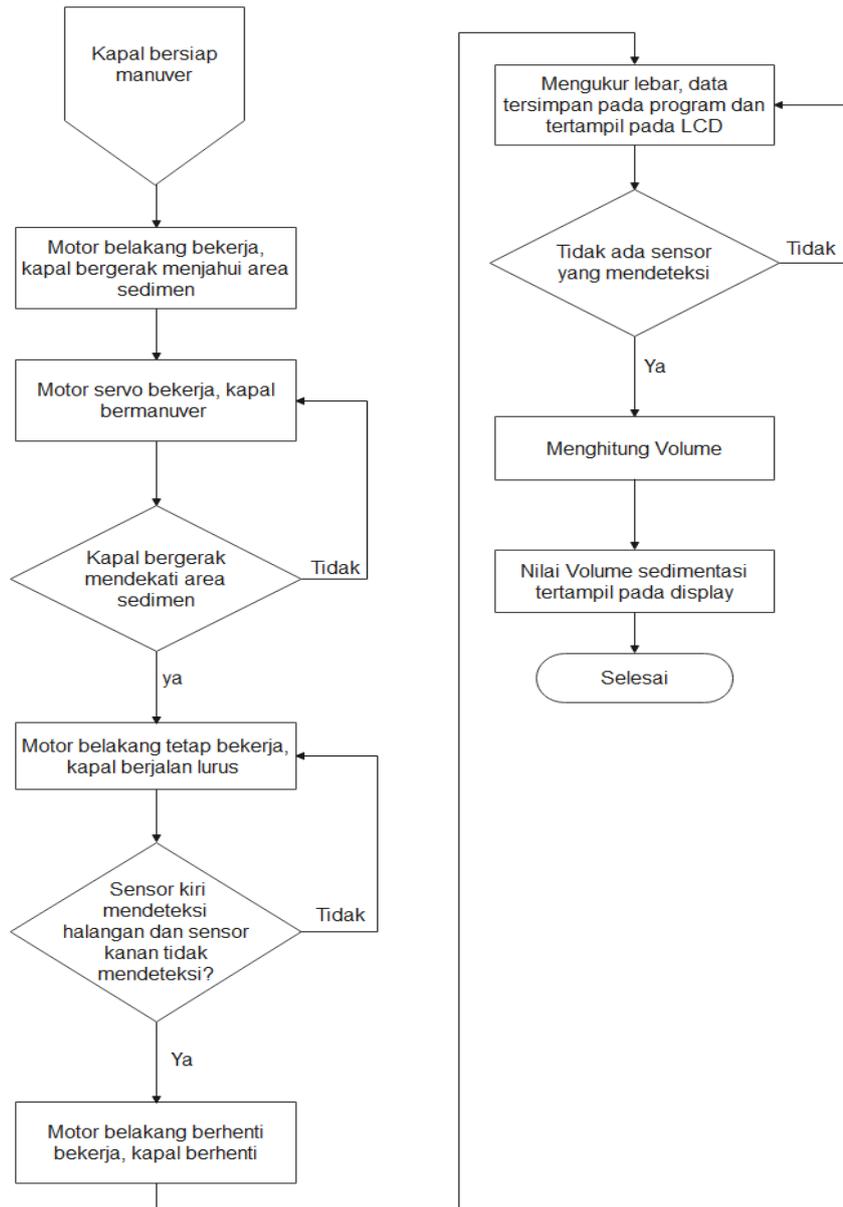
Bagian proses berupa mikrokontroler jenis Arduino Mega 2560. Semua informasi atau data hasil dari pembacaan sensor akan diproses oleh mikrokontroler. Tahap proses merupakan tahap terpenting karena dalam tahap ini hasil pembacaan sensor akan diolah sehingga menghasilkan *output* yang sesuai. Kemudian bagian *output* terdiri dari LCD I2C [6], *driver* motor BTS7960[7], motor PG45, motor PG28 dan motor Servo. Setelah informasi atau data hasil dari pembacaan sensor telah diproses oleh mikrokontroler, mikrokontroler akan mengeksekusi perintah untuk menjalankan *output*.

2.2 Flowchart Sistem

Flowchart sistem menggambarkan algoritma pemrosesan kerja alat diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2 *Flowchart* Alur Proses Kerja Alat

Gambar 3. Lanjutan *Flowchart* Alur Proses Kerja Alat (lanjutan)

2.3 Perancangan Alat

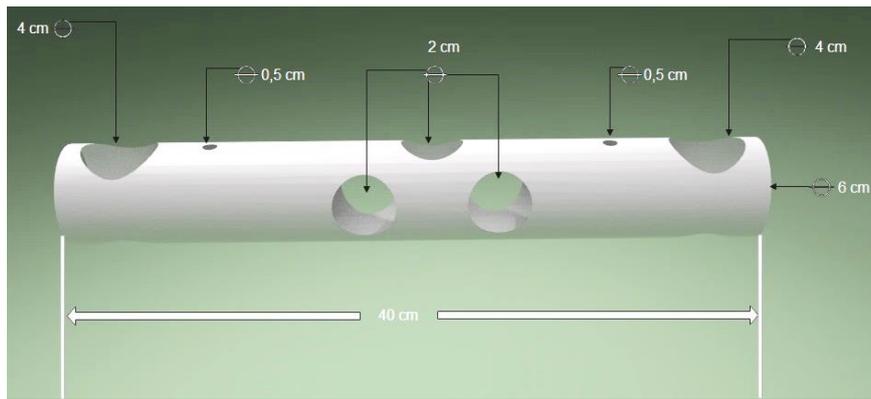
Perancangan alat ini meliputi tahapan-tahapan pengujian, perancangan, dan pembuatan bagian diagram blok yang terdiri dari tiga bagian yaitu *input*, proses, dan *output*. Pada bagian *input*, terdapat *adjustable infrared sensor switch*, tombol, dan *rotary encoder*. Bagian pemroses datanya adalah Arduino Mega 2560 [8]. Kemudian bagian *output* terdiri dari LCD, motor *driver* BTS7960, motor PG28, dan motor PG45. Pembuatan alat ini meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

2.3.1 Pengujian Daya Apung Kapal

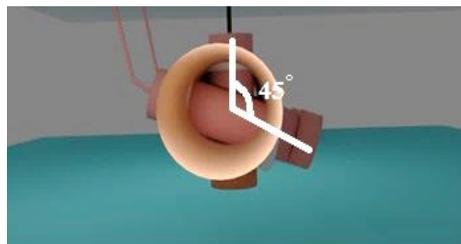
Pengujian daya apung dilakukan untuk mengetahui kestabilan kapal ketika mengapung di permukaan air. Pengujian dilakukan dengan menambahkan beban muatan berupa batu bata yang disusun pada bagian dalam lambung kapal. Kapal akan mengapung stabil ketika beban yang diberikan sudah sesuai beratnya. Pengujian dilakukan di kolam milik Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam pengujian ini juga dapat diketahui bocor tidaknya sebuah kapal dengan mengamati ada tidaknya rembesan air pada lambung kapal.

2.3.2 Modifikasi Bodi Kapal

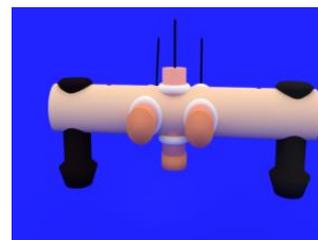
Modifikasi mekanik kapal meliputi penyesuaian bodi dan penambahan fitur pada kapal supaya mampu digunakan untuk menempatkan perangkat elektronika yang nantinya digunakan sebagai penunjang dalam mengukur volume sedimentasi. Kegiatan ini meliputi pembuatan bagian penopang *adjustable infrared sensor switch* seperti yang tertampil pada Gambar 4 dan penambahan fitur pelengkap di antaranya dudukan, plat penyangga, dan baling-baling sebagaimana Gambar 5 dan Gambar 6.



(a)

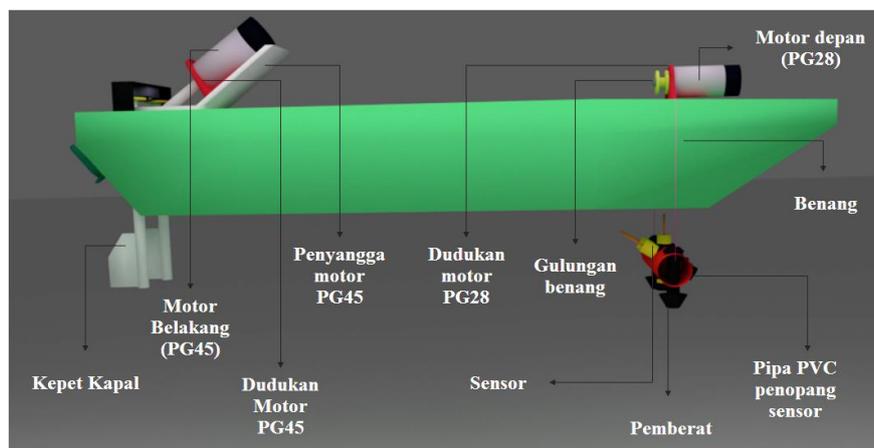


(b)

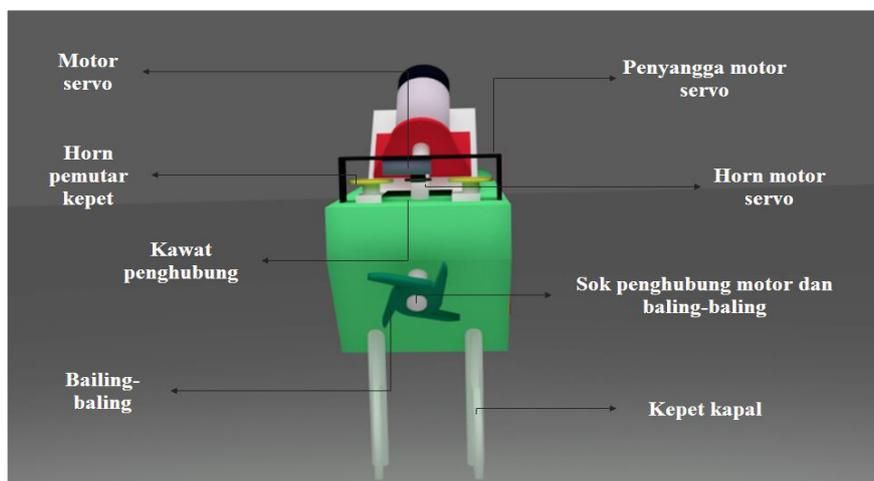


(c)

Gambar 4. Penopang *adjustable infrared sensor switch*: (a) dimensinya, (b) tampak samping, (c) tampak depan

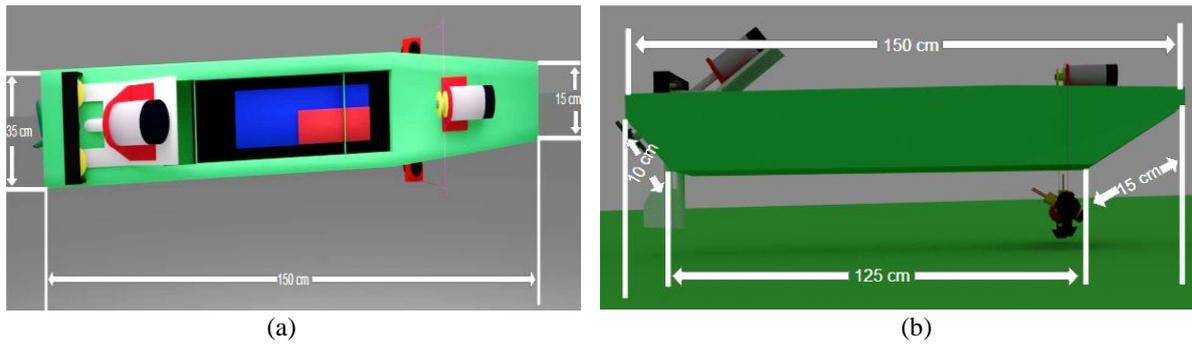


(a)



(b)

Gambar 5. Bodi kapal dan penambahan fitur pelengkap: (a) tampak samping, (b) tampak belakang



Gambar 6. Dimensi kapal: (a) tampak atas, (b) tampak samping

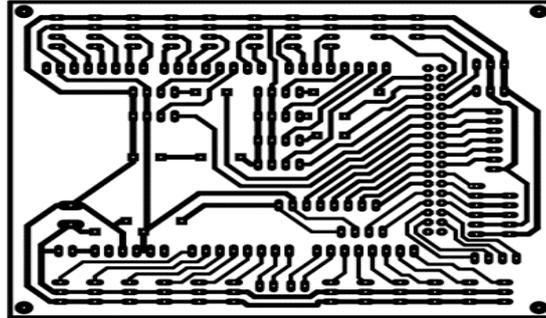
2.3.3 Pengujian Adjustable Infrared Sensor Switch

Pengujian *adjustable infrared sensor switch* dilakukan untuk mengetahui kemampuan jarak pembacaan *adjustable infrared sensor switch*. Pada penerapannya *adjustable infrared sensor switch* diatur pada kemampuan maksimum deteksi objek paling dekat. *Adjustable infrared sensor switch* akan diuji di dalam air dan di luar air untuk mendapatkan jarak maksimum sensor mampu mendeteksi objek. Dari pengujian inilah yang nantinya menjadi acuan dalam menyeting jarak baca *adjustable infrared sensor switch*.

2.3.4 Perancangan Perangkat Keras

a. Perancangan Board Ekstensi Arduino

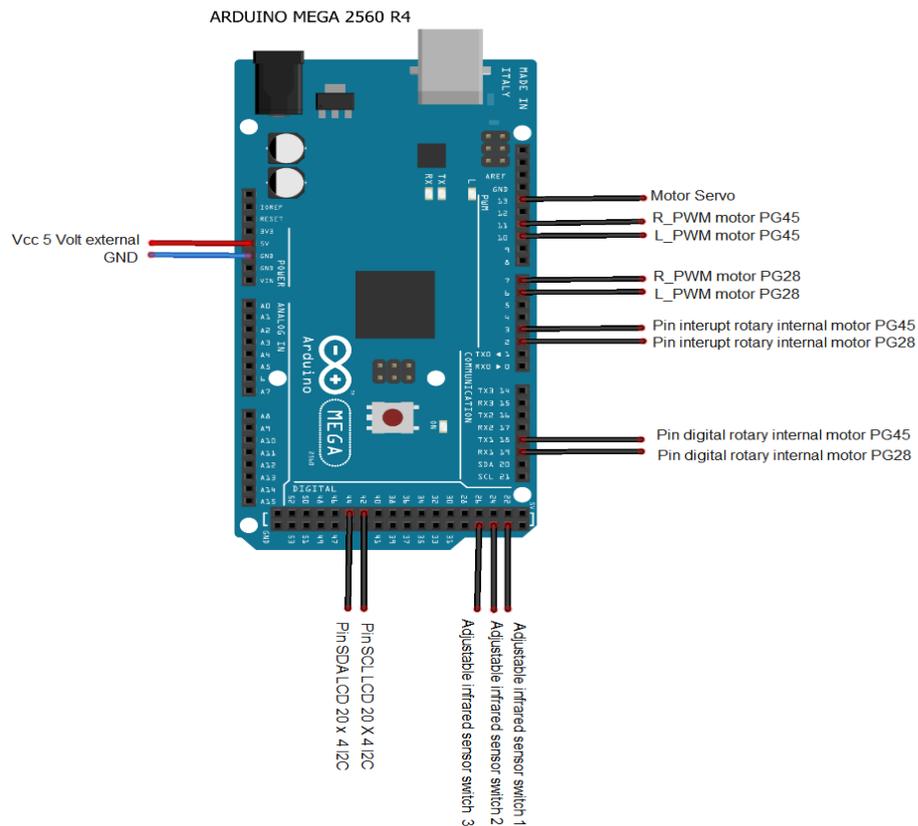
Penambahan *board* ekstensi Arduino ini digunakan untuk memperpanjang dan memperluas jangkauan dari pin digital, analog, maupun *Vcc* dan *ground*. Pada rangkaian ini telah disesuaikan untuk penggunaan berbagai macam tipe elektronik. Keluaran sensor analog dimasukkan ke bagian pin analog. Penggunaan pin serial yang digunakan untuk komunikasi antar *board* Arduino juga tersedia menggunakan pin Tx dan Rx. *Board* ekstensi ini juga menyediakan pin yang difungsikan khusus untuk terhubung ke bagian *board* tombol dan LCD *character* 20×4. Sebagian besar pin pada rangkaian ini telah terhubung dengan *Vcc* dan *ground* seperti yang terlihat pada Gambar 7.



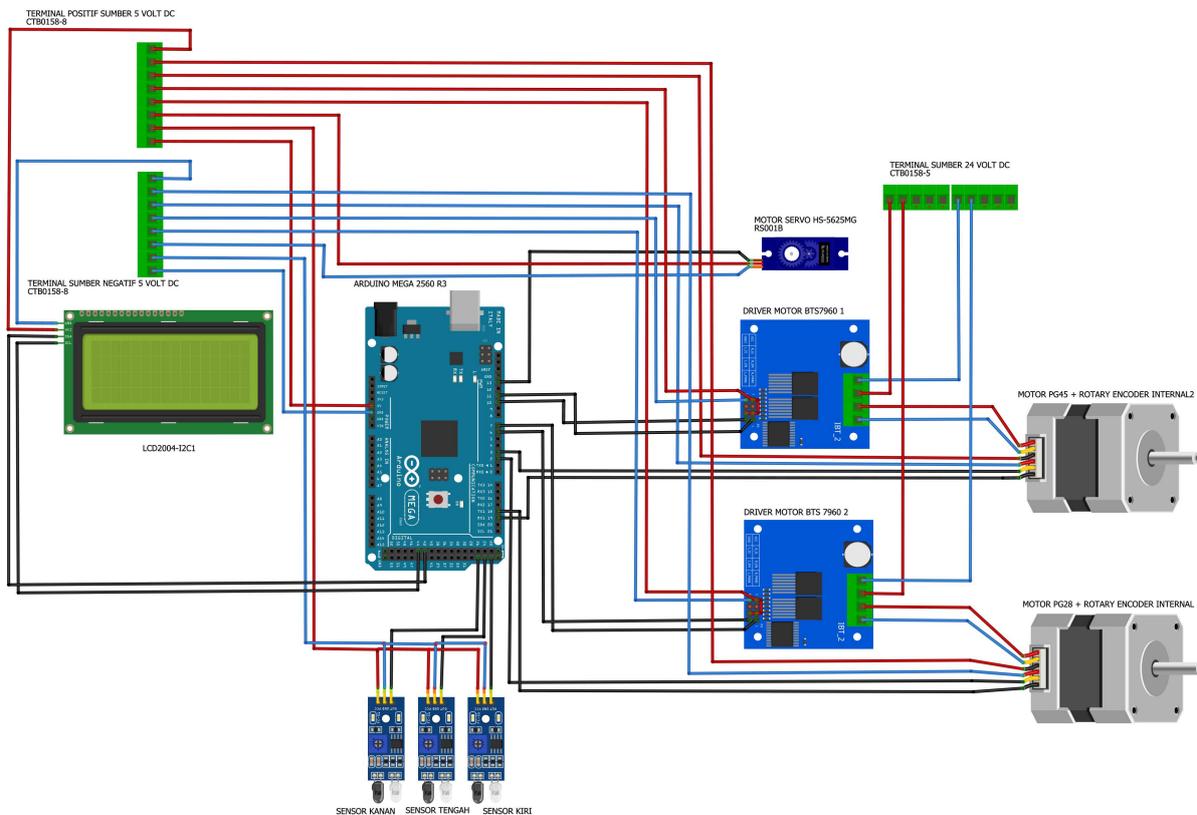
Gambar 7. Board ekstensi Arduino Mega 2560

b. Blok Sistem

Terlihat pada Gambar 8 terdapat *Adjustable infrared sensor switch* dengan pin yang digunakan adalah pin 23, pin 25, dan pin 27. Terdapat juga *driver* motor BTS7960, di mana Pin R_PWM dan L_PWM pada *driver* motor BTS7960 yang terhubung pada motor PG28 menggunakan pin nomor 7 dan pin nomor 6 Arduino. Kemudian pada *driver* motor BTS7960 yang terhubung pada motor PG45 menggunakan pin nomor 11 Arduino untuk pin R_PWM dan pin nomor 10 Arduino untuk pin L_PWM. Pada kedua motor sudah terdapat *rotary encoder* yang terpasang pada bagian belakang motor. *Rotary encoder* pada motor PG28 terhubung dengan pin Arduino nomor 2 dan 18, sedangkan untuk *rotary encoder* pada motor PG45 terhubung dengan pin Arduino nomor 3 dan 19. Motor Servo pada alat ini digunakan sebagai pengontrol pergerakan kapal, motor servo terhubung pada pin 13 Arduino. Selanjutnya Liquid Crystal Display (LCD), LCD yang digunakan pada penelitian ini adalah LCD 20×4 I2C. LCD ini terhubung pada masing-masing pin pada Arduino yaitu pin 42, dan pin 44. Gambar 8 menampilkan lebih detail koneksi rangkaian alat pengukur volume sedimen. Sedangkan *wiring* diagram blok sistem keseluruhan yang ditampilkan pada Gambar 9.



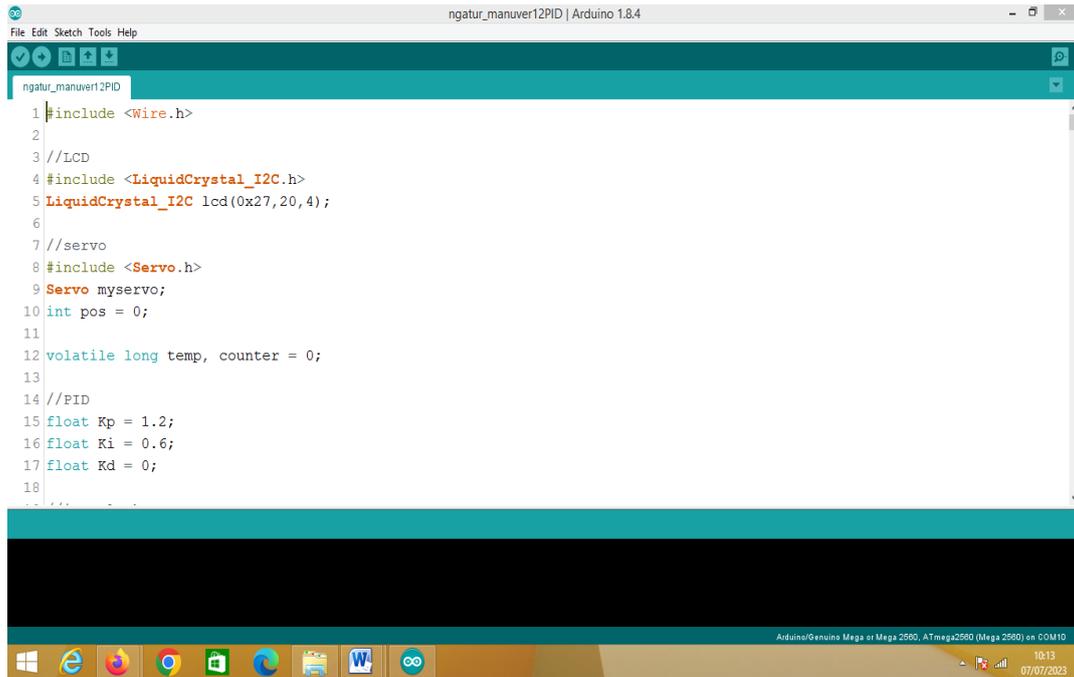
Gambar 8. Konfigurasi pin Arduino



Gambar 9. Wiring diagram alat pengukur volume sedimentasi

2.3.5 Perancangan Software

Perancangan *software* dilakukan dengan pembuatan program Arduino melalui *software* Arduino IDE sesuai dengan algoritma yang sudah ditentukan. Selanjutnya program Arduino yang sudah terdapat algoritma PID [9] dimasukkan ke *hardware* seperti pada Gambar 10.



```

1 #include <Wire.h>
2
3 //LCD
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
6
7 //servo
8 #include <Servo.h>
9 Servo myservo;
10 int pos = 0;
11
12 volatile long temp, counter = 0;
13
14 //PID
15 float Kp = 1.2;
16 float Ki = 0.6;
17 float Kd = 0;
18

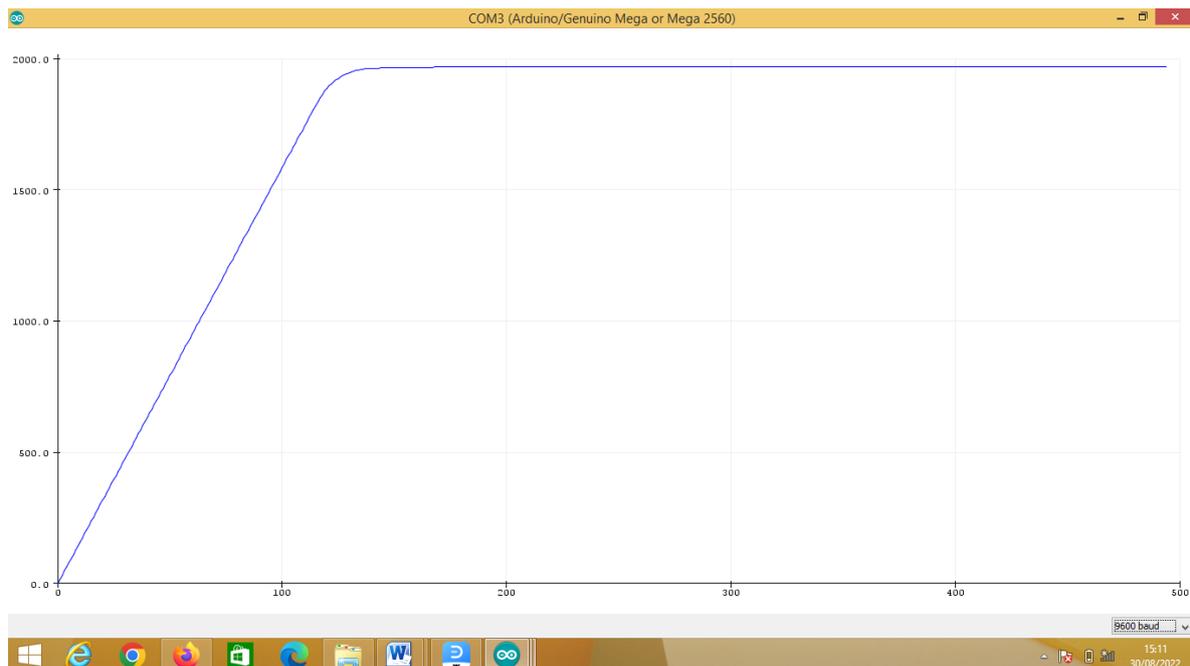
```

Gambar 10. Program Arduino

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian PI Rotary Encoder

Pengujian PI *rotary encoder* ini dilakukan untuk menentukan nilai proporsional dan integral yang digunakan untuk menentukan rpm pada motor-motor penggerak (PG45) dan motor PG28 yang digunakan untuk memutar tali yang digunakan untuk menaik-turunkan sensor inframerah yang berada di bawah alat. Langkah awal, dilakukan penentuan nilai konstanta proporsional sebagai pengaturan kecepatan respons dari motor ketika menuju ke nilai *set point* [10]. Nilai *set point* berupa setingan nilai pulsa yang dikeluarkan *rotary encoder* yang sudah dicantumkan pada program Arduino. *Set point* ini menjadi acuan respons motor ketika nilai PI diberikan pada program Arduino, ketika *set point* sudah tercapai maka motor akan berhenti. *Set point* diatur pada nilai 2000 dengan percobaan yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan dengan memasukkan nilai konstanta proporsional berkelipatan 0,2 dari nilai 0,2 sampai 2. Untuk pengujian nilai konstanta proporsional motor menuju *set point* dipilih nilai yang pada pengujian mampu menuju *set point* dengan osilasi yang paling kecil.

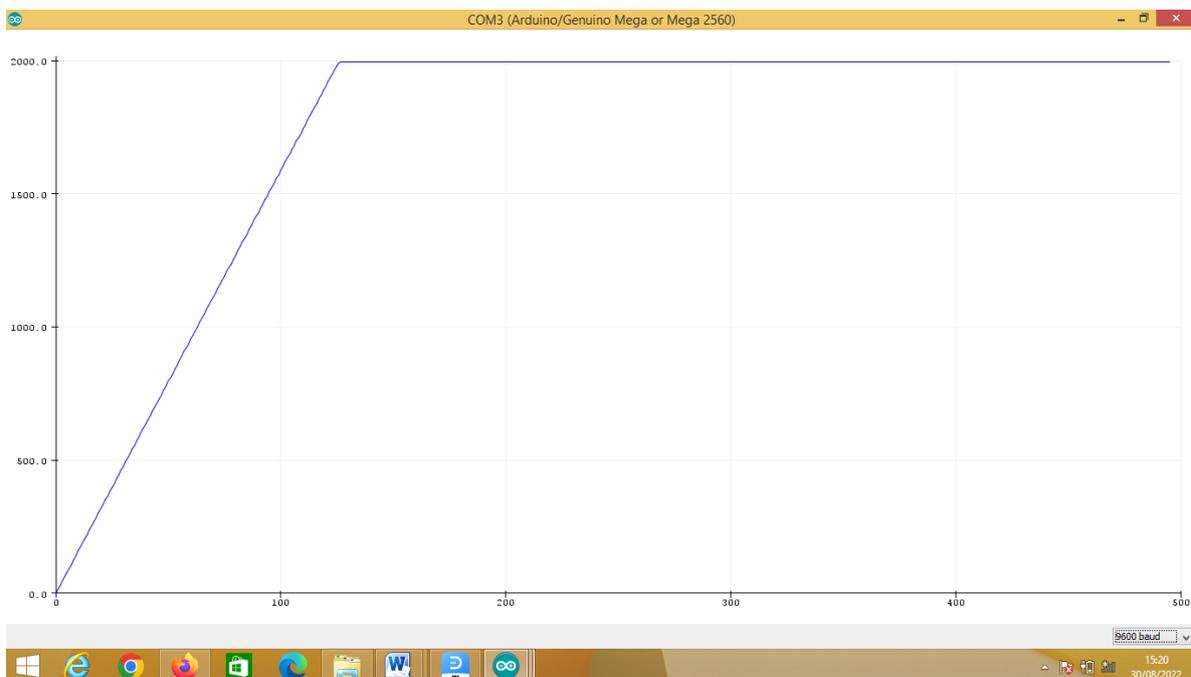
Gambar 11. Grafik respons motor dengan nilai $K_p = 0,2$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$

Sebagai sampel pengujian pada nilai konstanta proporsional (K_p) bernilai 0,2 terlihat pada Gambar 11 terdapat osilasi yang cukup besar pada grafik dengan respons lengkungan ketika nilai target pos mendekati nilai *seting*, tidak mampu menjangkau *set point*. Motor berhenti berputar sebelum mencapai nilai *set point*. Tabel 1 merupakan hasil pengujian respons pulsa motor dengan konstanta proporsional (K_p).

Tabel 1 Hasil pengujian respons motor dengan konstanta proporsional (K_p) di dalam air

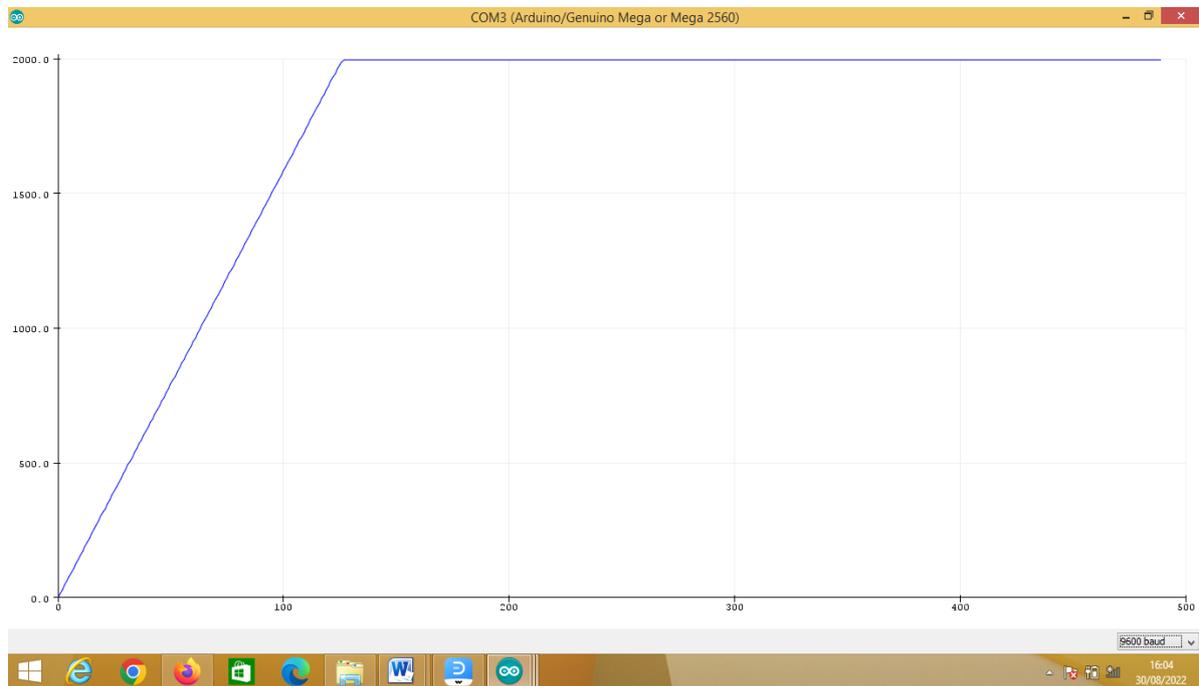
No.	P			Keterangan
	K_p	K_i	K_d	
1.	0,2	0	0	Terdapat osilasi yang cukup besar pada grafik dengan respons lengkungan ketika nilai <i>set point</i> mendekati nilai <i>seting</i> , tidak mampu menjangkau <i>set point</i> .
2.	0,4	0	0	Terdapat osilasi yang cukup besar pada grafik dengan respons lengkungan ketika nilai <i>set point</i> mendekati nilai <i>seting</i> , tidak mampu mencapai <i>set point</i> .
3.	0,6	0	0	Grafik cukup stabil dengan respons lengkungan ketika nilai target pos mendekati nilai <i>seting</i> , tetapi tidak mampu mencapai <i>set point</i> .
4.	0,8	0	0	Grafik stabil dengan respons lengkungan ketika nilai <i>set point</i> mendekati nilai <i>seting</i> , tetapi tidak mampu mencapai <i>set point</i> .
5.	1	0	0	Grafik stabil dengan respons lengkungan ketika nilai <i>set point</i> mendekati nilai <i>seting</i> dan mampu mencapai <i>set point</i> .
6.	1,2	0	0	Grafik stabil dan mampu mencapai <i>set point</i>.
7.	1,4	0	0	Grafik stabil dengan sedikit osilasi dan mampu mencapai <i>set point</i> .
8.	1,6	0	0	Grafik stabil dengan sedikit osilasi dan mampu mencapai <i>set point</i> .
9.	1,8	0	0	Grafik stabil berosilasi dan mampu mencapai <i>set point</i> .
10.	2	0	0	Grafik stabil berosilasi dan mampu mencapai <i>set point</i> .

Setelah dilakukan pengujian nilai konstanta proporsional, didapatkan hasil nilai terbaik konstanta proporsional senilai 1,2. Nilai ini digunakan pada prototipe dengan respons pembacaan pulsa oleh *encoder* pada motor dengan konstanta proporsional lebih stabil dan lebih sedikit osilasi, serta mampu mencapai *set point* seperti yang ditampilkan pada Gambar 12 dibandingkan menggunakan $K_p > 1,2$ ataupun $K_p < 1,2$. Karena pada saat nilai $K_p < 1,2$ terdapat respons yang relatif tidak mampu menuju nilai *set point* dengan osilasi yang bervariasi. Dan apabila menggunakan nilai $K_p > 1,2$ respons motor untuk menuju *set point* tidak stabil sehingga sulit untuk mendapat nilai titik *set point* dan masih terdapat osilasi.



Gambar 12. Grafik respons motor dengan nilai $K_p = 1,2$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$

Setelah didapatkan nilai konstanta proporsional selanjutnya dilakukan penentuan nilai konstanta integral atau K_i untuk menstabilkan respons pergerakan motor untuk menuju nilai *set point*. Sebagai sampel pengujian pada nilai konstanta proporsional (K_p) bernilai 1,2 dan konstanta integral (K_i) bernilai 0,2.



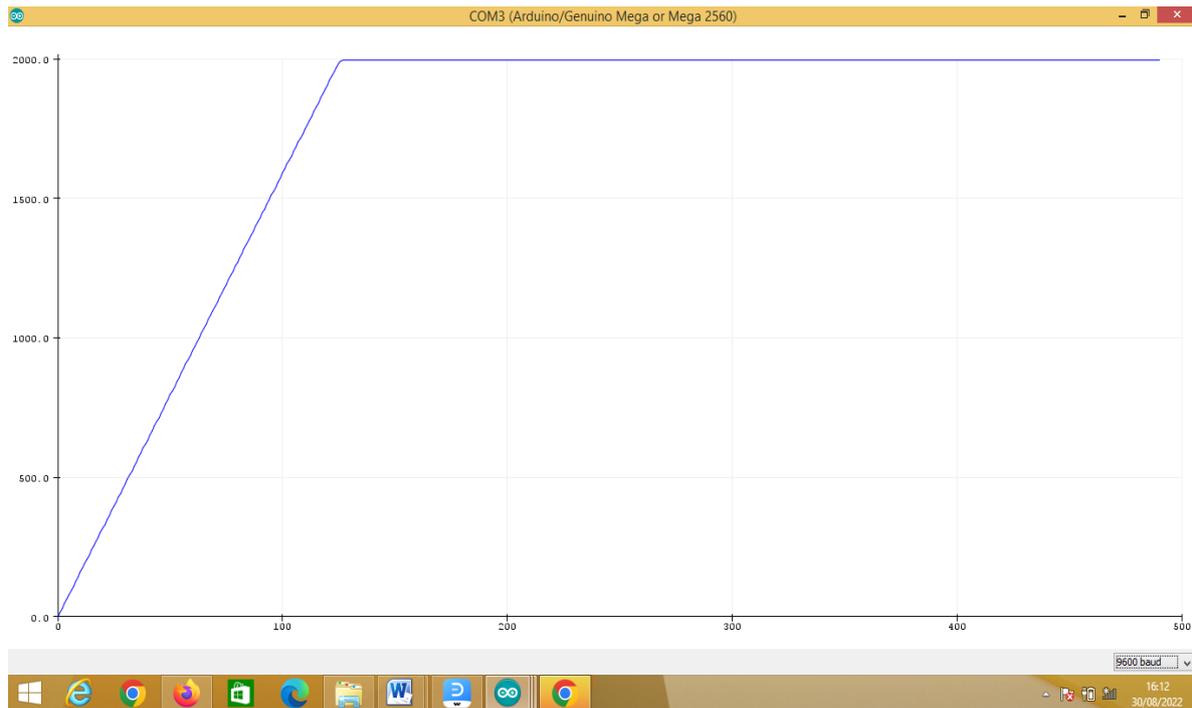
Gambar 13. Grafik respons motor dengan nilai $K_p = 1,2$, $K_i = 0,2$ dan $K_d = 0$

Dalam pengujian respons pulsa motor dengan konstanta integral (K_i) didapatkan hasil yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian respons motor dengan konstanta integral (K_i) di dalam air

No	PI			Keterangan
	K_p	K_i	K_d	
1.	1,2	0,2	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 14,67 detik.
2.	1,2	0,4	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 14,61 detik.
3.	1,2	0,6	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 14,88 detik.
4.	1,2	0,8	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 15,17 detik.
5.	1,2	1	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 14,30 detik.
6.	1,2	1,2	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 15,13 detik.
7.	1,2	1,4	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 15,09 detik.
8.	1,2	1,6	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 15,15 detik.
9.	1,2	1,8	0	Mampu menjangkau <i>set point</i> dalam waktu 15,52 detik.
10.	1,2	2	0	Tidak mampu menjangkau <i>set point</i> , dalam mencapai kondisi motor berhenti diperlukan waktu 15,19 detik.

Setelah dilakukan pengujian nilai konstanta integral dengan 10 kali percobaan, didapatkan nilai terbaik konstanta integral (K_i) sebesar 0,6 karena hasil yang ditunjukkan lebih optimal dibandingkan menggunakan nilai $K_i < 0,6$ ataupun $K_i > 0,6$. Ketika menggunakan K_i kurang dari 0,6, nilai pulsa menuju *set point* lebih cepat seperti yang ditunjukkan pada saat diberi nilai K_i dengan nilai 0,2 dan nilai pulsa menuju *set point* dalam 14,67 detik, namun masih terdapat juga osilasi yang cukup besar seperti yang terlihat pada Gambar 13. Dan ketika menggunakan nilai K_i lebih dari 0,6, nilai pulsa menuju *set point* cenderung lebih lama dengan rata-rata waktu menuju *set point* di atas 15 detik. Dari pengujian nilai konstanta integral (K_i) dihasilkan nilai yang paling ideal sebesar 0,6 dengan grafik yang paling stabil dan termasuk yang paling cepat mencapai nilai *set point* seperti yang terlihat pada Gambar 14.

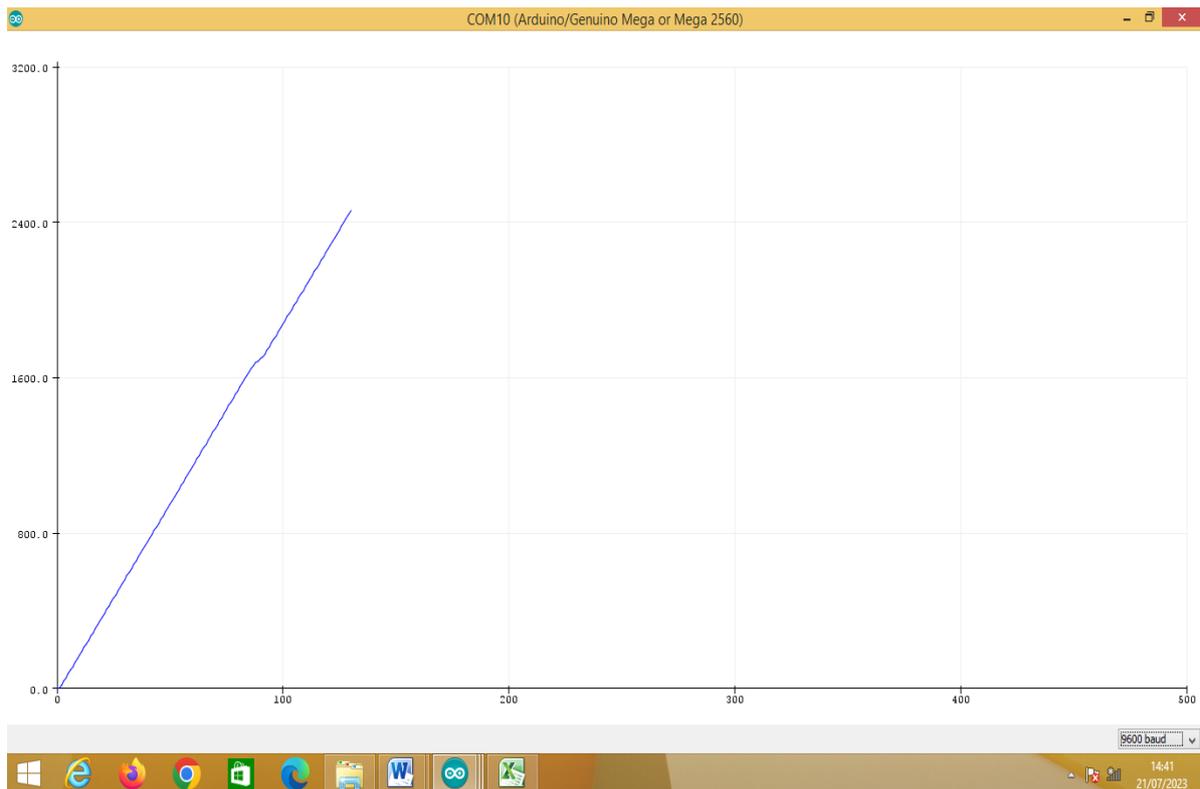


Gambar 14 Grafik respons motor dengan nilai $K_p = 1,2$, $K_i = 0,6$ dan $K_d = 0$

Didapatkannya nilai konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i), dengan nilai K_p sebesar 1,2 dan K_i sebesar 0,6. Penambahan nilai konstanta derivatif (K_d) tidak digunakan karena ketika ditambahkan konstanta derivatif (K_d) pada sistem nilai *set point* terlampaui seperti yang tercantum pada Tabel 3 dan Gambar 15 sebagai gambar sampel grafik respons penambahan nilai K_d .

Tabel 3. Hasil pengujian respons motor dengan konstanta derivatif (K_d) di dalam air

No	PID			Keterangan
	K_p	K_i	K_d	
1.	1,2	0,6	0,2	Melampaui nilai <i>set point</i>
2.	1,2	0,6	0,4	Melampaui nilai <i>set point</i>
3.	1,2	0,6	0,6	Melampaui nilai <i>set point</i>
4.	1,2	0,6	0,8	Melampaui nilai <i>set point</i>
5.	1,2	0,6	1	Melampaui nilai <i>set point</i>
6.	1,2	0,6	1,2	Melampaui nilai <i>set point</i>
7.	1,2	0,6	1,4	Melampaui nilai <i>set point</i>
8.	1,2	0,6	1,6	Melampaui nilai <i>set point</i>
9.	1,2	0,6	1,8	Melampaui nilai <i>set point</i>
10.	1,2	0,6	2	Melampaui nilai <i>set point</i>



Gambar 15. Grafik respons motor dengan nilai $K_p = 1,2$, $K_i = 0,6$ dan $K_d = 0,2$

Setelah dilakukan pengujian PI *rotary encoder*, maka akan dilakukan pengolahan nilai PID pada sistem untuk mengatur respons rpm motor yang lebih cepat dari sebelumnya yang tanpa menggunakan algoritma PID dan mengontrol nilai rpm motor dengan mengoreksi nilai pulsa hasil pembacaan *rotary encoder*.

3.2 Pengujian Algoritma Pembacaan Jarak

Pengujian algoritma pembacaan jarak ini adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah prototipe alat pendeteksi sedimen di bawah sungai ini dapat bekerja dengan baik atau tidak. Algoritma pembacaan jarak ini digunakan untuk melakukan pendeteksian panjang, lebar, dan tinggi sedimen. Terdapat dua sedimen yang digunakan dalam melakukan pengujian pembacaan jarak ini. Sedimen pertama menggunakan sedimen yang berbentuk balok berukuran panjang 31,5 cm, lebar 17,5 cm, dan tinggi 12,7 cm. Berikut merupakan tahapan pengujian algoritma jarak dari prototipe alat pengukur volume sedimen :

3.2.1 Pengujian Pembacaan Tinggi Sedimen

Pada pengujian pembacaan tinggi sedimen ini dilakukan dengan cara mengolah data hasil pembacaan jarak oleh *rotary encoder*. *Adjustable infrared sensor switch* kanan dan kiri menjadi acuan dalam perhitungan tinggi sedimen, selama kedua sensor masih mendeteksi pembacaan nilai tinggi akan terus bertambah. Dalam pengukurannya digunakan motor yang memutar tali untuk menaikkan sensor sampai sensor tersebut tidak mendeteksi. Dari perputaran motor tersebut, diambil data dari pembacaan jarak *rotary encoder* yang kemudian dikalkulasi menjadi tinggi sedimen. Pengujian pembacaan tinggi sedimen ini dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

Nilai kesalahan atau *error* dapat dihitung dengan membandingkan hasil pengurangan nilai asli dengan nilai hasil pengukuran kemudian dibagi dengan nilai asli dan hasilnya dikalikan dengan 100 seperti Persamaan (1) [11].

$$Error = \frac{\text{nilai asli} - \text{nilai hasil pengukuran}}{\text{nilai asli}} \times 100 = \% \quad (1)$$

$$Error = \frac{17,5 - 17,73}{17,5} \times 100 = 0,23 \%$$

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian pengukuran tinggi yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Didapatkan hasil pengukuran nilai tinggi yang paling mendekati nilai asli senilai 12,73 cm dengan nilai error 0,23 %, sedangkan nilai tinggi yang paling menjauhi nilai asli senilai 12,97 cm dengan nilai error 2,12 %.

Tabel 4. Hasil pembacaan tinggi sedimen

No.	Tinggi sedimen (cm)	Tinggi sedimen hasil pengukuran (cm)	Error
1.	12,7	12,73	0,23 %
2.	12,7	12,60	0,78 %
3.	12,7	12,88	1,41 %
4.	12,7	12,55	1,18 %
5.	12,7	12,57	1,02 %
6.	12,7	12,97	2,12 %
7.	12,7	12,63	0,55%
8.	12,7	12,67	0,23 %
9.	12,7	12,79	0,70 %
10.	12,7	12,54	1,25 %

3.2.2 Pengujian Pembacaan Panjang Sedimen

Pengujian pembacaan panjang sedimen dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai panjang dari sedimen. Panjang sedimen didapatkan melalui pergerakan prototipe dengan acuan *adjustable infrared sensor switch* bagian kanan sebagai pendeteksinya. Prototipe bergerak dengan mengandalkan putaran motor belakang. *Adjustable infrared sensor switch* bagian tengah menjadi acuan dimulainya penghitungan nilai panjang dengan perhitungan matematis berupa nilai jarak = kecepatan x waktu. Perhitungan panjang dimulai dari awal sedimen hingga akhir sedimen searah dengan panjang sedimen. Pengujian pembacaan panjang sedimen ini dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

Tabel 5 merupakan hasil pengujian pengukuran tinggi yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Didapatkan hasil pengukuran nilai panjang yang paling mendekati nilai asli senilai 31,02 cm dengan nilai error 1,52 %, sedangkan nilai panjang yang paling menjauhi nilai asli senilai 30,29 cm dengan nilai error 3,84 %.

Tabel 5. Hasil pembacaan panjang sedimen

No.	Panjang sedimen (cm)	Panjang sedimen hasil pengukuran (cm)	Error
1.	31,5	30,29	3,84 %
2.	31,5	31,00	1,58 %
3.	31,5	31,02	1,52 %
4.	31,5	30,90	1,90 %
5.	31,5	30,92	1,84 %
6.	31,5	30,34	3,68 %
7.	31,5	30,90	1,90 %
8.	31,5	31,02	1,52 %
9.	31,5	30,88	1,96 %
10.	31,5	31,02	1,52 %

3.2.3 Pengujian Pembacaan Lebar Sedimen

Pengujian pembacaan lebar sedimen dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai lebar dari sedimen. Lebar sedimen dapat diketahui melalui pergerakan prototipe dengan acuan *adjustable infrared sensor switch* bagian kiri sebagai pendeteksinya. Prototipe bergerak dengan mengandalkan putaran motor belakang. *Adjustable infrared sensor switch* bagian tengah menjadi acuan dimulainya penghitungan nilai lebar dengan perhitungan matematis berupa nilai jarak = kecepatan x waktu. Perhitungan lebar dimulai dari awal sedimen hingga akhir sedimen searah dengan lebar sedimen. Pengujian pembacaan panjang sedimen ini dilakukan sebanyak 10 kali percobaan.

Tabel 6 merupakan hasil pengujian pengukuran lebar yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan. Didapatkan hasil pengukuran nilai lebar yang paling mendekati nilai asli senilai 18,46 cm dengan nilai error 5,48 %, sedangkan nilai lebar yang paling menjauhi nilai asli senilai 18,83 cm dengan nilai error 7,6 %.

Tabel 6. Hasil pembacaan lebar sedimen

No.	Lebar sedimen (cm)	Lebar sedimen hasil pengukuran (cm)	Error
1.	17,5	18,47	5,54 %
2.	17,5	18,80	7,42 %
3.	17,5	18,82	7,54 %
4.	17,5	18,84	7,65 %
5.	17,5	18,77	7,25 %
6.	17,5	18,46	5,48 %
7.	17,5	18,83	7,6 %
8.	17,5	18,77	7,25 %
9.	17,5	18,83	7,6 %
10.	17,5	18,83	7,6 %

3.3 Analisis Hasil

Pada pengujian PI *rotary encoder* didapatkan hasil nilai konstanta proporsional senilai 1,2 yang memiliki respons lebih stabil dengan lebih sedikit osilasi serta mampu mencapai *set point* dibandingkan menggunakan $K_p > 1,2$ ataupun $K_p < 1,2$. Kemudian pada konstanta integral, didapatkan nilai konstanta integral (K_i) sebesar 0,6 dengan hasil yang lebih optimal dibandingkan menggunakan nilai $K_i < 0,6$ ataupun $K_i > 0,6$ dengan tercapainya nilai *set point* paling cepat. Untuk konstanta diferensial tidak digunakan karena pada pengujian terdapat osilasi yang besar dengan respons melebihi nilai *set point*.

Hasil pengujian pembacaan panjang, lebar, dan tinggi sedimen akan diolah menjadi nilai volume. Dari hasil percobaan yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan pengukuran panjang, lebar dan tinggi dikalkulasi menjadi data volume dengan melakukan perkalian antara panjang, lebar, dan tinggi sedimen seperti Persamaan (2) [12].

$$V = p \times l \times t \quad (2)$$

$$V = 30,29 \times 18,47 \times 12,73 = 7.121,87 \text{ cm}^3$$

Dari hasil perhitungan volume pengukuran yang didapatkan dari perhitungan nilai panjang pengukuran, lebar pengukuran dan tinggi pengukuran sedimen yang kemudian dicari perbandingan antara nilai volume asli sedimen dengan nilai volume hasil pengukuran. Perbandingan antara nilai volume asli sedimen dengan nilai volume hasil pengukuran disajikan dalam bentuk nilai *error* yang ditampilkan pada Tabel 7. Dari 10 data volume asli dan volume hasil pengukuran yang tercantum didapatkan hasil nilai volume pengukuran yang paling mendekati nilai asli senilai 7.121,87 cm³ dengan nilai *error* 1,72 %, sedangkan nilai yang paling menjauhi nilai asli senilai 7.519,29 cm³ dengan nilai *error* 7,40 %. Rata-rata nilai *error* dari 10 kali pengukuran senilai 4,47 %.

Tabel 7. Hasil perhitungan volume sedimen

No.	Volume asli (cm ³)	Volume Pengukuran (cm ³)	Error (%)
1.	7.000,87	7.121,87	1,72
2.	7.000,87	7.343,28	4,89
3.	7.000,87	7.519,29	7,40
4.	7.000,87	7.306,05	4,35
5.	7.000,87	7.295,23	4,20
6.	7.000,87	7.264,19	3,76
7.	7.000,87	7.348,72	4,96
8.	7.000,87	7.377,04	5,37
9.	7.000,87	7.437,00	6,22
10.	7.000,87	7.324,69	4,62
Rata-rata error (%)			4,74

Terdapat perbedaan nilai rata-rata *error* yang didapat pada pengukuran volume sedimen di penelitian yang dilakukan sebelumnya [4]. Penelitian sebelumnya, mendapat rata-rata nilai *error* pengukuran volume sedimen sebesar 5,87 %, sedangkan pada penelitian ini mendapat rata-rata nilai *error* pengukuran volume sedimen sebesar 4,47 %. Terjadi penurunan *error* sebesar 1,4 %. Penurunan ini terjadi karena penambahan fitur pada alat pengukur dan algoritma PID yang dipakai mampu mengontrol rpm motor penggerak.

4. KESIMPULAN

Pengukuran alat pengukur sedimen dengan perbandingan nilai asli dengan nilai hasil pengukuran. Hasil pengukuran didapatkan alat mampu mengukur tinggi sedimen dengan nilai yang paling mendekati nilai asli senilai 12,73 cm dengan nilai *error* 0,23 %, sedangkan hasil pengukuran yang paling menjauhi nilai asli bernilai 12,97 cm dengan nilai *error* 2,12 %. Pada pengukuran panjang sedimen didapatkan nilai paling mendekati nilai asli bernilai 31,02 cm dengan nilai *error* 1,52 %, sedangkan nilai yang paling menjauhi nilai asli bernilai 30,29 cm dengan nilai *error* 3,84 %. Pada pengukuran lebar sedimen didapatkan nilai paling mendekati nilai asli senilai 18,46 cm dengan nilai *error* 5,48 %, sedangkan nilai yang paling menjauhi nilai asli senilai 18,83 cm dengan nilai *error* 7,6 %. Pengukuran volume sedimen menghasilkan nilai *error* terkecil mencapai 2,06 %, sedangkan *error* terbesar mencapai 4,35 % dari nilai volume asli sebesar 7.000,87 cm³. Penambahan fitur mampu menurunkan persentase *error* pembacaan volume sedimen pada penelitian sebelumnya yang semula 5,87 % menjadi 4,47 %.

REFERENSI

- [1] Alfi Satriadi, "Studi Batimetri dan Jenis Sedimen Dasar Laut di Perairan Marina, Semarang, Jawa Tengah," *Buletin Oseanografi Marina*, vol. 1, no. 5, hal. 53–62, 2012. <https://doi.org/10.14710/buloma.v1i5.6917>
- [2] D. R. Wiryamanta, S. Sumiadi, and V. Dermawan, "Kajian Distribusi Konsentrasi Sedimen Suspensi Menggunakan TSS Meter pada Sungai Brantas di Desa Pendem Kota Batu," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 2, hal. 379–392, 2021. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.04>
- [3] S. Ginting and W. Hatmoko, "Penentuan laju sedimen pada rencana waduk Jatibarang," *Jurnal Sumber Daya Air*, vol. 6, no. 1, hal. 33–46, 2010. <https://doi.org/10.32679/jsda.v6i1.382>
- [4] J. ARDALLI, "Prototipe Alat Pengukur Volume Sedimen Di Dasar Sungai Berbasis Arduino Mega 2560," *Skripsi*, Unissula Institutional Repository, 2019.
- [5] F. A. Aziz and R. D. Puriyanto, "Rancang Bangun Mesin Pengecat Otomatis Berbasis PLC CP1E NA20DR A," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 1, no. 3, hal. 118–130, 2019. <http://dx.doi.org/10.12928/biste.v1i3.1050>
- [6] I. T. Yuniahastuti, I. Sunaryantiningsih, and B. Olanda, "Contactless Thermometer sebagai Upaya Siaga Covid-19 di Universitas PGRI Madiun," *ELECTRA: Electronics Engineering Article*, vol. 1, no. 1, hal. 28–34, 2020. <http://dx.doi.org/10.25273/electra.v1i1.7597>
- [7] Y. D. Widiarto, M. E. I. Najoan, and M. D. Putro, "Sistem Penggerak Robot Beroda Vacuum Cleaner Berbasis Mini Computer Raspberry pi," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 1, hal. 25–32, 2018. <https://doi.org/10.35793/jtek.v7i1.19140>
- [8] A. Nuryaman, E. Mulyana, and R. Mardiaty, "Rancang Bangun Prototipe Alat Pengukur Kecepatan Kendaraan Dengan Sensor Infra Merah," *Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung* (SENTER 2017), vol. 22, hal. 15–16, 2017.
- [9] D. Firdha, T. Winarno, and A. Komarudin, "Kontrol Kecepatan Motor Pelempar pada Robot Abu Robocon 2018 dengan Metode PID," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 06, no.2, 2021. <http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v6i2.156>
- [10] S. A. D. Prasetyowati, B. Arifin, A. Syakhroni, and M. K. Faza, "Monitoring River Sediment by Optimizing Arduino Capabilities Controlled by the PID Algorithm," *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS*, vol. 21, hal. 233–240, 2022. <http://dx.doi.org/10.37394/23202.2022.21.25>
- [11] A. D. Yusyahnur, A. Virgono, and U. A. Ahmad, "Pengukuran Jarak Kendaraan Dengan Metode Haar Cascade Menggunakan OpenCV," *eProceedings of Engineering*, vol. 9, no. 3, hal. 2–12, 2022.
- [12] H. Handayani, "Analisis Kemampuan Representasi Siswa Pada Materi Volume Kubus dan Balok di SDN Manangga Kabupaten Sumedang," *JMIE (Journal Madrasah Ibtidaiyah Education)*, vol. 3, no. 1, hal. 48, 2019. <http://dx.doi.org/10.32934/jmie.v3i1.97>