

LAPORAN TUGAS AKHIR
TROBOs : Telemedicine Robot On Hospital



Penyusun:

Muhammad Rismawan (18524009)

Waskita Dwi Nurdianto (18524086)

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2022

HALAMAN PENGESAHAN
TROBOs : Telemedicine Robot On Hospital

Penyusun:

Muhammad Rismawan (18524009)

Waskita Dwi Nurdianto (18524086)

Yogyakarta, 25 Juli 2022

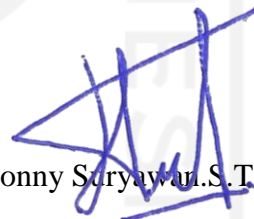
Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., P.hD.

025240101



Donny Suryawan, S.T., M.Eng

175250404

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2022

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

TROBOs : Telemedicine Robot On Hospital



Disusun oleh:

Muhammad Rismawan 18524009

Waskita Dwi Nurdianto 18524086

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal: 3 Agustus 2022

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji

: Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc., P.hD.

Anggota Penguji 1

: Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

Anggota Penguji 2

: Arif Fajar Wibisono, S.E., M.Sc.

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 11 Agustus 2022

Ketua Program Studi Teknik Elektro



: Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.

045240101

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, paten merupakan milik bersama antaraa tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 11 Agustus 2022



Muhammad Kismawan (18524009)



Waskita Dwi Nurdianto (18524086)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	1
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	2
PERNYATAAN	3
DAFTAR ISI	4
RINGKASAN TUGAS AKHIR	5
BAB 1 : Definisi Permasalahan	6
BAB 2 : Observasi	8
BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem	10
3.1 Perancangan Robot Sebelumnya	10
3.2 Usulan Perancangan Perbaikan Sistem	12
3.3 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem	22
BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem	23
4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Perbaikan Sistem	23
4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya	29
4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi	31
BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis	33
5.1 Hasil dan Analisis Implementasi	33
5.1.1 Data Motor dan Pengendalian	35
5.1.3 Pengujian Aplikasi Pengendali	39
5.1.3 Data Tegangan dan Arus Pada Motor	41
5.1.4 Pengujian Kecepatan Robot	41
5.1.5 Pengujian Daya Tahan Baterai	42
5.1.6 Pengujian Deteksi Benda	44
5.2 Pengalaman Pengguna	44
5.3 Dampak Implementasi Sistem	45
5.3.1 Teknologi/Inovasi	45
5.3.2 Sosial	45
5.3.3 Ekonomi	45
BAB 6 : Kesimpulan dan Saran	46
6.1 Kesimpulan	46
6.2 Saran	46

RINGKASAN TUGAS AKHIR

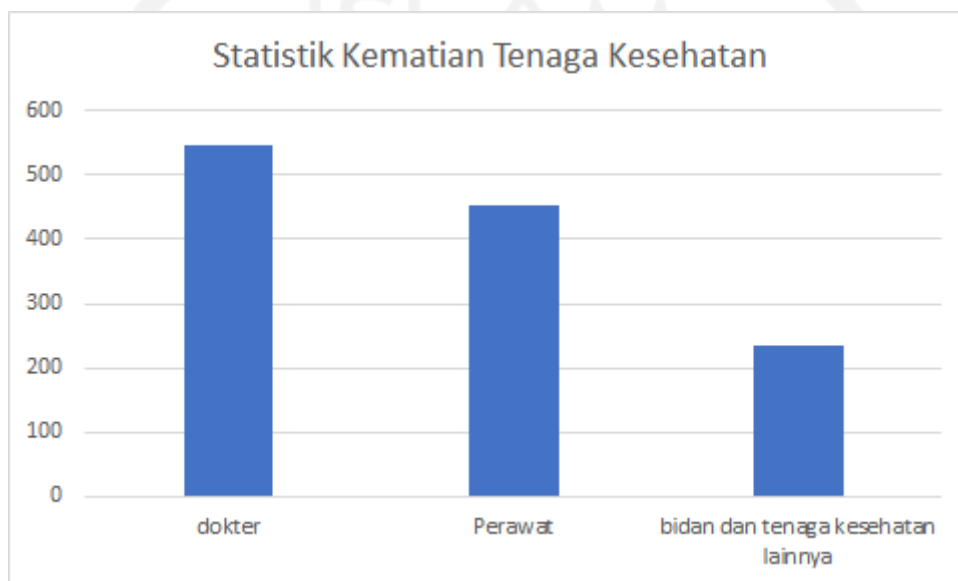
Banyaknya kasus tenaga kesehatan yang terjangkit virus menular yang membahayakan nyawa para tenaga kesehatan dan kasus kematian akibat dari virus seperti virus covid-19 yang menular di Indonesia. Oleh sebab itu diperlukan upaya dan perhatian lebih untuk menyelamatkan tenaga kesehatan dan menghindarkan mereka dari paparan virus menular yang berbahaya. Penularan virus antara pasien dengan tenaga kesehatan merupakan masalah yang perlu diatasi. Langkah untuk mencegah penularan antara pasien dengan tenaga medis dengan cara menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) dan jaga jarak. Meskipun langkah tersebut masih belum efektif, dikarenakan ketersediaan jumlah APD yang sedikit dan banyaknya pasien yang harus kontak dengan tenaga kesehatan secara langsung. Hal ini akan sangat berdampak pada kesehatan para tenaga medis. Sehingga akan menyebabkan sedikitnya tenaga medis untuk memberikan layanan kesehatan bagi pasien.

Salah satu upaya untuk menanggulangi permasalahan tersebut yaitu dengan memanfaatkan robot yang dapat memberikan layanan kesehatan yang mampu membantu petugas kesehatan dalam memberikan pelayanan kesehatan yang bersifat pelayanan rutin dan tidak darurat. Sehingga dengan menggunakan robot dapat mengurangi risiko terpapar penyakit dan mencegah penyebaran virus kepada para tenaga kesehatan.

Robot yang telah dirancang mampu dikendalikan menggunakan smartphone berbasis Android yang dikendalikan jarak jauh melalui jaringan tanpa kabel/*wireless*. Robot yang telah dirancang mampu dikendalikan menggunakan *virtual joystick* pada sebuah aplikasi android. Robot ini juga memiliki fitur kamera untuk melihat jalanan yang ada di depan robot yang ditampilkan pada layar *smartphone*. Robot tersebut dapat beroperasi selama 2 jam 30 menit dalam satu kali pengisian baterai. Pemanfaatan robot dalam membantu pekerjaan manusia sudah banyak diterapkan diberbagai bidang, pada bidang teknologi robot yang telah dirancang mampu memanfaatkan keterbaruan teknologi seperti robot dapat dikoneksikan menggunakan jaringan tanpa kabel/*wireless*, Pada bidang sosial, Penggunaan robot dalam membantu meningkatkan pelayanan terutama pelayanan rutin, Meningkatkan efektivitas pelayanan, dan membantu mengurangi beban pekerjaan.

BAB 1 : Definisi Permasalahan

Kasus kematian yang disebabkan oleh penyakit menular semakin banyak menelan korban. Penyakit menular adalah penyakit yang disebabkan oleh virus, bakteri atau parasit yang dapat ditularkan melalui media tertentu. Salah satu penyakit menular yang semakin banyak menyebar yaitu Covid-19, Penyakit Covid-19 termasuk dalam penyakit pandemi yang penyebarannya sangat luas bahkan ke berbagai negara di dunia. Profesi yang paling rentan terjangkit penyakit menular tersebut yaitu profesi tenaga kesehatan karena sangat dekat bahkan bersinggungan dengan pasien pengidap penyakit menular.



Gambar 1.1 Grafik kematian pandemi.

Di Indonesia banyaknya kasus kematian tenaga kesehatan akibat terjangkit penyakit Covid-19 pada website lapor covid-19 [1]. Berdasarkan Gambar 1.1 angka paling banyak berprofesi sebagai dokter yaitu sebanyak 545 orang meninggal karena terjangkit penyakit Covid-19. Diikuti dengan tenaga perawat sebanyak 453 orang meninggal dunia, Kemudian 235 korban yang berprofesi sebagai bidan dan tenaga kesehatan lainnya.

Oleh karena itu, untuk menyelamatkan para tenaga kesehatan, dan upaya untuk menghindari penyebaran virus. Diperlukan upaya dan perhatian lebih untuk menyelamatkan tenaga kesehatan dan menghindarkan mereka dari paparan virus menular yang berbahaya. . Penularan virus antara pasien dengan tenaga kesehatan merupakan masalah yang perlu diatasi. Adapun pencegahan dengan menjalankan protokol kesehatan seperti menggunakan APD maupun jaga jarak masih belum efektif mencegah penularan terhadap tenaga kesehatan. Tingginya kebutuhan tenaga kesehatan juga menjadi sebab tingginya kematian bagi para tenaga kesehatan. Para tenaga kesehatan dituntut bekerja lebih karena banyaknya pasien yang memerlukan pertolongan. Hal ini sangat menguras tenaga para petugas kesehatan. Sehingga

kondisi tersebut membuat fisik dan imunitas para petugas kesehatan menjadi melemah. Ketersediaan layanan bagi pasien juga tidak sebanding dengan ketersediaan tenaga kesehatan yang memberikan layanan di rumah sakit.

Berdasarkan permasalahan tersebut alternatif upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan memanfaatkan robot yang dapat memberikan layanan kesehatan. Robot yang mampu membantu petugas kesehatan dalam memberikan pelayanan kesehatan. Salah satu tugas pelayanan yang dapat kesehatan yang dapat digantikan oleh robot yaitu tugas rutin pengantaran barang seperti makanan dan obat maupun alat kesehatan lainnya yang bersifat pelayanan rutin yang tidak mendesak. Sehingga dengan menggunakan robot, diharapkan dapat mengurangi risiko terpapar penyakit dan mencegah penyebaran virus kepada para tenaga kesehatan.

Rancangan robot pelayan medis untuk pasien Covid-19 telah dirancang pada desain terdahulu. Aspek kestabilan robot memiliki berbagai permasalahan. Ketika bergerak struktur robot atas menerima momen inersia sehingga robot tidak stabil. Maka diperlukan upaya untuk melengkapi kekurangan pada robot yang telah dirancang sebelumnya hingga tercapai performa pengendalian yang stabil tanpa adanya gangguan. Berdasarkan pemaparan tersebut, maka didapatkan **rumusan masalah** dibutuhkan suatu performa sistem kendali pada robot layanan kesehatan yang lebih baik dari sebelumnya dan dapat mengoptimalkan pelayanan kesehatan.

Batasan realistis *Engineering Aspects* pada tugas akhir ini adalah, robot hanya digunakan untuk membantu tenaga medis dalam memberikan pelayanan rutin dan tidak darurat seperti membawa makanan, obat-obatan, dan alat kesehatan lainnya, robot harus berada pada area yang terjangkau dengan sinyal *Wi-Fi*, robot digunakan didalam ruangan dengan jenis lantai rata, robot harus memiliki minimal *delay* sebesar 3 detik, robot memiliki kecepatan nominal yang sama. Robot memiliki angle kamera 65° bidang pandang /*Field of view*. Batasan masalah pada pengerjaan *Capstone Design*, yaitu tidak membuat desain robot dari awal, hanya mendesain sistem pengendali dan sistem elektronik robot. Selain itu robot yang dirancang dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui *smartphone*.

BAB 2 : Observasi

Tahap observasi dilakukan dengan cara mengumpulkan studi literatur terkait pengendalian robot, dasar teori yang mendukung mengenai pengendalian robot, serta meninjau studi literatur mengenai pengendalian robot. Tabel 2.1. menampilkan kumpulan sumber informasi mengenai usulan perancangan perbaikan sistem yang telah dibuat.

Tabel 2.1. Kumpulan solusi yang berkaitan dengan proyek tugas akhir

Penulis	Usulan Solusi	Hasil / Evaluasi
A. Suryawan, dkk (2021) [2]	Rancang bangun robot pelayanan medis dengan kendali berbasis android	Robot pelayan medis di rancang bangun serta mampu dikendalikan menggunakan <i>smartphone</i> namun belum menunjukkan hasil kestabilan robot, dan masalah konektivitas pengiriman data belum dapat dijelaskan.
A. Ansori dkk (2020) [3]	Desain sistem kendali robot tanpa melalui perantara server dan <i>Access Point</i> sehingga pengguna terhubung secara langsung	Robot yang terkoneksi secara langsung dapat menyelesaikan permasalahan koneksi untuk mengontrol fungsi di dalam robot.
A.Priyambudi, dkk (2018) [4]	Kecepatan motor dengan empat roda omni pada robot dapat dikendalikan dengan baik dengan menggunakan metode PID.	Pengendalian kecepatan motor dan konfigurasi empat roda omni menunjukkan hasil kestabilan yang baik, pengujian kestabilan menunjukkan performa kestabilan robot yang ideal. Namun pada aspek konektivitas tidak dijelaskan secara detail.
M. J. Pamenang, dkk (2020) [5]	Pengendalian kecepatan eksponensial untuk <i>Omnidirectional mobile robot dengan empat rod</i>	Konfigurasi empat roda memiliki titik berat yang seimbang antara sudut dan sumbu. performa pengendalian dapat menunjukkan hasil yang stabil dan robot dapat beroperasi secara ideal, namun tidak dijelaskan secara detail pada aspek konektivitas

Penulis	Usulan Solusi	Hasil / Evaluasi
B. Muthiah, Nirmal, & Sathiendran (2015) [6]	Implementasi robot semi otomatis sebagai alat untuk membersihkan lingkungan yang berbahaya bagi manusia. Dapat dikendalikan jarak jauh menggunakan gelombang radio secara langsung	Hasil perancangan dan performa kestabilan tidak dibahas secara detail, mampu dikendalikan dari jarak jauh, namun dalam komunikasi menggunakan gelombang radio
C. Ariyani (2021) [11]	Rancang bangun pemantau dan kendali robot pembawa nampun obat pasien berbasis <i>internet of things</i>	Konfigurasi empat roda omni, perhitungan <i>center of gravity</i> (COG) pada rancangan dan performa pengendalian menunjukkan robot dapat beroperasi secara stabil. Robot dapat beroperasi secara otomatis namun sangat rumit karena banyaknya informasi umpan balik yang harus diolah

Salah satu upaya yang dilakukan agar robot dapat bergerak stabil yaitu merancang ulang desain *base* robot, agar titik berat pada robot dapat disesuaikan kembali. Permasalahan pada komunikasi antara robot dan pengguna yang masih lambat, sehingga diperlukan perubahan pada metode komunikasi yang digunakan. Berdasarkan penelitian A. Ansori dkk [3], metode komunikasi yang paling stabil digunakan untuk robot tetap stabil adalah metode *peer-to-peer* (p2p). Metode tersebut akan terhubung secara langsung dengan robot sehingga data yang diterima oleh robot dapat diolah secara langsung.

Berdasarkan kajian studi literatur, maka robot yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Robot mampu dikendalikan dari jarak jauh, dengan menggunakan *smartphone*.
2. Robot digunakan untuk melakukan pelayanan rutin yang bersifat tidak mendesak.
3. Robot memiliki kemampuan mendeteksi objek di sekitarnya.
4. Robot mampu bergerak hingga kecepatan maksimal 1,4 m/s.
5. Robot dapat beroperasi selama 2 jam 30 menit dalam satu kali pengisian daya baterai.

BAB 3 : Usulan Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Robot Sebelumnya

Perancangan desain robot sebelumnya mempunyai berbagai macam permasalahan diantaranya:

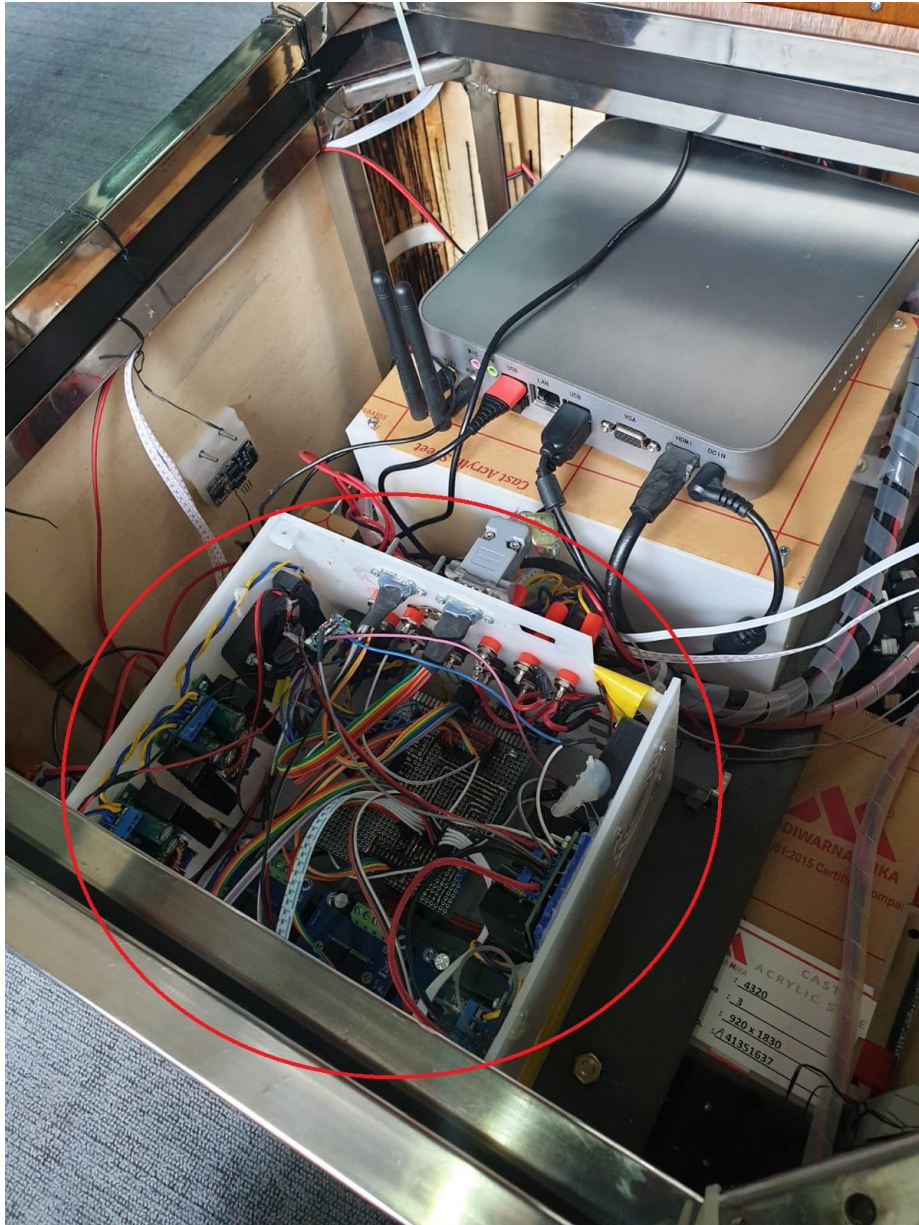
1. Pergerakan robot yang tidak stabil.
2. Respon robot yang lambat.
3. Karakteristik setiap motor berbeda.
4. Sistem elektronis yang sulit untuk diperbaiki.

Permasalahan pergerakan robot dapat dilihat pada link <https://youtu.be/A6htDByvKk>. Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa ketika dalam situasi pengereman, robot mengalami momen inersia kedepan yang menyebabkan robot tidak stabil dan terdorong kedepan.



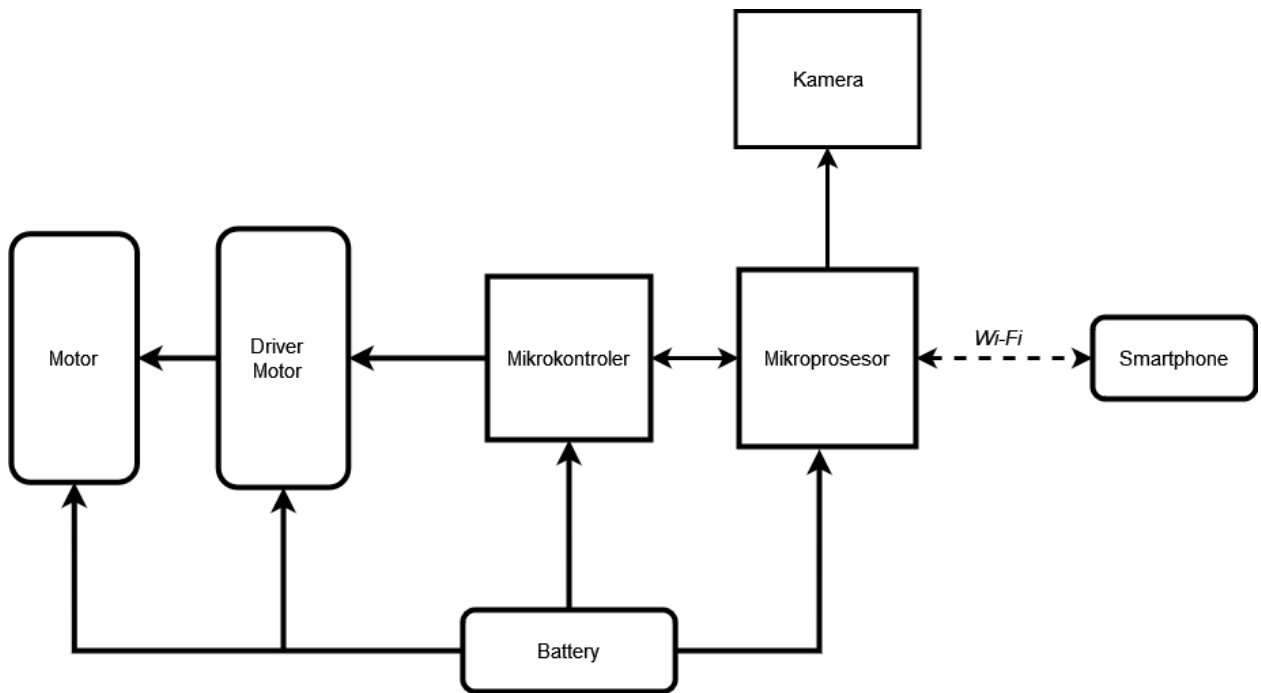
Gambar 3.1 Permasalahan pergerakan robot

Gambar 3.1 menunjukkan situasi pergerakan robot ketika akan berhenti, robot mengalami momen inersia yang besar, sehingga posisinya akan condong ke depan. Selain permasalahan pergerakan robot, sistem elektronis yang digunakan sulit dilakukan perbaikan, sistem elektronis sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Sistem elektronis sebelumnya.

الجمهورية الإسلامية الجزائرية



Gambar 3.3 Diagram blok sistem robot sebelumnya

Pada Gambar 3.3 robot menggunakan diagram blok sistem tersebut. Komunikasi antara pengguna dengan robot menggunakan jaringan lokal/*access point*. Metode komunikasi tersebut membuat robot tidak responsif. Pada pengendalian aktuator masih menggunakan *open loop*, yang tertera pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Desain pengendali sebelumnya

Pada perancangan robot sebelumnya, diperlukan suatu usulan agar robot bergerak lebih stabil, rangkaian sistem elektronis yang mudah untuk diperbaiki, metode komunikasi agar robot responsif pada transfer data, dan pengendalian aktuator menggunakan *close loop* agar setiap aktuator memiliki karakteristik yang sama.

3.2 Usulan Perancangan Perbaikan Sistem

Pada proses memperbaiki sistem robot sebelumnya, standar keteknikan yang digunakan mengacu pada ISO 13849. Adapun syarat yang harus dipenuhi diantaranya tombol darurat, kecepatan yang sesuai dengan lingkungannya, dan stabilitas pengendali. Tahapan perbaikan sistem perancangan dengan menggunakan metode *design thinking*. *Design thinking* merupakan proses siklus ulang yang mempunyai tahapan mencoba memahami permasalahan yang ada, mendefinisikan permasalahan sekitar agar dapat menentukan strategi dan solusi alternatif.

Metode *design thinking* memberikan pendekatan berbasis solusi agar dapat memecahkan masalah yang terbagi menjadi 3 tahapan yaitu *understanding*, *exploration*, dan *materialize*. Selain 3 tahapan tersebut *design thinking* terdapat 6 tahapan proses diantaranya *empathize*, *define*, *idea*, *prototype*, *test* dan *implement*. Pada tahapan proses yang akan dilakukan dapat terjadinya perubahan sebagai upaya untuk menentukan sistem yang sesuai dengan kebutuhan. Pada Gambar 3.5 merupakan alur proses *design thinking*.

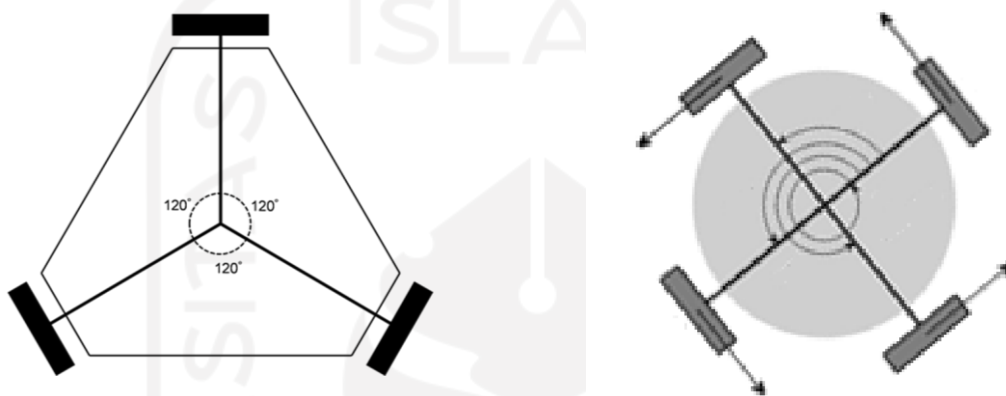


Gambar 3.5 Konsep *Design Thinking*

Pada tahap awal yaitu *understand*, terdapat beberapa masalah antara lain: pergerakan robot yang tidak stabil, respon robot yang lambat, karakteristik setiap motor berbeda, dan rangkaian elektrik yang sulit untuk diperbaiki. Pada tahap *exploration* usulan solusi perbaikan sistem yang penulis tawarkan terdapat 2 usulan solusi. Usulan solusi pertama menggunakan arduino *due*, *mini pc*, dan metode komunikasi menggunakan *access point*. Usulan solusi kedua menggunakan mikrokontroler STM32, Esp32 Cam, dan metode komunikasi menggunakan *peer-to-peer*. Usulan solusi yang akan diimplementasikan yaitu usulan solusi kedua karena mikrokontroler STM32 memiliki clock speed yang tercepat serta jumlah pin lebih banyak. Dalam pembuatan desain sistem yang perlu dipertimbangkan diantaranya: *Software architecture* yang diperlukan dengan fitur untuk membangkitkan sinyal pulsa/PWM, *Interrupt*, ADC (*Analog Digital Converter*), *I2C*, dan *USART/UART*. Mikrokontroler Esp32 Cam memiliki modul wifi yang telah terintegrasi sehingga memungkinkan untuk melakukan koneksi *peer-to-peer*,

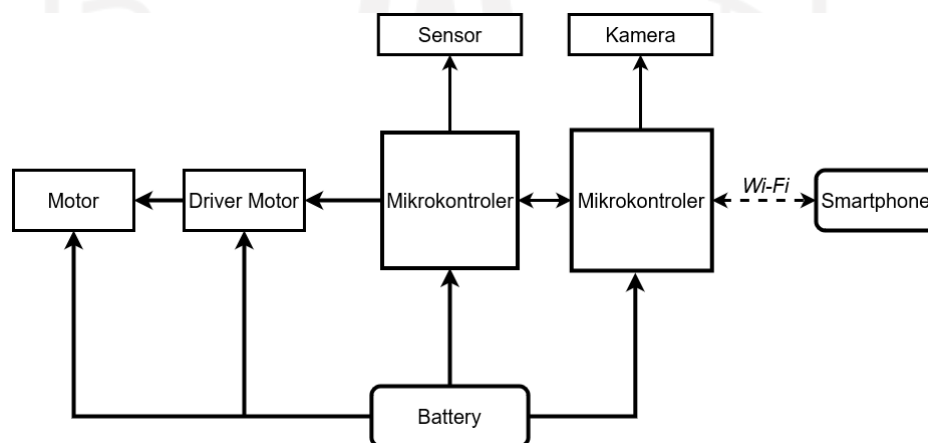
Selain dari *Software architecture* komponen elektronik yang diperlukan oleh robot diantaranya yaitu: komponen yang dapat menurunkan tegangan, menyimpan energi listrik, dapat menerjemahkan sinyal *pwm*, membaca medan magnet, mengubah pantulan gelombang

ultrasonik yang dapat diubah menjadi satuan jarak, dan membaca perubahan posisi. dengan menggunakan usulan solusi kedua diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Pada perbaikan mekanik diperlukan perubahan *base* desain dari konfigurasi Y menjadi X seperti Gambar. Tahap *materialize* yaitu implementasi sistem, pengujian sistem, dan analisis sistem. Tahapan-tahapan tersebut seperti pada siklus yang ada didalamnya dapat terjadi perubahan, perbaikan, maupun penambahan yang bertujuan untuk memperbaiki sistem yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 3.6 (a) Konfigurasi base Y, (b) Konfigurasi base X

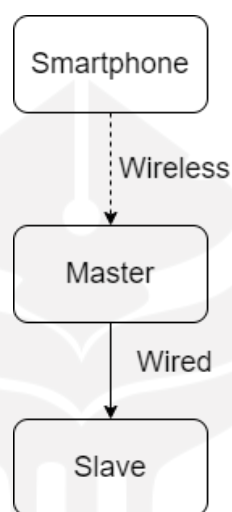
Selain usulan perubahan *base* desain, adapun perancangan perbaikan blok sistem dan metode komunikasi yang akan diimplementasikan pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Diagram blok sistem

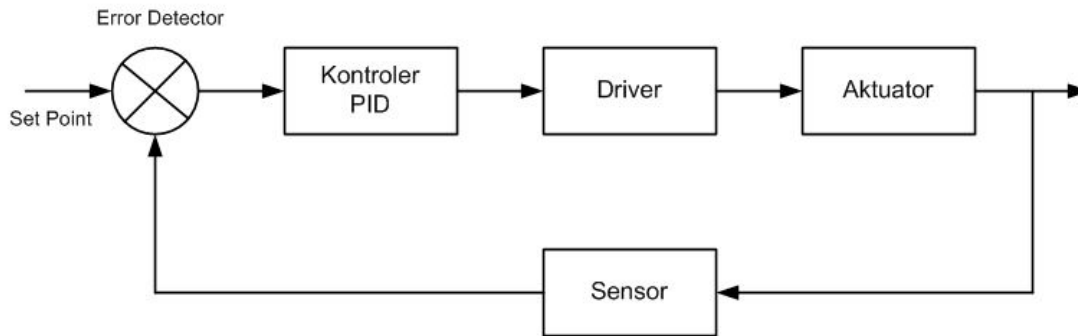
Gambar 3.7 sistem yang akan diimplementasikan menggunakan sensor ultrasonik tipe HC-SR04. Sensor tersebut mempunyai *range* pembacaan 3-400 cm dengan pengukuran akurasi

sebesar 0,3 mm. Pada motor yang digunakan yaitu motor DC PG45 (*Planetary Gear*) motor tersebut dipilih dikarenakan menyamakan seperti motor yang ada pada sebelumnya. *Driver motor* yang digunakan yaitu menggunakan IC BTN7970 yang telah dirangkai lebih kecil dari produk pasar yang ada. Mikrokontroler yang berfungsi sebagai *master* adalah STM32. karena mempunyai *clock speed* yang tinggi, dan jumlah *pin out* yang banyak, untuk mikrokontroler *slave* yaitu menggunakan Esp32 Cam, karena tipe mikrokontroler tersebut dapat mengakses kamera sekaligus dapat terhubung dengan jaringan *Wi-Fi*. Baterai yang digunakan yaitu *Lithium 6s*. Penulis menentukan komponen yang digunakan berdasarkan *datasheet* setiap komponen dan komponen yang digunakan pada rancangan sebelumnya.



Gambar 3.8 Metode komunikasi *peer-to-peer*

Metode komunikasi antara robot dengan pengguna yaitu, menggunakan komunikasi *peer-to-peer*. *Peer-to-peer* merupakan suatu metode komunikasi dua arah antar pengguna komputer melalui jaringan komputer tanpa melalui sebuah server. Dengan menggunakan metode komunikasi tersebut diharapkan robot dapat bergerak lebih stabil.



Gambar 3.9 Blok diagram pengendali *closed loop*

Sistem pengendalian yang digunakan pada usulan yaitu pengendali *closed loop*. Pada Gambar 3.9 perbedaan antara keluaran dengan *setpoint* akan dikembalikan ke pengendali sehingga menghasilkan keluaran yang terkoreksi. Kontroler diproses pada mikrokontroler sedangkan sensor yang digunakan untuk umpan balik/*feedback* yaitu *rotary encoder*. Keluaran dari mikrokontroler menjadi masukan untuk penggerak driver motor, dimana kecepatan keluaran dari motor akan dideteksi oleh sensor rotary encoder. Setelah itu akan terjadi pengulangan proses, sampai kecepatan memenuhi nilai set point. Sistem *closed loop* ini akan mengurangi kesalahan dari sistem sehingga robot dapat bergerak dengan lebih stabil.

Pengendalian aktuator menggunakan metode pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*). Metode PID merupakan suatu pengendali yang dapat memperbaiki tingkat akurasi dari suatu sistem *plant*, yang mempunyai karakteristik umpan balik/*feedback* pada sistem tersebut. Pengendalian PID mempunyai tiga komponen utama diantaranya *propotional*, *integral*, dan *derivative*. Tiga komponen tersebut dapat digunakan secara bersamaan maupun terpisah, tergantung kebutuhan sistem yang diinginkan. Persamaan pengendali PID ditunjukkan pada persamaan (3.1).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

Dimana:

K_p = Konstanta *propotional*

K_i = Konstanta *integral*

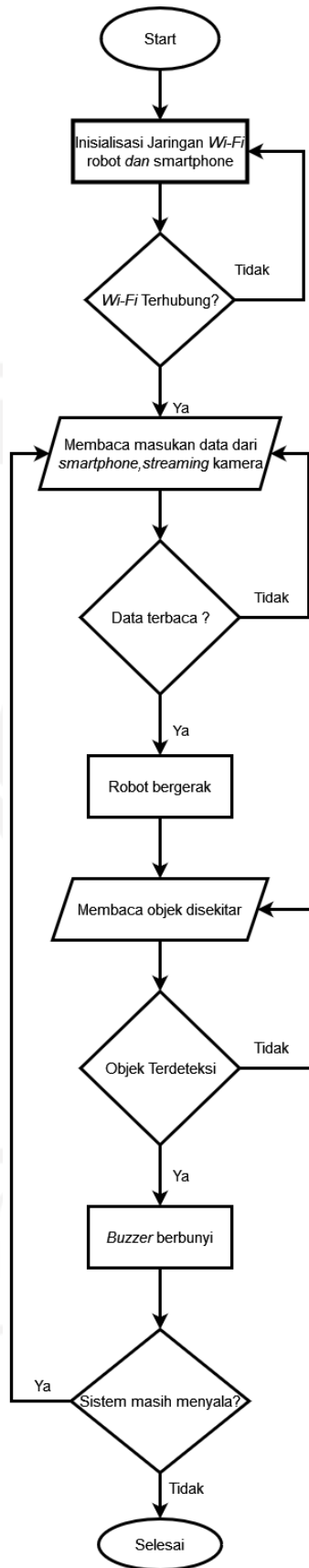
K_d = Konstanta *derivative*

$e(t)$ = Nilai *error*

Dengan menggunakan persamaan (3.1) tiga komponen utama mempunyai kelebihan dibandingkan dengan masing-masing komponen pengontrol, setiap komponen akan saling melengkapi satu sama lainnya.

Perancangan perbaikan sistem robot dapat dikendalikan jarak jauh, agar dapat membantu pelayanan rutin dan mengurangi kontak fisik antara petugas kesehatan dengan pasien *Covid-19*. Pelayan rutin tersebut seperti pengiriman makanan, obat, dan alat kesehatan yang dapat digunakan secara mandiri oleh pasien. Secara umum, alur kerja robot saat melakukan tugas pengiriman makanan, obat atau alat kesehatan dapat dilihat pada Gambar 3.10.








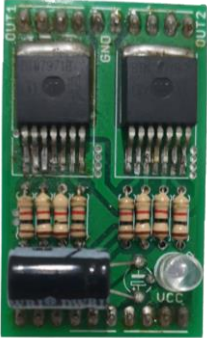


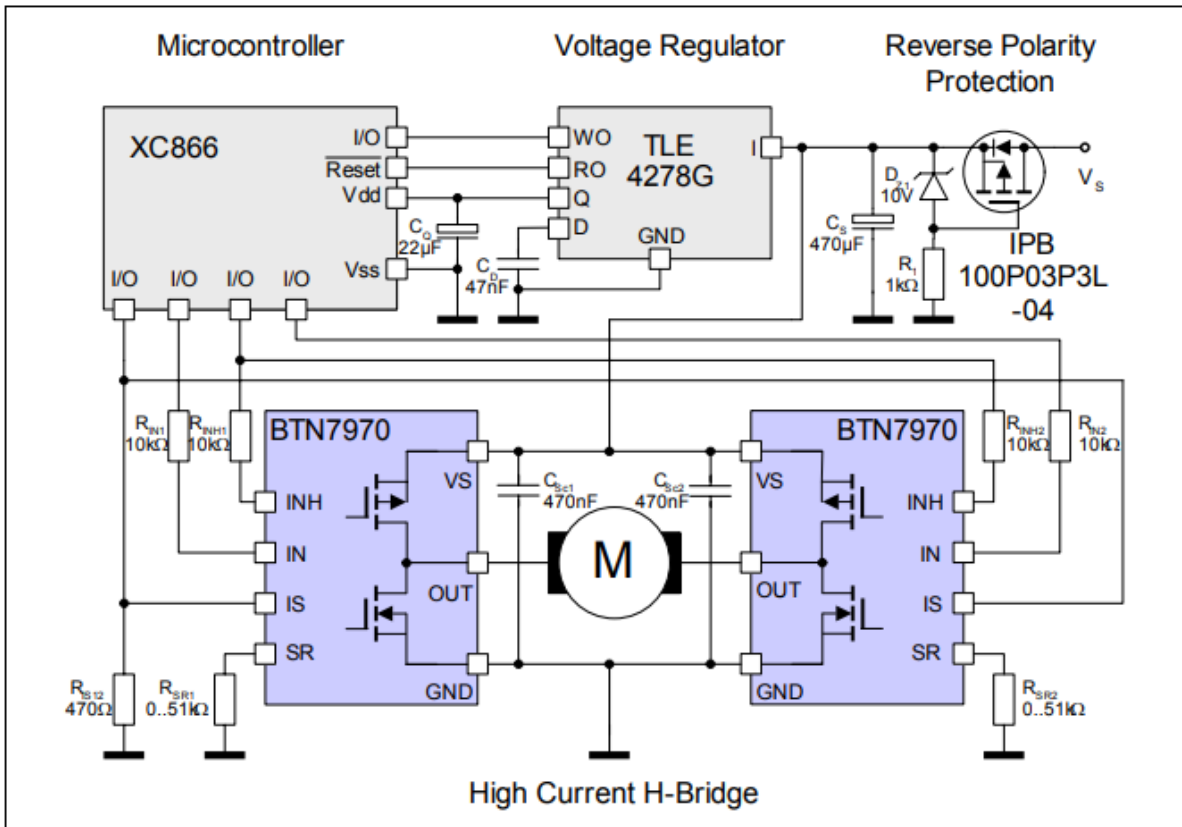
Gambar 3.10 Alur kerja robot

Berdasarkan Gambar 3.10 dapat diamati bahwa ketika *Wi-Fi* robot dan *smartphone* telah terhubung maka, robot dapat bergerak sesuai dengan masukan dari *smartphone* dan robot dapat menampilkan *steaming* kamera. Ketika data tidak terbaca oleh robot maka robot tidak akan bergerak/diam. Selain itu apabila terdapat objek disekitar robot, maka robot akan membunyikan klakson secara otomatis. Agar dapat memenuhi rancangan sistem seperti spesifikasi yang telah dijelaskan di bab 2, maka diperlukan inventaris perangkat keras. Inventaris yang diperlukan dalam perancangan robot beserta alasan pemilihan komponen dijelaskan pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1. Inventarisasi perangkat keras

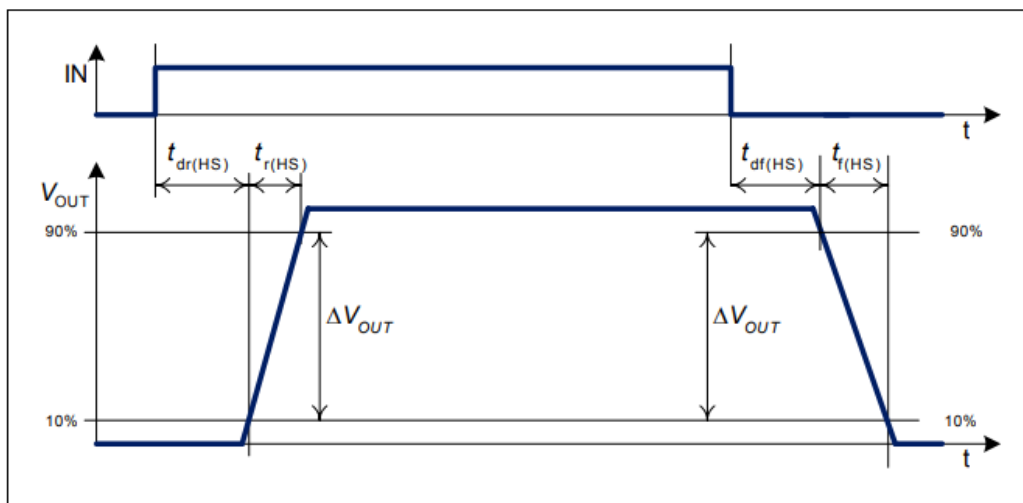
No	Nama Alat	Keterangan
1	Esp32 Cam 	Mikrokontroler yang dapat digunakan sebagai akses kamera, Digunakan untuk melihat jalanan dan objek yang di depan robot, serta penerima komunikasi jaringan <i>peer-to-peer</i> dengan <i>smartphone</i> serta sebagai <i>wireless access point</i> (WAP). Meneruskan perintah ke mikrokontroler. Alasan pemilihan komponen ini karena memiliki module camera, module wifi serta fungsi sebagai mikrokontroler yang ada pada satu buah board.
2	Mikrokontroler STM32 	Mikrokontroler yang digunakan dapat mengontrol pengoperasian, sensor-sensor dan sistem pada robot, menjalankan serial komunikasi dengan Esp32Cam, mengirim dan menerima data serial dari Esp32Cam. Pemilihan mikrokontroler ini karena performa pemrosesan data, jumlah pin digital yang tersedia serta responnya terhadap sinyal masukan dan keluaran menjadi yang tercepat dari mikrokontroler lain seperti arduino board.
3	Baterai 	Baterai tipe Li-ion cell dengan tegangan kerja 24 V dan kapasitas 1000mAh. Baterai ini dapat bertahan dalam jangka waktu 2 jam 30 menit dalam satu kali pengisian. Pemilihan baterai jenis ini karena memiliki kapasitas baterai dapat lebih besar dari jenis lainnya, serta ketahanan dan kestabilan baterai memberikan daya lebih baik dari jenis lainnya.

No	Nama Alat	Keterangan
4	Sensor HC-SR04 	Sensor yang digunakan adalah sensor ultrasonik yang dapat mendeteksi jarak yang dilengkapi dengan pemancar dan penerima pada satu modul. Penggunaan sensor ini karena memiliki nilai ekonomis yang lebih baik dengan harganya yang relatif lebih murah. Dan sensor ini sudah bisa memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.
5	Motor DC 	Motor DC digunakan sebagai penggerak robot. Pemilihan motor DC jenis ini karena Motor DC dengan seri PG45 dapat menjalankan kapasitas torsi maksimal 15 kgf. cm, dengan tegangan kerja 24VDC dan arus 2,5A sampai 5A. Spesifikasi tersebut dapat menunjang performa robot dalam bergerak
6	Driver Motor 	Digunakan untuk mengontrol motor DC, mengatur tegangan dan arus yang akan masuk ke motor dan mengubah arah putaran dari motor. Pemilihan driver motor dengan IC BTN7970 ini karena memiliki kemampuan untuk mengontrol pergerakan motor DC, mengubah arah putar dan memiliki tegangan kerja yang lebih tinggi dari seri IC BTS7960 pada sistem sebelumnya. Sehingga modul ini tidak memerlukan modul step down untuk menurunkan tegangan. Bentuknya yang lebih kecil dari driver sebelumnya juga dapat menghemat tempat sehingga penempatannya lebih mudah dan rangkaian terlihat lebih ringkas. Driver motor ini menggunakan prinsip rangkain H-Bridge untuk mengubah arah putarannya



Gambar 3.11 Rangkaian H-Bridge

Gambar 3.11 rangkaian H-bridge merupakan rangkaian yang dapat mengatur tegangan pada outputnya dengan acuan nilai input sinyal pulsa yang diberikan. Rangkaian ini umumnya digunakan untuk mengatur arah dan kecepatan putar motor DC. Berikut karakteristik sinyal yang digunakan untuk mengaktifkan driver motor Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Karakteristik sinyal untuk *driver* motor

Karakteristik sinyal yang diproses driver motor yaitu input berupa sinyal PWM, Semakin besar input sinyal/*Duty cycle* maka semakin besar tegangan keluaran driver motor. Pada Gambar 3.12 dapat diketahui bahwa driver motor memiliki jeda waktu $t_{dr}(HS)$ dan $t_{fr}(HS)$ sebelum mencapai *rise-time* $t_r(HS)$ dan pada saat sebelum *fall-time* $t_f(HS)$.

3.3 Metode Uji Coba dan Pengujian Usulan Rancangan Sistem

Pada tahap uji coba sistem yang akan digunakan

1. Metode Pengujian sistem.

Metode yang digunakan pada uji coba dan pengujian rancangan sistem yang telah diusulkan sebagai berikut:

- a. Dalam pengujian sistem yang telah dirancang, akan diuji apakah sistem sudah sesuai spesifikasi yang telah ditentukan dan dapat bergerak dengan baik.
- b. Pengujian sistem dapat berjalan dengan baik dengan menggunakan parameter pengukuran berupa tegangan dan arus yang digunakan ketika robot beroperasi, pada pengujian ini dilakukan dengan beberapa variabel, diantaranya pengujian kecepatan maksimum, deteksi objek disekitar robot, karakteristik setiap motor, tegangan dan arus yang digunakan pada motor, dan seberapa lama robot dapat beroperasi.

2. Tahap persiapan pengujian:

Sebelum dilakukannya pengujian agar dapat mengetahui, performa robot ketika beroperasi, yaitu mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Melakukan pengisian baterai hingga penuh sebelum digunakan.
- b. Melakukan pengecekan ulang tegangan pada baterai, jika sudah sesuai maka, siap digunakan.
- c. Melakukan pengecekan konektivitas antara robot dan *smartphone*.

3. Indikator keberhasilan:

- a. Robot dapat mendeteksi objek dengan jangkauan 30 cm.
- b. Baterai mampu beroperasi selama 2 jam 30 menit dalam satu kali pengisian.
- c. Kecepatan maksimal robot 1,4 m/s dengan mengukur jarak dan waktu tempuh.
- d. Robot dapat terkoneksi dengan *smartphone* melalui jaringan *Wi-Fi*, serta dapat mengirim dan menerima data.

BAB 4 : Hasil Perancangan Sistem

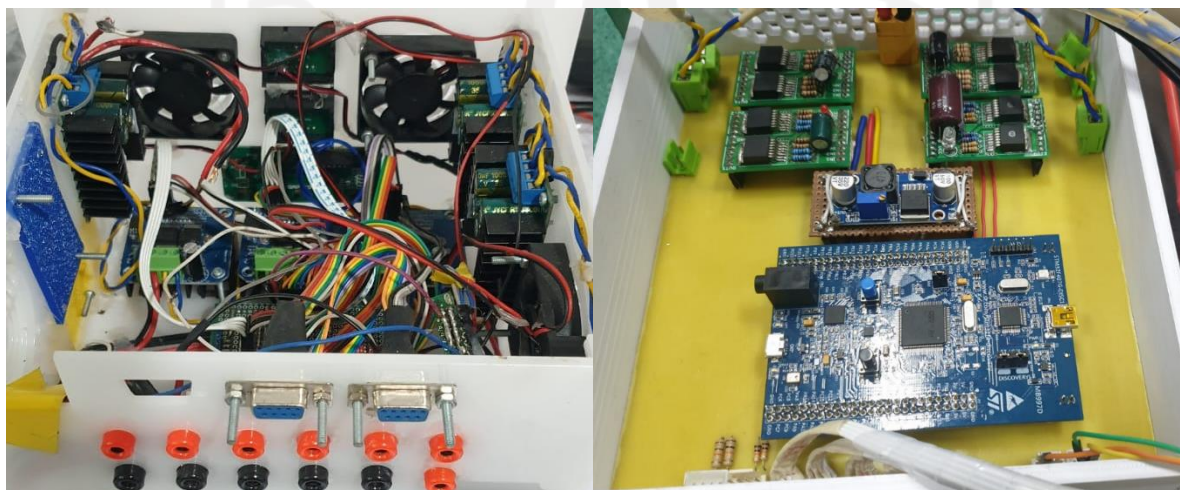
4.1 Kesesuaian Usulan dan Hasil Perancangan Perbaikan Sistem

Pada Tugas Akhir 1 telah ditentukan seluruh rencana usulan perancangan dan spesifikasi perbaikan sistem yang akan direalisasikan tetapi, pada proses realisasinya terdapat perubahan. Hal ini dikarenakan agar sistem menjadi lebih baik dari sebelumnya. Tabel 4.1 menampilkan perbandingan rencana, usulan, dan realisasi.

Tabel 4.1 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

No	Spesifikasi	Sebelumnya	Usulan	Realisasi
1	Dimensi Case	250x200x70 mm	200x170x50 mm	200x170x50 mm
2	Ukuran PCB	-	186.43x16x8.84 mm	186.43x16x8.84 mm
3	Jumlah Motor yang digunakan	3	4	4
4	Komunikasi Jaringan	<i>Access point</i>	<i>Peer to peer</i>	<i>Peer to peer</i>
5	Mikrokontroler	Arduino Due	STM 32	STM 32
6	Kamera	Webcam	Esp32 Cam	Esp32 Cam
7	Kecepatan	-	1.4 m/s	1.4 m/s

Rangkaian elektronik dirancang lebih mudah di pahami dan diperbaiki ketika terjadi kerusakan. Selain itu rangkaian terlihat lebih ringkas dan komponen yang digunakan lebih sedikit dibanding desain sebelumnya Gambar 4.1(a). Hasil rancangan desain elektronik terbaru dilihat pada Gambar 4.1(b).

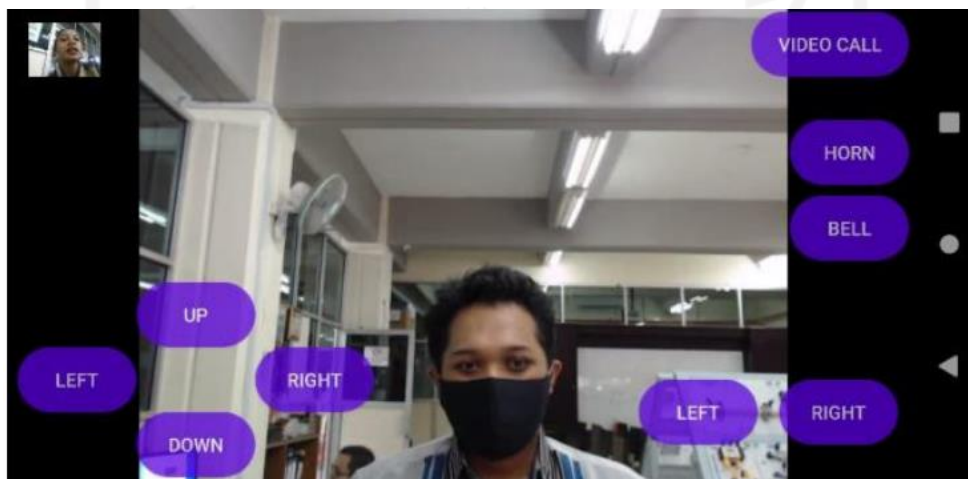


(a)

(b)

Gambar 4.1 Perbandingan sistem elektronik (a) sistem elektronik sebelumnya (b) sistem elektronik terbaru

Tampilan aplikasi *android* dilakukan beberapa perbaikan, fungsi pergerakan robot sebelumnya menggunakan tombol Gambar 4.2 (a), pada desain aplikasi terbaru tombol tersebut digantikan dengan menggunakan *virtual analog* agar lebih memudahkan pengguna dalam menjalankan robot seperti pada Gambar 4.2 (b). Terdapat beberapa penambahan fitur seperti tombol *setting* untuk memudahkan pengguna dalam mengubah sambungan jaringan dan mengubah kecepatan motor. Terdapat juga menekan tombol agar robot dapat bergeser, tombol tersebut terletak di sebelah kanan pada tampilan. Ukuran kamera yang ditampilkan pada aplikasi juga lebih besar dan memenuhi tampilan sebagai background. Resolusi kamera yang ditampilkan yaitu Ukuran 1622×1200 px, resolusi ini lebih tinggi dari resolusi kamera sebelumnya yaitu 1280×720 px.

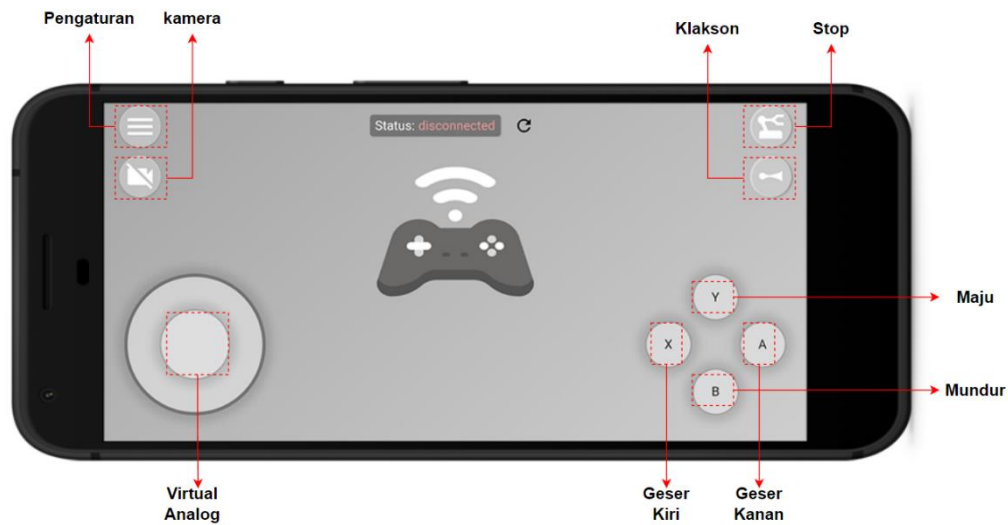


(a)



(b)

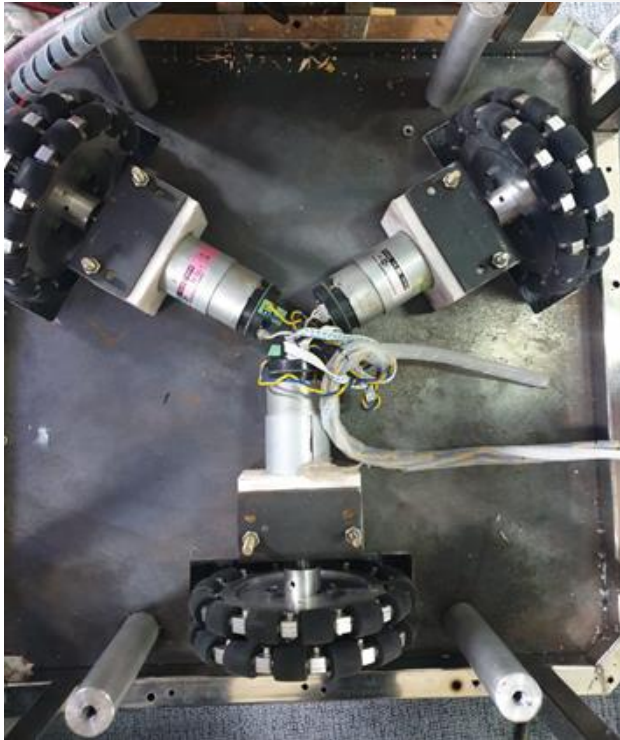
Gambar 4.2 (a) Tampilan layout aplikasi sebelumnya. (b) Tampilan layout aplikasi terbaru



Gambar 4.3 *Layout* fungsi tombol

Gambar 4.3 merupakan fungsi dari setiap tombol yang ada pada aplikasi *TROBOS*. Fungsi tombol tersebut dapat diprogram ulang berdasarkan kebutuhan pengguna. Aplikasi *TROBOS* dapat didownload pada *QR Code* yang ada pada lampiran 3.

Desain base robot setelah dilakukan perubahan dari konfigurasi Y seperti pada Gambar 4.4 (a) diubah menjadi konfigurasi X pada Gambar 4.4 (b) hal ini jelas mempengaruhi kestabilan robot dan sistem pengendalian robot sehingga diperlukan perancangan sistem elektronis baru. Desain struktur robot termasuk desain base robot menjadi batasan *engineering aspect*, Dikarenakan pengaruhnya terhadap performa pengendalian robot cukup besar. Maka, diperlukan analisis pengaruh perubahan tersebut. Berdasarkan hasil pengamatan setelah dilakukan realisasi alat, dapat disimpulkan bahwa perubahan konfigurasi tersebut dapat meningkatkan performa kestabilan robot, karena dengan penambahan satu buah roda mengakibatkan beban tiap roda menjadi lebih merata serta titik berat robot menjadi lebih seimbang.

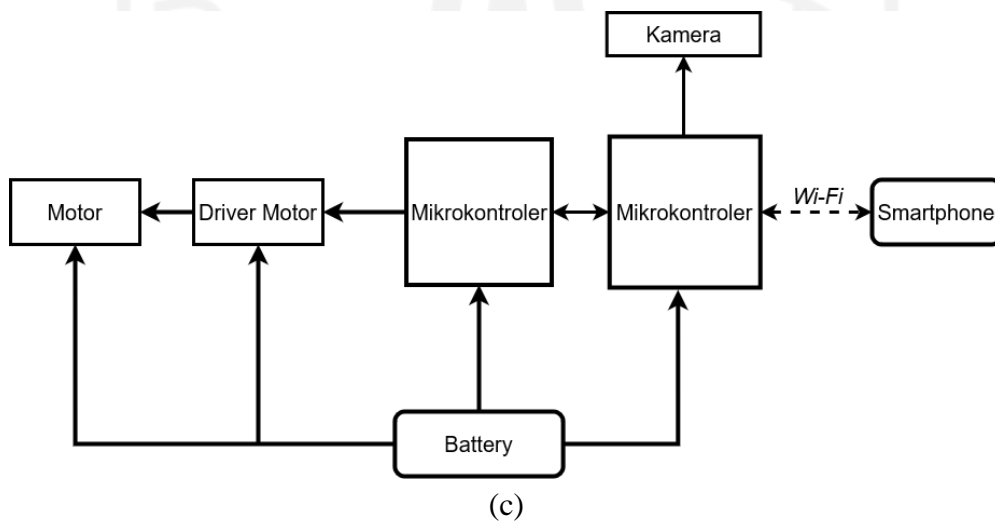
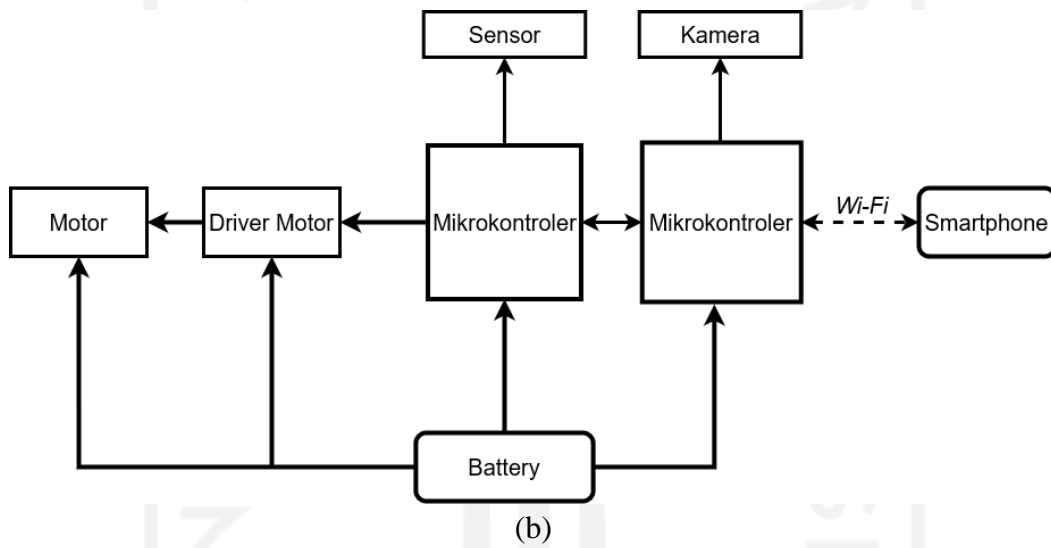
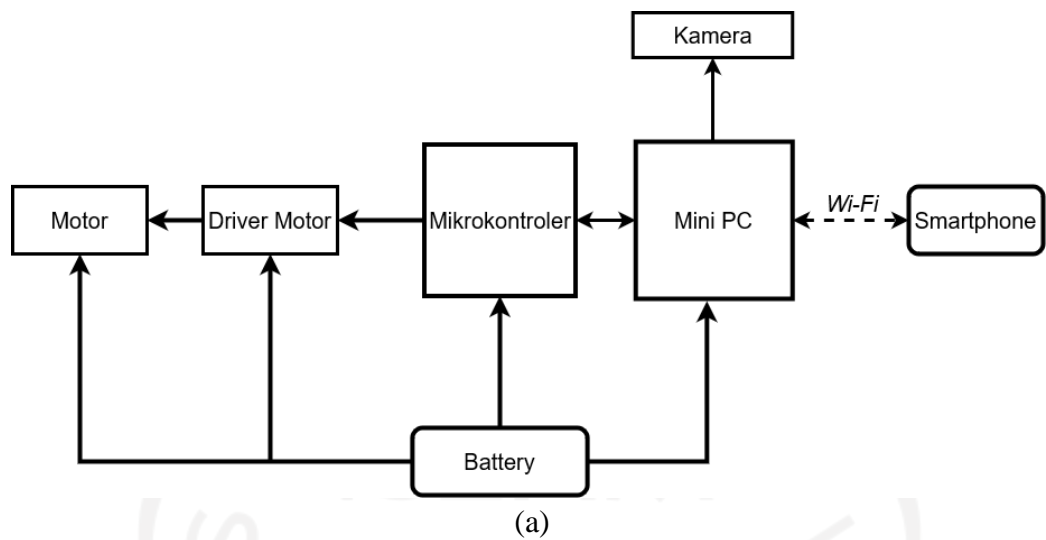


(a)



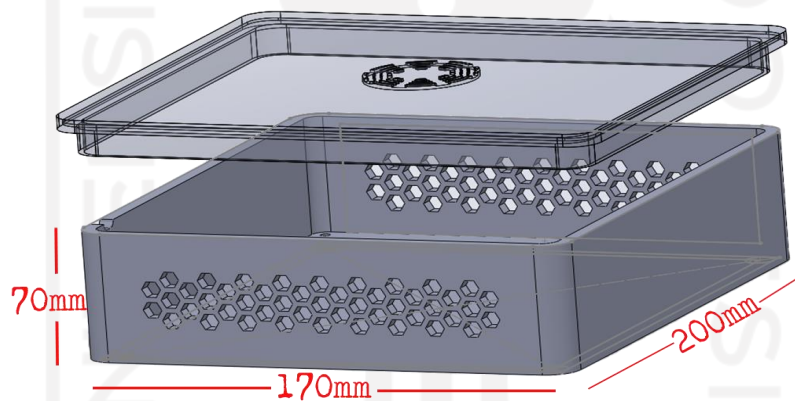
(b)

Gambar 4.4 Desain *base* (a) Konfigurasi Y (b) konfigurasi X



Gambar 4.4 Desain Blok Sistem (a) Perancangan sebelumnya (b) Usulan perancangan perbaikan (c) Realisasi perancangan terbaru

Gambar 4.4(a) menampilkan sistem pada robot yang digunakan sebelumnya, pada mikroprosesor berfungsi untuk melakukan komputasi data yang diterima dan mikrokontroler digunakan untuk pengendalian aktuator. Gambar 4.4 (b) perancangan sistem yang akan diimplementasikan yaitu mikrokontroler terbagi menjadi 2, berfungsi sebagai *master*, dan *slave*. Mikrokontroler *master* berfungsi untuk mengirimkan data yang dikirim oleh *smartphone*, sedangkan mikrokontroler *slave* berfungsi untuk menerima data yang dikirim oleh mikrokontroler *master*, dikirimkan dengan cara komunikasi serial. Mikrokontroler *slave* mempunyai fungsi lain yaitu untuk mengolah data sensor ultrasonik agar robot dapat mengetahui objek di sekitarnya, dan mengendalikan aktuator. Gambar 4.4 (c) realisasi perancangan sistem pada robot, terdapat perbedaan pada pengolahan data sensor ultrasonik, hal ini dikarenakan cara kerja sensor tersebut memerlukan timbal balik, sehingga robot kurang responsif.

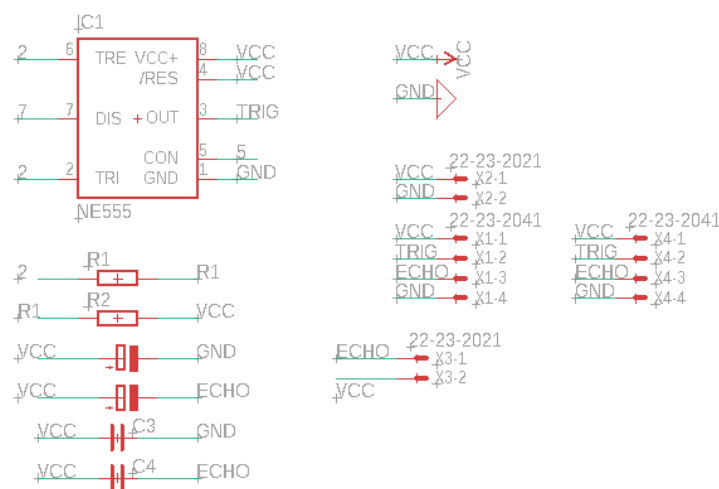


Gambar 4.5 3D Desain case



Gambar 4.6 Hasil 3D Printing

Tempat penyimpanan rangkaian elektronik utama didesain menggunakan aplikasi solidwork. Tampilan desain tersebut seperti pada Gambar 4.5 desain *case* untuk rangkaian elektronik memiliki dimensi 200×170×70mm. Berfungsi sebagai tempat untuk penyimpanan rangkaian seperti mikrokontroler dan komponen elektronika lainnya. *case* ini dilengkapi dengan lubang udara dibagian atas dan satu buah kipas berukuran diameter 4cm untuk mendinginkan suhu didalam *case*, dan dilengkapi juga dengan lubang udara di kedua sisi *case* sebagai aliran udara keluar. Desain tersebut kemudian di print menggunakan 3D printer dengan filamen berwarna putih dan berbahan PLA seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7. Rangkaian Timer NE555

Rangkaian pada Gambar 4.7 digunakan sebagai timer (pewaktu) dan dirancang untuk dapat menjalankan fungsi dari ultrasonic dalam mendeteksi objek. Rangkaian ini menggunakan tegangan 5V, rangkaian ini juga dapat mengubah kecepatan waktu *on/off* pada bagian threshold, mengubah jarak jangkauan sensor ultrasonic dan memberikan perintah objek terdeteksi pada bagian *trigger*.

4.2 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pada proses pengerjaan usulan perancangan sistem terdapat perubahan pada *timeline* dan RAB, yang disebabkan adanya perubahan desain dan komponen elektronis yang digunakan, agar sistem sesuai dengan spesifikasi yang telah diusulkan. *Timeline* dan RAB dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan Tugas Akhir 2

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian sensor dan komponen	Maret	Maret
2	Desain PCB Penggerak Bawah	Maret	April
3	Desain cover base bawah	April	April
4	Desain PCB Esp32Cam	Maret	Maret
5	Akses Sensor Ultrasonik	Maret	Maret
6	Kalibrasi sensor Ultrasonik	Maret	Maret
7	Akses Motor DC	Maret	April
8	Soldering PCB Penggerak Bawah	Maret	April
9	Soldering PCB Esp32Cam	Maret	Maret
10	PID motor DC	Maret	April-mei
11	Komunikasi Serial	April	Mei
12	Aplikasi Pengendali Robot	April	April
13	Pengkabelan dan testing komponen	April	April
14	Laporan TA2	Juni	Juni-Juli

Tabel 4.3 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
1	Esp32Cam	1 pcs	Rp. 187.100,-	4 pcs	Rp. 300.000,-
2	STM32F407VG	1 pcs	Rp. 570.000, -	1 pcs	Rp. 1.100.000,-
3	Kabel	10 Meter	Rp. 200.000, -	10 Meter	Rp. 200.000, -
4	Step Down Converter	6 pcs	Rp. 300.000,-	4 Pcs	Rp.200.000,-
5	Cetak PCB	1 pcs	Rp.150.000,-	3 pcs	Rp.200.000,-
6	USB TTL	2 pcs	Rp 50.000,-	1 pcs	Rp 25.000,-
7	Flux	-	-	1 pcs	Rp 16.000,-
8	Socket	100 pcs	Rp 150.000,-	100 pcs	Rp 150.000,-
9	Ic NE55	-	-	5	Rp 6.500,-
10	Trimpot	-	-	10	Rp 10.000.-
11	Resistor 2k2	-	-	10	Rp 2.000,-
12	Resistor 1k	-	-	10	Rp 2.000,-
13	Rotary Encoder	2 pcs	Rp. 600.000, -	-	-
14	Sensor Accelerometer	2 pcs	Rp 44.000,-	-	-

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga
15	Sensor Hc-SR04	4 pcs	Rp. 100.000, -	Rp. 100.000, -	Rp. 100.000, -
	Total		Rp 2.251.000,-		Rp 2.311.500,-

4.3 Analisis dan Pembahasan Kesesuaian antara Perencanaan dan Realisasi

Kesesuaian antara perencanaan dan realisasi alat yang telah dirancang, dilihat dari segi pembuatan secara umum telah sesuai dengan desain usulan utama dan alternatif yang telah dicantumkan pada usulan seperti pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3. Berdasarkan spesifikasi yang diusulkan dengan spesifikasi yang telah dicapai mampu memenuhi semua spesifikasi yang diusulkan, hanya terdapat perubahan implementasi pada sensor. Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline*, Awalnya dirancang tanpa memperhitungkan jadwal libur nasional, jadwal laboratorium, dan pemesanan komponen sehingga terjadi sedikit pergeseran waktu dari yang telah ditetapkan, namun implementasi tersebut masih sesuai dengan jadwal tugas akhir. Persentase kesesuaian antara perencanaan dengan realisasi alat yaitu sebesar 95%, Dan persentase kesesuaian antara perencanaan dan realisasi *timeline* sebesar 90%, nilai tersebut didapat karena terdapat pergeseran waktu penyelesaian di akhir *timeline* penyelesaian tugas akhir realisasi dan perencanaan, meliputi kesesuaian antara usulan dan hasil akhir atau implementasinya. Pergeseran tersebut dikarenakan proses pengendalian motor, komunikasi serial dan penyelesaian laporan yang memerlukan waktu yang lebih banyak dari waktu yang diusulkan. Maka dari itu hal tersebut yang mengakibatkan pergeseran dari waktu yang diusulkan sebelumnya. Kesesuaian RAB Tugas akhir antara usulan dan realisasi secara keseluruhan biaya perubahannya tidak terlalu jauh jika dilihat dari jumlah total pengeluaran, walaupun memang pada realisasinya jumlah tiap komponen dan usulan komponen tidak akan sama dengan usulan biaya. Persentase kesesuaian antara perencanaan dan realisasi RAB yaitu 90%. Sehingga secara keseluruhan persentase penyelesaian tugas akhir ini yaitu 90%.

Persentase kesesuaian antara perencanaan dengan realisasi alat mengacu pada spesifikasi semuanya dapat terpenuhi. tetapi terdapat beberapa perubahan implementasi pada sensor ultrasonik yang tidak dapat digabung pada mikrokontroler. karena penggabungan tersebut membuat respon mikrokontroler terhadap perintah menjadi terganggu disebabkan adanya proses pembacaan sensor ultrasonik yang memerlukan waktu untuk mengirim dan menerima data dari sensor. Hal ini diketahui setelah melakukan pengujian dengan menggabungkan pemrosesan sensor dengan pemrosesan utama. Maka dari itu, diberikan usulan

agar proses pembacaan sensor dilakukan terpisah dengan mikrokontroler utama. sistem elektronik menggunakan IC NE 555 sebagai pewaktu dan beberapa komponen lainnya pada rangkaian sensor yang dibahas pada Gambar 4.7 rangkaian ini dibuat agar ultrasonik dapat mendeteksi objek di sekitar jangkauan areanya. Dengan rangkain ini sensor ultrasonik dapat berfungsi tanpa mempengaruhi respon dan proses pada mikrokontroler utama

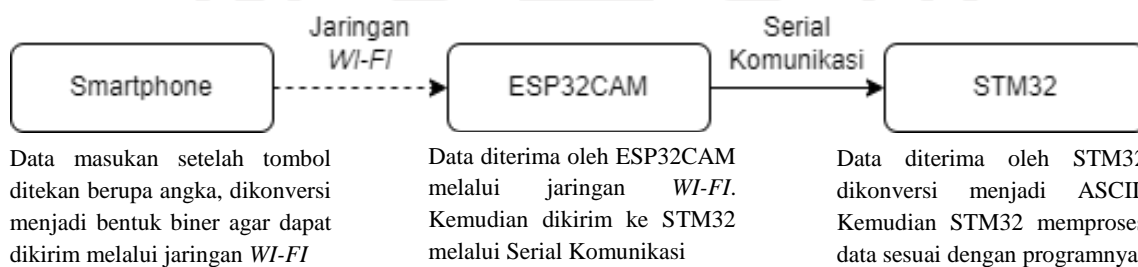


BAB 5 : Implementasi Sistem dan Analisis

5.1 Hasil dan Analisis Implementasi

Sistem pengendali yang terbaru menggunakan metode yang berbeda dengan sistem pengendali sebelumnya. Rancangan terbaru tidak memerlukan *access point* dan mikroprosesor karena menggunakan metode *peer-to-peer*(p2p). Metode p2p memberikan performa pengiriman data yang lebih cepat dibandingkan sebelumnya.

Hasil dari rancangan robot dengan menggunakan metode komunikasi *peer-to-peer* (p2p) memiliki proses komunikasi yang tercepat karena dilakukan secara langsung tanpa perantara *access point*. Sehingga pengguna dapat terhubung pada jaringan yang sama dengan robot secara langsung tanpa adanya kontrol terpusat atau yang berposisi sebagai *access point*. Implementasi metode tersebut membuat robot mampu menunjukkan respon yang lebih cepat dari desain terdahulu. Proses pengiriman data dari *smartphone* sampai diterima oleh mikrokontroler dapat dilihat pada diagram Gambar 5.1

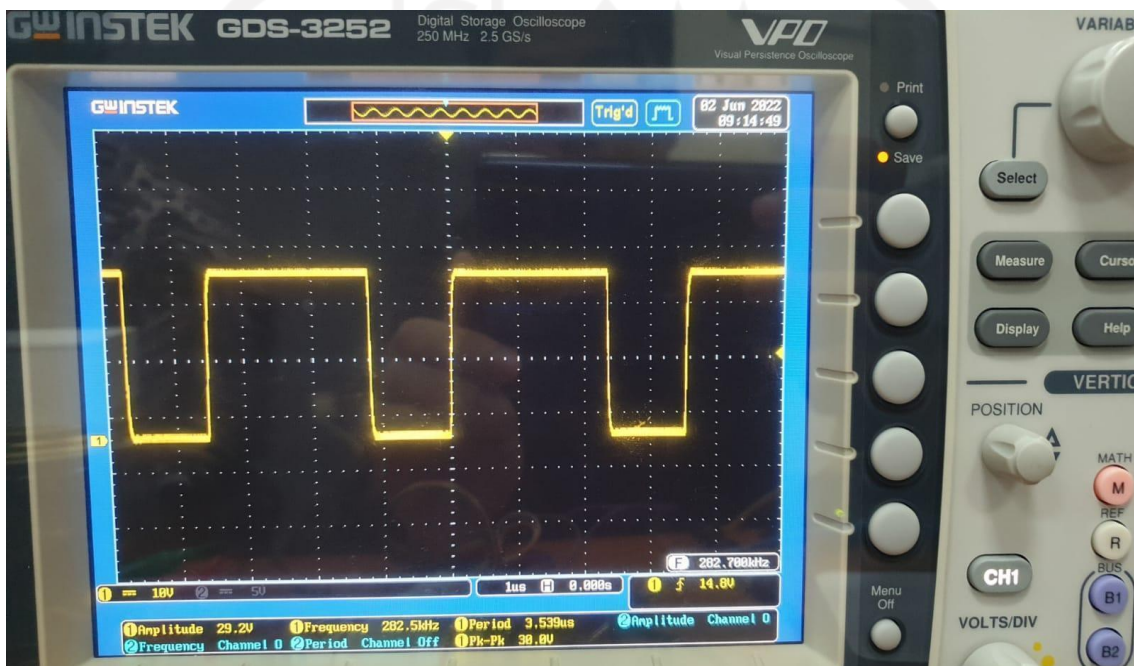


Gambar 5.1 Proses pengiriman data

Pada Gambar 5.1 proses pengiriman data dimulai dari *smartphone*. Keluaran dari *smartphone* berupa angka dengan tipe data *integer* yang telah diprogram pada aplikasi. Data tersebut dikonversi kemudian dikirim melalui jaringan *WI-FI*. Data yang telah terkirim, selanjutnya di terima oleh mikrokontroler ESP32CAM. Kemudian data tersebut dikirim kembali ke mikrokontroler STM32 melalui Serial komunikasi, data yang telah diterima mikrokontroler STM32 kemudian diproses dengan mengkonversi kembali data tersebut ke huruf ASCII untuk dijalankan sesuai dengan programnya oleh STM32.

Mikrokontroler ESP32CAM berperan untuk menerima data dari *smartphone* dan mengirimkan data video hasil tangkapan gambar oleh kamera pada ESP32CAM. Proses tersebut terjadi melalui jaringan *WI-FI*. Kelebihan menggunakan koneksi *WI-FI* adalah kecepatan transfer data yang mumpuni, sehingga dapat digunakan sekaligus untuk mengirimkan data video. Tampilan video dapat dilihat pada Gambar 4.2 (b) dan Gambar 4.3

Mikrokontroler STM32 bertugas untuk menjalankan program sesuai dengan data masukan dari ESP32CAM, data tersebut diubah ke bentuk ASCII agar dapat diketahui oleh program. Program pada STM32 memberikan keluaran pada *pinout* tertentu. Keluaran *pinout* yaitu berupa sinyal. salah satunya untuk mengaktifkan driver motor. Karakteristik sinyal yang diperlukan sebagai masukan driver motor dapat dilihat pada Gambar 3.10. Berikut ini hasil tampilan sinyal mikrokontroler STM32 yaitu nilai *Duty cycle/pwm*. Seperti pada Gambar 3.10 karakteristik sinyal yang diperlukan driver motor. Sinyal tersebut adalah salah satu sinyal *input* untuk driver motor yang ditampilkan menggunakan Osiloskop Gambar 5.2



Gambar 5.2 Sinyal keluaran mikrokontroler dari Osiloskop

Driver Motor BTN7970 dipilih karena memiliki kemampuan dengan rentang kerja maksimal hingga 45V sehingga tidak memerlukan modul step down. Rentang kerja driver motor saat beroperasi yaitu 5,5V - 28V, dan arus maksimal yang dapat diberikan driver motor yaitu 3A. Driver motor ini bekerja dengan prinsip rangkaian H-bridge Gambar 3.10 Rangkaian tersebut digunakan untuk mengatur motor DC agar arah motor dapat berputar kekanan atau ke kiri. Selain itu, rangkain ini mengontrol kecepatan putaran motor.

Robot yang telah dirancang menggunakan aktuator motor DC yang dipasang dengan roda *omni*. Rancangan terbaru menggunakan empat driver motor untuk mengendalikan empat motor yang menggerakkan roda *omni*. Robot dapat bergerak dan berpindah memerlukan konfigurasi arah putaran tiap roda, Robot yang dirancang mampu berbelok dan bergeser dengan mengimplementasikan keunggulan roda *omni*. Berikut ini data putaran tiap roda *omni* dan gerakan perpindahan robot yang dihasilkan dari putaran disajikan pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Konfigurasi putaran motor untuk bergerak

Arah robot	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
Maju	CCW	CCW	CW	CW
Mundur	CW	CW	CCW	CCW
Belok kanan (Maju)	CCW	CCW	-	-
Belok kiri (Maju)	-	-	CW	CW
Belok kanan (Mundur)	CW	CW	-	-
Belok kiri (Mundur)	-	-	CCW	CCW
Geser kiri	CCW	CW	CW	CCW
Geser kanan	CW	CCW	CCW	CW

Keterangan: CW=Clockwise, CCW=Counter Clockwise

5.1.1 Data Motor dan Pengendalian

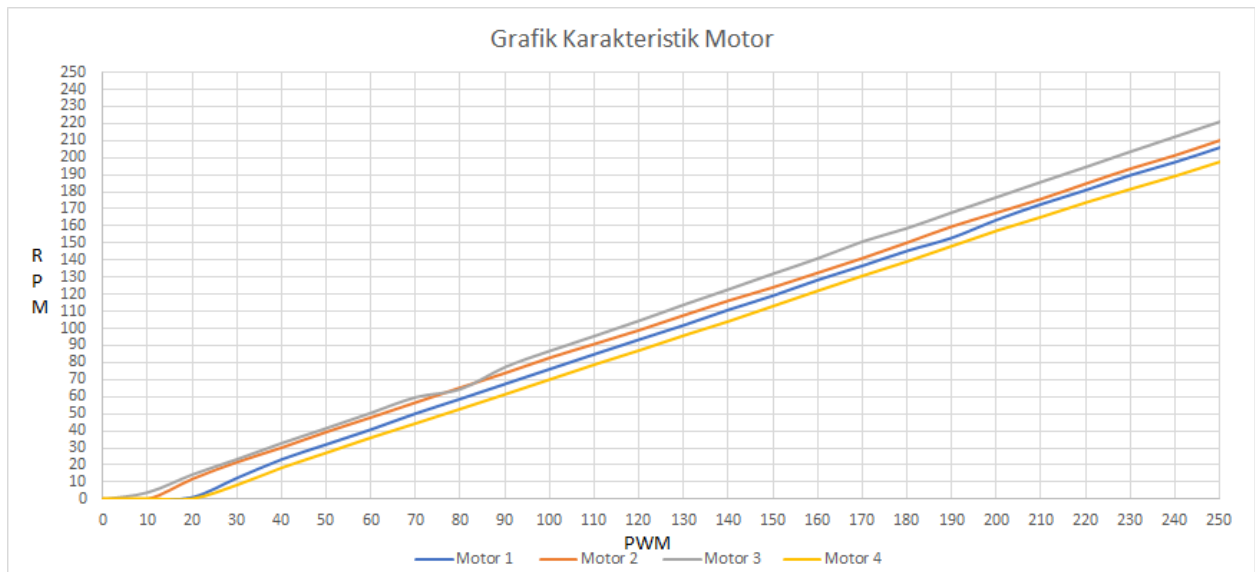
Pada tahap awal untuk melakukan pengendalian dibutuhkan pengambilan data setiap motor, agar dapat mengetahui karakteristik setiap motor. Pengambilan data dilakukan dengan cara memberikan nilai *pwm* setiap motor dan mengambil data yang telah dikonversi menjadi *rpm*.

Tabel 5.1.1 Karakteristik motor

Data Motor				
<i>Pwm</i>	Motor 1 (<i>rpm</i>)	Motor 2 (<i>rpm</i>)	Motor 3 (<i>rpm</i>)	Motor 4 (<i>rpm</i>)
0	0	0,44	0,22	0
10	0	0,44	4,36	0
20	1,31	12,22	14,84	0
30	12,65	22,04	23,78	8,07
40	23,56	30,55	33,16	18,11
50	32,29	39,71	41,89	26,84
60	41,02	48,22	50,84	35,78
70	50,4	56,95	60	44,07
80	58,91	65,67	64,73	52,58

Data Motor				
<i>Pwm</i>	Motor 1 (<i>rpm</i>)	Motor 2 (<i>rpm</i>)	Motor 3 (<i>rpm</i>)	Motor 4 (<i>rpm</i>)
90	67,64	74,18	77,67	61,09
100	76,36	83,13	87,05	69,82
110	85,09	91,2	95,78	78,55
120	93,6	99,27	104,73	86,84
130	102,05	108	114,11	95,56
140	111,05	116,51	123,05	103,85
150	119,35	124,36	132,22	112,8
160	128,51	132,87	141,16	121,75
170	136,8	141,38	150,98	130,47
180	145,53	150,55	158,84	138,94
190	153,16	159,93	168	147,93
200	163,64	168	176,95	156,87
210	172,8	176,07	185,89	164,95
220	181,09	185,02	194,62	173,45
230	189,82	193,75	203,56	181,31
240	197,45	201,6	212,29	188,95
250	205,96	210,33	221,02	197,24

Dari hasil Tabel 5.1.1 didapatkan grafik karakteristik motor sebagai berikut:



Gambar 5.3 Grafik karakteristik motor

Pada Gambar 5.3 karakteristik setiap motor yang digunakan berbeda-beda, seperti pada motor 3 dan motor 2 mempunyai respon yang lebih cepat dibandingkan dengan motor 1 dan 4, hal ini dikarenakan motor sudah lama dan kurangnya perawatan, hal tersebut berdampak pada arah pergerakan robot, sehingga diperlukannya pengendali *close loop* agar karakteristik setiap motor sama. Berdasarkan hasil karakteristik tersebut. Sistem akan lebih stabil apabila ditambahkan pengendali PID. Nilai pengendali didapat dengan mengamati respon tiap roda dengan setpoint. Kemudian data diambil melalui pembacaan rotary encoder internal dari setiap motor.

Proses penambahan PID dengan metode manual tuning

1. Tuning P

Pada percobaan untuk mendapatkan parameter P dilakukan dengan menambahkan nilai awal yaitu $K_p = 1$. Karena setiap motor memiliki karakteristik yang berbeda maka nilai P pada setiap motor juga berbeda-beda. Setelah melakukan tuning manual didapat nilai seperti pada Tabel 5.1.2.1

Tabel 5.1.2.1 Nilai kecepatan tiap motor setelah penambahan PID

Jenis	Nilai P (K_p)
Motor 1	1,4
Motor 2	1,3
Motor 3	1,2
Motor 4	0,95

Berdasarkan Tabel 5.1.2.1 nilai tersebut diperoleh dengan cara mengganti nilai K_p awal dengan nilai tertentu, Penentuan nilainya dengan pertimbangan *overshoot* dan *steady state error* tidak terlalu besar, Karena ketika penambahan parameter I akan membuat *overshoot* bertambah besar.

2. Tuning PI

Pada tuning parameter I didapat nilai *variabel* integral yaitu $I = 0,004$ untuk semua motor. Nilai tersebut didapatkan dengan melihat kecenderungan respon motor dalam mengeliminasi *steady state error*. Apabila penambahan parameter I terlalu besar maka akan mempengaruhi penambahan *overshoot*.

3. Tuning PID

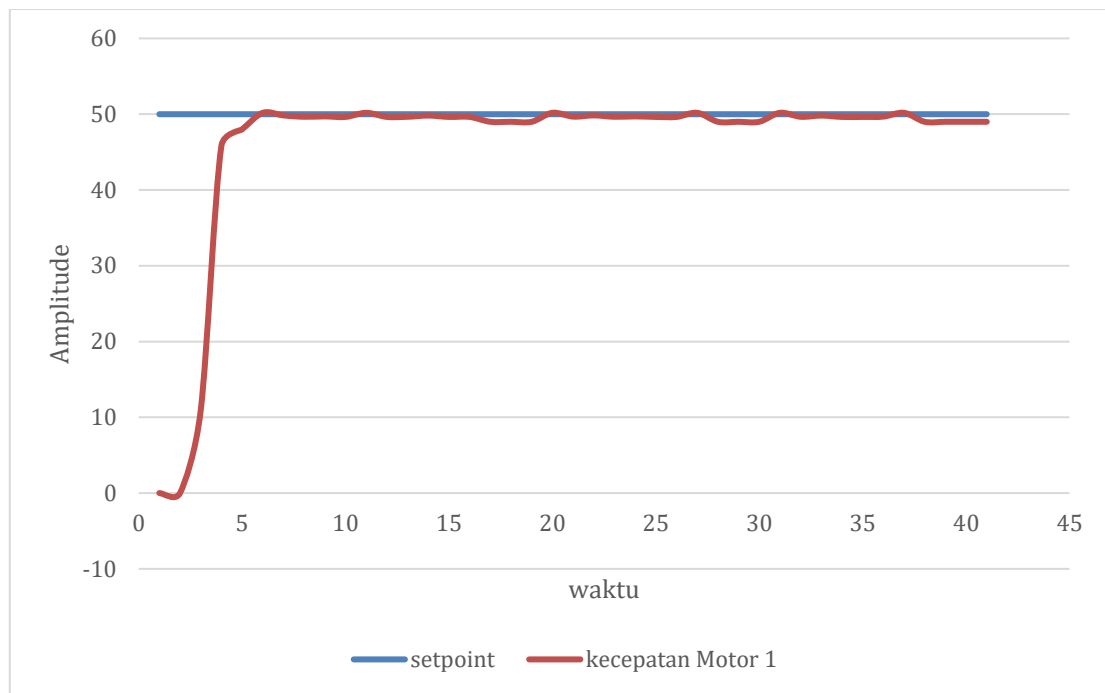
Nilai derivatif yang sesuai dengan sistem yaitu $K_d = 0,03$ untuk semua motor. Nilai tersebut didapat dengan melakukan pengamatan pada tiap roda dengan respon paling baik. Penambahan ini dapat menghilangkan *overshoot*, mengurangi *rise time* dan *steady state error* juga menjadi lebih berkurang.

Tabel 5.1.2 Nilai kecepatan tiap motor setelah penambahan PID

Setpoint	Rata-rata kecepatan Motor			
	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
30	28.85	28.94	28.99	29.05
40	39.24	39.27	39.27	39.26
50	49.68	49.69	49.69	49.69

Berdasarkan Tabel 5.1.2 respon setiap motor setelah ditambahkan pengendali, kecepatannya menjadi berubah. Nilai kecepatan tiap motor berdasarkan *setpoint* memperoleh stabilitas yang baik setelah penambahan PID. Nilai masukan *setpoint* yang memiliki hasil rata-rata tiap motornya mendekati dan stabil yaitu ketika *setpoint* = 50.

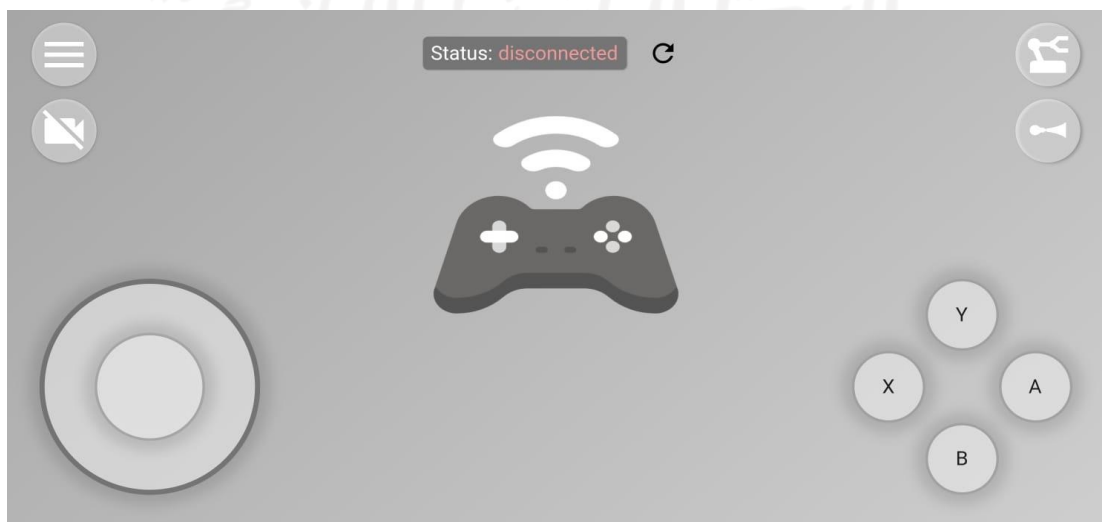
Grafik yang dihasilkan setelah penambahan nilai pengendali PID pada salah satu motor yaitu motor 1 dapat dilihat pada Gambar 5.4. pengaruh sistem kontrol PID pada motor DC dapat memberikan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan serta respon terhadap *error* yang terjadi



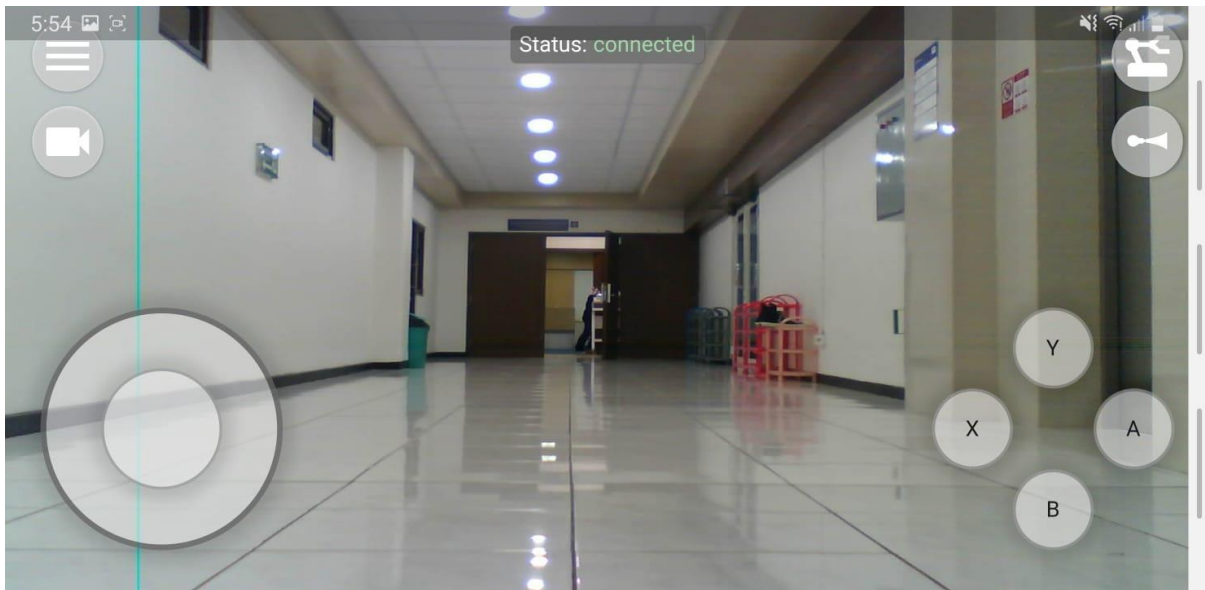
Gambar 5.4 Hasil pengendalian PID

5.1.3 Pengujian Aplikasi Pengendali

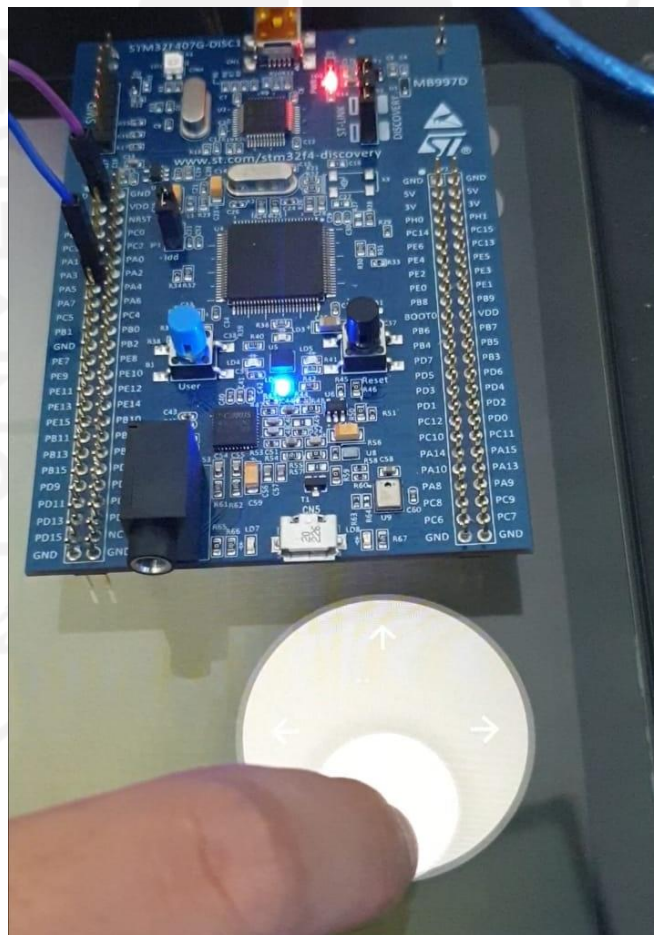
Pengujian Aplikasi Pengendali dilakukan untuk memastikan bahwa robot dapat terhubung/dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *smartphone*. Pada pengujian ini diperlukan *smartphone* yang telah ter-*install* aplikasi *Wi-Fi ESP32-CAM*. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan jaringan *Wi-Fi* robot pada *smartphone*, untuk bertukar data. Indikator sistem berjalan dengan baik apabila tampilan pada aplikasi menampilkan tulisan “*Status:connected*”, *smartphone* dapat menampilkan gambar dari *camera* robot, dan robot dapat menerima perintah masukan dari *smartphone*.



(a)



(b)

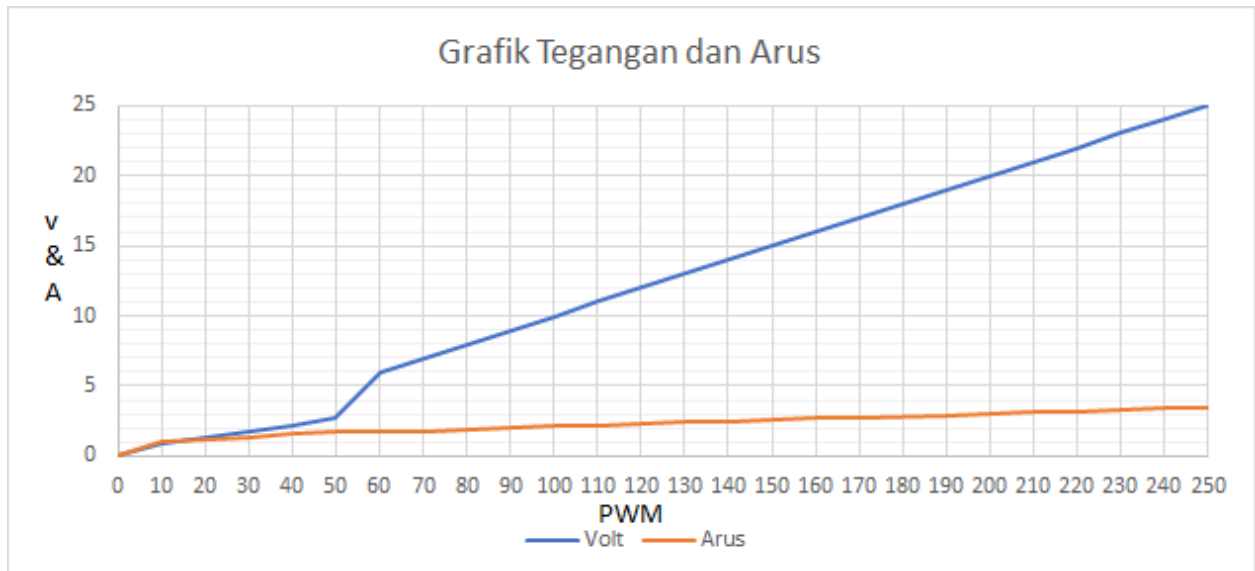


(c)

Gambar 5.5 Tampilan pengendalian robot (a) Jaringan tidak terhubung (b) Jaringan terhubung (c) data terkirim ke mikrokontroler.

5.1.3 Data Tegangan dan Arus Pada Motor

Tegangan dan arus yang diberikan oleh driver motor memiliki rentang kerja pada saat beroperasi yang tercantum pada *datasheet* yaitu 5,5V - 28V. berikut ini hasil pengukuran tegangan dan arus pada driver motor



Gambar 5.6 Grafik tegangan dan arus

Berdasarkan Gambar 5.6 hasil tegangan dan arus yang diberikan oleh driver motor berbanding lurus dengan nilai masukan yang diterima, semakin besar nilai masukan yang diterima maka semakin besar tegangan dan arus yang diberikan. Perbandingan hasil pengukuran tersebut sesuai dengan rentang kerja driver motor.

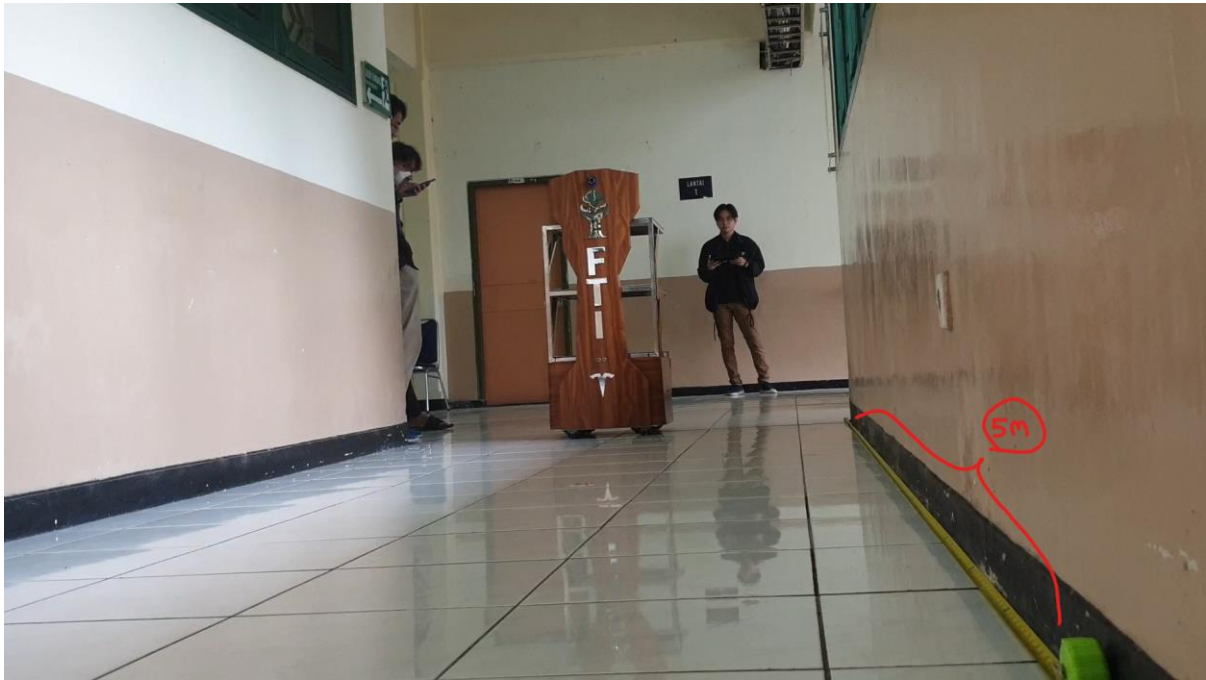
5.1.4 Pengujian Kecepatan Robot

Pada pengujian kecepatan maksimal robot, dilakukan dengan cara mengubah nilai masukan pada aktuator. Pengujian ini bertujuan agar mengetahui kecepatan robot maksimal pada robot 1,4 m/s yang telah ditentukan pada spesifikasi. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur panjang jarak lintasan yang akan ditempuh oleh robot, dan pencatatan waktu menggunakan *stopwatch*, Berikut data hasil pengujian Tabel 5.1.4.

Tabel 5.1.4 Kecepatan robot

Nilai Masukan (RPM)	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan(m/s)
50	5	7	0,714
80	5	6	0,833
100	5	3,34	1,49

Pada Tabel 5.1.4 kecepatan minimum robot sebesar 0,717 m/s, dan kecepatan maksimum robot sebesar 1,49 m/s, maka spesifikasi robot dapat bergerak maksimum sebesar 1,4 m/s telah tercapai.



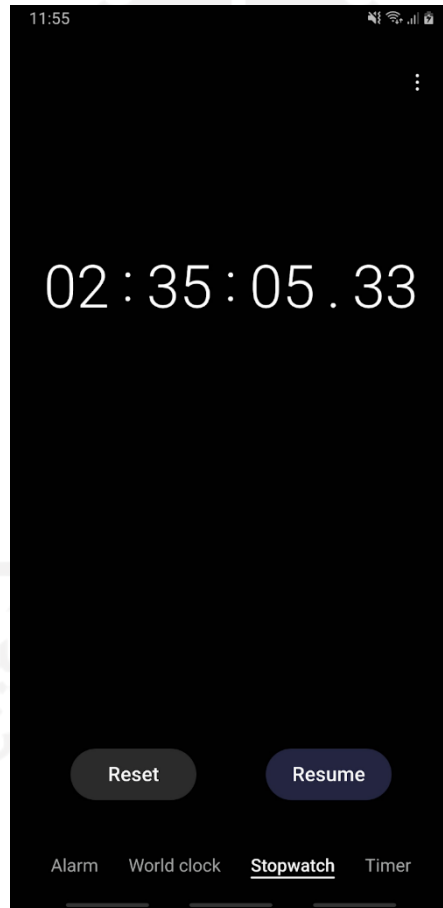
Gambar 5.7 Pengujian kecepatan robot

5.1.5 Pengujian Daya Tahan Baterai

Pengujian daya tahan baterai, dilakukan dengan cara baterai pada robot terisi dengan penuh, selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan ketika baterai terisi penuh Gambar 5.8 langkah selanjutnya robot dioperasikan selama 2 jam 30 menit Gambar 5.9. Hasil pengujian daya tahan baterai didapat baterai dapat bertahan selama 2 jam 35 menit, dengan tegangan pada baterai terisi dengan penuh sebesar 28.8 volt.



Gambar 5.8 Tegangan baterai terisi penuh



Gambar 5.9 Waktu pengujian daya tahan baterai

5.1.6 Pengujian Deteksi Benda

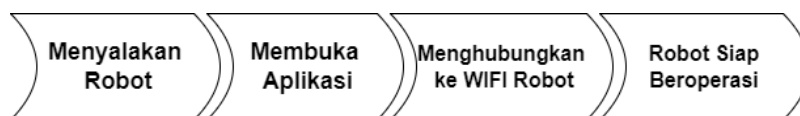
Penambahan fitur robot dapat mendeteksi objek di sekitar dengan sensor ultrasonik. Pada rangkaian pewaktu yang telah dibahas sebelumnya, Gambar 4.7 pada rangkaian tersebut menggunakan komponen resistor yang terhubung dengan *threshold* IC NE555 dan jarak jangkauan sensor ultrasonik dengan mengubah nilai besaran resistor R2 pada rangkaian. Untuk menemukan jarak jangkauan sensor dalam mendeteksi benda dan nilai resistornya yaitu dengan mencari nilai hambatannya. Nilai hambatan dicari menggunakan resistor variabel. Setelah jarak yang ditentukan sudah sesuai. Jarak tersebut dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu penggaris. Jarak jangkauan yang ditentukan yaitu 30 cm. maka setelah jaraknya sesuai dengan penggaris, maka nilai hambatannya dapat diukur menggunakan multimeter. Setelah dilakukan pengukuran. Hasilnya untuk memperoleh jarak jangkauan sensor ultrasonic dalam mendeteksi objek di depannya sejauh 30 cm, maka diperlukan resistor $2k2 \Omega$ yang dipasang pada resistor R2.

5.2 Pengalaman Pengguna

Pengalaman pengguna dibedakan atas pengalaman pada aplikasi dan pengalaman pada robot.

Tabel 5.2 Pengalaman Pengguna pada aplikasi

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Fungsi	Fungsi <i>smartphone</i> sebagai pengendali robot (<i>controller</i>) memiliki jeda waktu (<i>delay</i>)	Perubahan apps yang digunakan, mempercepat proses pengiriman data dengan perubahan metode komunikasi (p2p). Pengurangan jeda waktu (<i>delay</i>) pada proses pengiriman dan pemrosesan data.
2	Fitur kecepatan	Fitur yang menunjang pengendalian masih tidak ada	Penambahan fitur pengatur kecepatan robot.
3	Fitur Peringatan	Fitur peringatan keberadaan robot tidak responsif	Penambahan fitur klakson pada <i>apps</i> yang lebih responsif.
4	Kemudahan	Pengoperasian <i>apps</i> masih menggunakan tombol untuk bergerak	Pengoperasian <i>apps</i> agar robot dapat bergerak sudah menggunakan virtual analog
5	Keamanan	Indikasi robot agar mengetahui objek yang ada disekitar	Penambahan <i>buzzer</i> pada robot ketika sensor mendeteksi objek yang ada di sekitar
6	User Manual Guide	Tahapan penggunaan robot masih tidak ada	Penambahan diagram tahapan penggunaan robot Gambar 5.11



Gambar 5.10 Diagram penggunaan robot

5.3 Dampak Implementasi Sistem

Pemanfaatan robot dalam membantu pekerjaan manusia sudah banyak diterapkan di berbagai bidang seperti pada bidang kesehatan, pendidikan maupun industri yang menimbulkan beberapa faktor. Robot yang telah dirancang memiliki hal yang berpengaruh seperti yang dijelaskan pada bidang-bidang berikut:

5.3.1 Teknologi/Inovasi

Pada bidang teknologi robot yang telah dirancang mampu memanfaatkan keterbaruan teknologi seperti robot dapat dikoneksikan menggunakan jaringan tanpa kabel/*wireless*, kemudian robot yang telah dirancang merupakan kombinasi antara robot pelayanan medis jarak jauh/*telemedicine* dan robot pengantar barang.

5.3.2 Sosial

Pada bidang sosial, Penggunaan robot dalam membantu meningkatkan pelayanan terutama pelayanan rutin dapat meningkatkan efektivitas pelayanan, dan membantu mengurangi beban pekerjaan. Namun berhubungan dengan manusia yang juga makhluk sosial pada akhirnya menimbulkan permasalahan baru yang tidak dapat diukur secara langsung namun ikut berpengaruh terutama permasalahan mental pasien. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian dan kebiasaan baru yang perlu dibentuk agar pemanfaatan robot dapat direalisasikan.

5.3.3 Ekonomi

Pada bidang ekonomi, robot ini memiliki keunggulan yaitu dapat membawa banyak barang, apabila dibandingkan dengan robot sejenis maka robot ini memiliki keunggulan mampu lebih banyak membawa barang. Robot yang sudah dipasarkan di Indonesia memiliki harga sebesar 150 juta rupiah. Robot *TROBOS* menawarkan harga jauh lebih hemat dari harga robot yang telah dipasarkan, dengan fitur serupa dan keutungan dari segi dimensi yang lebih besar.

BAB 6 : Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Penggunaan robot layanan kesehatan mampu meminimalkan kontak antara pasien dengan tenaga kesehatan. Robot tersebut dapat dikendalikan dengan smartphone berbasis android menggunakan metode komunikasi p2p dan melalui jaringan *Wi-Fi*, Pergerakan robot yang lebih stabil dan responsif dari desain robot terdahulu. Robot yang telah dirancang mampu menghasilkan performa kecepatan 1,4 m/s, Dapat beroperasi selama 2 jam 30 menit dalam satu kali pengecasan. Robot *TROBOS* dapat dimanfaatkan untuk melakukan pelayanan rutin yang bersifat tidak mendesak seperti pengantar makanan, pengantar obat-obatan, dan pengantar alat kesehatan lainnya.

6.2 Saran

Perancangan perbaikan robot layanan kesehatan, terdapat beberapa kekurangan diantaranya adalah robot masih memiliki range maksimum agar dapat dilakukannya kendali jarak jauh, pengguna tidak dapat mengetahui posisi robot, dan robot tidak bisa membedakan lorong dan ruangan. Maka terdapat saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan selanjutnya diantaranya:

1. Ditambahkan sensor *rotary encoder external* untuk dapat mengetahui posisi.
2. Ditambahkan pemrosesan citra agar robot dapat membedakan lorong dan ruangan.
3. Ditambahkan fitur *autonomus*.

Daftar Pustaka

[1] Laporan Covid-19. Jumlah Kematian Tenaga Kesehatan akibat Covid-19, Juli. 2021, *accessed on* : Sep. 21, 2021. [Online].

Tersedia pada: [https://laporcovid19.org/2021/21/07/Jumlah-Kematian-Tenaga-Kesehatan-akibat Covid-19](https://laporcovid19.org/2021/21/07/Jumlah-Kematian-Tenaga-Kesehatan-akibat-Covid-19)

[2] D. Suryawan dan R. M. S. Adinandra, "Rancang Bangun Robot Pelayan Medis Untuk Pasien Karantina Covid-19 Dengan Kendali Berbasis Android," *JTT*, vol. 7, no. 1, p. 68, Jul. 2021, doi: 10.31884/jtt.v7i1.312.

[3] A. Ansori Dan R. E. Saputra, "Desain Robot Pelindung Tenaga Medis untuk Pasien Isolasi Novel Coronavirus (2019-nCoV) di Rumah Sakit dengan Metode Antropometri," *Jurnal Multimedia Networking Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 47–58, Jun. 2020, doi: 10.32722/multinetics.v6i1.2806.

[4] A. Priyambudi, B. Firman, dan J. K. No, "Kendali Kecepatan Motor Pada Robot Dengan Empat Roda Omni Menggunakan Metode PID," vol. 5, no. 1, p. 10, 2018.

[5] M. J. Pamenang, I. Siradjuddin, dan B. Setiawan, "Pengendalian Konvergensi Eksponensial Untuk Omnidirectional Mobile Robot Dengan Empat Roda," *JE*, vol. 18, no. 1, p. 108, Apr. 2020, doi: 10.33795/eltek.v18i1.225

[6] Muthiah, M., Nirmal, K., dan Sathiendran, R. (2015). Low cost radio frequency controlled robot for environmental cleaning. *Low cost radio frequency controlled robot for environmental cleaning*, 1-5.

[7] Güleçi, M., dan Orhun, M. (2017). Android based WIFI controlled robot using Raspberry Pi. *International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 978- 982.

[8] Yun, G., Kim, K., Park, S., dan Kim, D. H. (2019). A Monitoring System to Support Home Health Care for the Elderly with Dementia by Detecting Going Out Activities Based on RGB-D [6] Sensors. *16th International Conference on Ubiquitous Robots (UR)*, 71- 76.

[9] Sheikh, Z. I., dan Kasat, K. (2018). Design of Cleaner Using Antidrop Voice Controlled Robot. *International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE)*, 1-4

[10] A. Ghaderi, A. Sanada, A. A. F. Nassiraei, K. Ishii, dan I. Godler, "Power and propulsion systems design for an autonomous omni-directional mobile robot," in *2008 Twenty-Third Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Austin, TX, USA, Feb. 2008, pp. 267–272. doi: 10.1109/APEC.2008.4522732.

[11] C. Ariyani, "Rancang Bangun Pemantau Dan Kendali Robot Pembawa Nampan Obat Pasien Berbasis Internet Of Things," *Electro National Conference*, Palembang, 25 Juni 2021, p. 9.

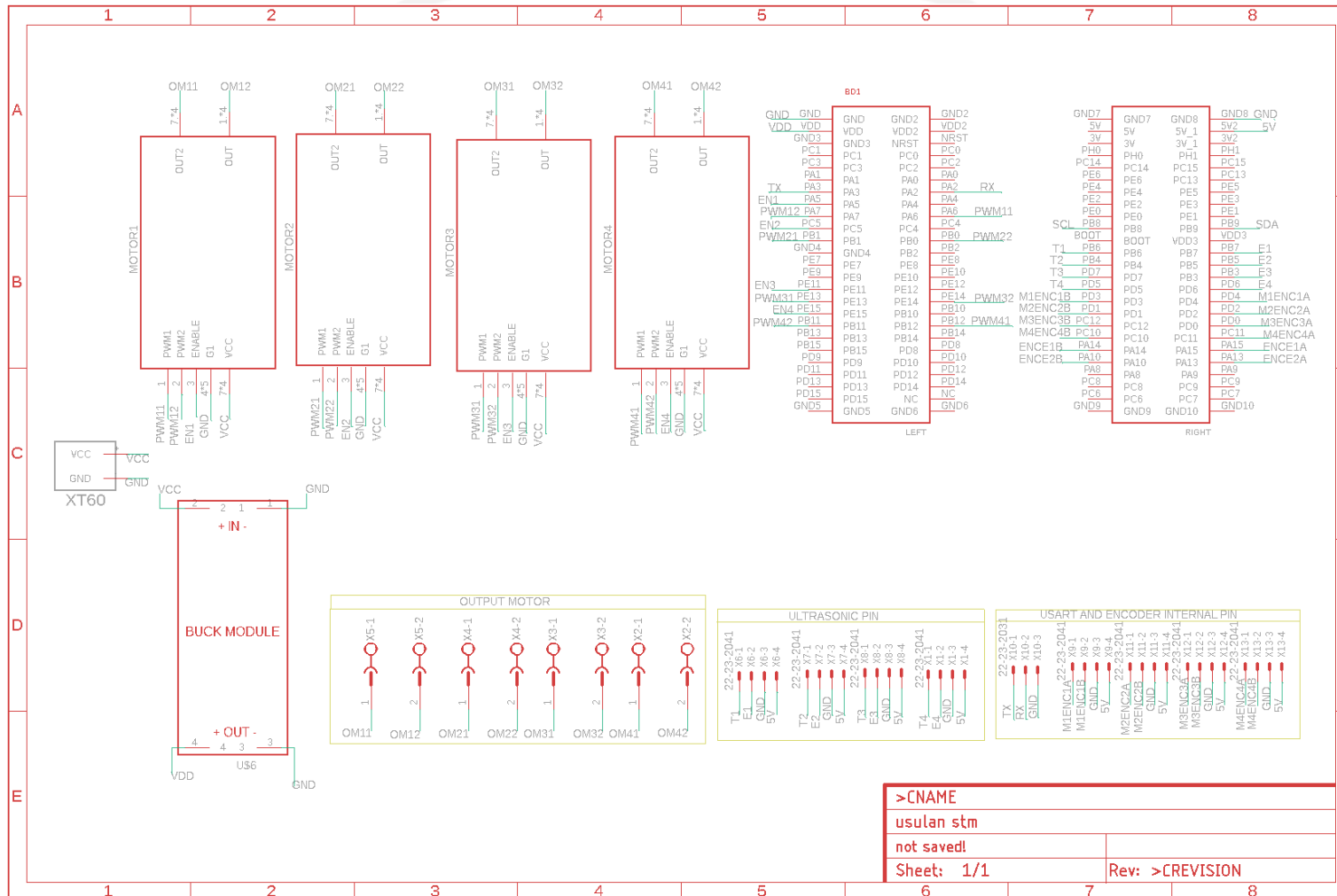
[12] Ismail, Suhartini. "Perspektif perawat tentang penggunaan teknologi robot dalam perawatan pasien di ruang perawatan intensif." *Jurnal Perawat Indonesia*. 10. 2020 doi:32584/jpi.v4i2.812

LAMPIRAN – LAMPIRAN

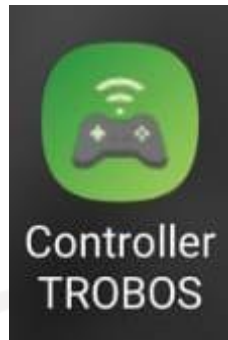
- Tampilan Keseluruhan Robot



- Skematik diagram usulan sistem elektronis



- Aplikasi android



- *Logbook* pengerjaan Tugas Akhir

Hari, Tanggal	Deskripsi kegiatan
Jum'at, 8-10-2021	Mencari referensi yang berhubungan dengan topik Tugas Akhir
Rabu, 13-10-2021	Mengamati robot
Sabtu, 16-10-2021	Review jurnal
Minggu, 17-10-2021	Mencari solusi metode yang lain untuk proyek TA
Senin, 18-10-2021	Mendiskusikan beberapa solusi perbaikan sistem
Selasa, 19-10-2021	Mencari referensi jurnal yang lain
Rabu, 20-10-2021	Memahami isi jurnal yang sudah ditemukan
Kamis, 21-10-2021	Membuat ulang ppt sesuai dengan referensi yang didapatkan
Minggu, 24-10-2021	Mencari studi literatur yang sesuai dengan topik
Senin, 25-10-2021	Membuat laporan sementara
Selasa, 26-10-2021	Memperbaiki penulisan studi literatur laporan sementara
Kamis, 28-10-2021	Mencari referensi untuk metode yang digunakan dalam perancangan sistem robot
Minggu, 7-11-2021	Revisi Technical Report 101
Minggu, 14-10-2021	Revisi Technical Report 101

Kamis, 18-10-2021	Revisi Technical Report 101 dan pembuatan spesifikasi
Rabu, 01-12-2021	Revisi Technical Report 102
Jum'at, 03-12-2021	Bimbingan dan revisi spesifikasi
Hari, Tanggal	Deskripsi kegiatan
Kamis, 09-12-2021	Revisi spesifikasi
Jum'at, 17-12-2021	Bimbingan dan revisi spesifikasi dengan pembimbing 1
Kamis, 23-12-2021	Bimbingan dan revisi spesifikasi dengan pembimbing 1
Senin, 27-12-2021	Bimbingan dan revisi spesifikasi dengan pembimbing 2
Senin, 10-01-2022	Bimbingan dan revisi technical report 103 dengan pembimbing 1
Rabu, 12-01-2022	Belajar pemrograman register
Selasa, 18-01-2022	Bimbingan dan revisi usulan 2 dengan pembimbing 1
Rabu, 26-01-2022	Bimbingan dengan pembimbing 1
Jum'at, 4-02-2022	Bimbingan dengan pembimbing 1
Sabtu, 14-05-2022	Pengujian rangkaian
Minggu, 15-05-2022	Pengkabelan
Senin, 16-05-2022	Penambilan data motor
Selasa, 17-05-2022	bimbingan dengan pembimbing 1
Rabu, 18-05-2022	Pengkabelan robot

Kamis, 19-05-2022	Solder pcb
Sabtu, 28-05-2022	Revisi technical report 201
Rabu, 01-06-2022	Revisi technical report 201
Senin, 06-06-2022	Membuat <i>case</i> alat dan revisi technical report 201
Rabu, 08-06-2022	Cetak 3dp
Selasa, 14-06-2022	Mengisi technical report 202
Jum'at, 19-06-2022	Mengerjakan robot
Hari, Tanggal	Deskripsi kegiatan
Selasa, 21-06-2022	Melanjutkan laporan TA2
Kamis, 23-06-2022	Mengerjakan program pengendalian
Selasa, 5-07-2022	Melanjutkan laporan TA2
Selasa, 12-07-2022	Mengerjakan poster alat
Rabu, 13-07-2022	Pengambilan data
Jum'at, 15-07-2022	Pengambilan video
Sabtu, 16-07-2022	Pengambilan gambar
Senin, 18-07-2022	Revisi PPT dan poster
Rabu, 20-07-2022	Revisi laporan TA2
Kamis, 21-07-2022	Melanjutkan technical report 202

- Tabel perbandingan tegangan dan arus terhadap nilai PWM

PWM	Tegangan (V)	Arus (A)
0	0	0
10	0,9	0,2
20	1,3	0,3
30	1,8	0,4
40	2,2	0,5
50	2,7	0,6
60	6	0,7
70	7	0,8
80	8	0,9
90	9	1
100	10	1,1
110	11	1,2
120	12	1,3
130	13	1,4
140	14	1,5
150	15	1,6
160	16	1,7
170	17	1,8
190	19	1,9
200	20	2
210	21	2,1
220	22	2,2
230	23	2,3
240	24	2,4
250	25	2,5

- Data kecepatan tiap motor setelah PID

Tabel 1 Nilai kecepatan tiap motor pada setpoint = 30 RPM

NO	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
1	28.62	28.42	28.62	28.86
2	29.62	28.42	28.62	28.81
3	29.54	28.42	28.64	28.81
4	29.58	29.44	28.56	28.78
5	28.36	29.44	28.47	28.71
6	28.36	29.46	28.47	28.72
7	28.58	29.52	29.53	28.78
8	28.62	28.82	29.62	29.68
9	28.62	28.84	29.68	29.68
10	28.62	28.64	29.72	29.74
RATA	28.85	28.94	28.99	29.05

Tabel 2 Nilai kecepatan tiap motor pada setpoint = 40 RPM

NO	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
1	39.84	39.22	38.42	38.73
2	39.64	39.24	38.42	38.81
3	39.68	39.24	38.84	38.84
4	39.64	39.22	39.44	38.86
5	39.46	38.64	39.44	38.86
6	39.46	38.84	39.62	39.88
7	38.68	39.64	39.53	39.58
8	38.68	39.44	39.62	39.64
9	38.68	39.64	39.72	39.72
10	38.66	39.64	39.72	39.72
RATA	39.24	39.27	39.27	39.26

Tabel 3 Nilai kecepatan tiap motor pada setpoint = 50 RPM

NO	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
1	49.84	49.68	49.81	49.36
2	49.66	49.48	49.62	49.42
3	49.71	49.86	49.64	49.56
4	49.64	49.66	49.64	49.88
5	49.64	49.68	49.72	49.72
6	49.64	49.62	49.84	49.88
7	49.66	49.83	49.74	49.78
8	49.82	49.78	49.66	49.68
9	49.64	49.68	49.66	49.84
10	49.64	49.66	49.64	49.86
RATA	49.68	49.69	49.69	49.69

- Data *Duty cycle* Serial Monitor

```

36.34 36.69 36.76 36.36 36.36
36.34 37.31 36.76 36.56 35.96
36.34 37.03 36.96 36.76 36.56
36.34 37.11 36.96 36.36 36.16
36.34 37.37 36.96 36.56 36.36
36.34 37.26 36.96 36.76 35.96
36.34 37.16 36.36 36.76 35.96
36.34 37.78 36.96 36.16 36.56
    
```

- Lampiran dokumen TA201 & 202

Files



- Program pengendali PID

```

void mundur() {
  RPM1 = 0.8646 * x - 9.9958;
  RPM2 = 0.8563 * x - 3.4796;
  RPM3 = 0.8985 * x - 3.0178;
  RPM4 = 0.841 * x - 12.81;

  eror1 = 50 - rpm1;
  eror2 = 50 - rpm2;
  eror3 = 50 - rpm3;
  eror4 = 50 - rpm4;

  PID1 = (kp1 * eror1) + (ki1 * sumeror1) + (kd1 * (eror1 - prev1));
  prev1 = eror1;
  sumeror1 += eror1;

  PID2 = (kp2 * eror2) + (ki2 * sumeror2) + (kd2 * (eror2 - prev2));
  prev2 = eror2;
  sumeror2 += eror2;

  PID3 = (kp3 * eror3) + (ki3 * sumeror3) + (kd3 * (eror3 - prev3));
  prev3 = eror3;
  sumeror3 += eror3;

  PID4 = (kp4 * eror4) + (ki4 * sumeror4) + (kd4 * (eror4 - prev4));
  prev4 = eror4;
  sumeror4 += eror4;

  analogWrite(PWM12, 0); //motor1
  analogWrite(PWM11, PID1);
  analogWrite(PWM21, 0); //motor2
  analogWrite(PWM22, PID2); //motor1
  analogWrite(PWM31, 0); //motor3
  analogWrite(PWM32, PID3); //motor1
  analogWrite(PWM41, 0); //motor4
  analogWrite(PWM42, PID4); //motor4
  ...
}

```

```

//
digitalWrite (ENM1, HIGH);
digitalWrite (ENM2, HIGH);
digitalWrite (ENM3, HIGH);
digitalWrite (ENM4, HIGH);
delay (10);

detachInterrupt (MENCA1);
detachInterrupt (MENCA2);
detachInterrupt (MENCA3);
detachInterrupt (MENCA4);
detachInterrupt (MENCA4);

rotasi1 = counter1 / ppr;
rotasi2 = counter2 / ppr;
rotasi3 = counter3 / ppr;
rotasi4 = counter4 / ppr;

counter1 = 0;
counter2 = 0;
counter3 = 0;
counter4 = 0;

rpm1 = 60.0 * 1000.0 / (millis() - timeold) * rotasi1;
rpm2 = 60.0 * 1000.0 / (millis() - timeold) * rotasi2;
rpm3 = 60.0 * 1000.0 / (millis() - timeold) * rotasi3;
rpm4 = 60.0 * 1000.0 / (millis() - timeold) * rotasi4;
timeold = millis();

delay (50);
attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (MENCA1), sumcounter1, RISING);
attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (MENCA2), sumcounter2, RISING);
attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (MENCA3), sumcounter3, RISING);
attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (MENCA4), sumcounter4, RISING);
}

```

الجمهورية الإسلامية الجزائرية