

Desain Reflektor Berotasi Dengan Mikrokontroler Berbasis Pulse Width Modulation (Pwm)

1st Radika Gitatama
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dikatama@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Fiky Yosef Suratman
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

fikyosef@telkomuniversity.ac.id

3rd Muhammad Zakiyullah Romdlony
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

zakiyullah@telkomuniversity.ac.i

Abstrak — Perkembangan teknologi khususnya dunia mikroelektronika sering kita jumpai dengan penggunaan mikrokontroler pada berbagai peralatan. Mikrokontroler digunakan pada beberapa aplikasi mencakup pengendalian, otomasi industri, akuisisi data dan sebagainya. Salah satu pengaplikasian mikrokontroler yaitu pada mobile robot digunakan untuk memuat reflector yang digerakan secara berputar dan pergerakan laju robot secara linier. Reflector yang dipakai adalah tembaga bertujuan untuk memantulkan gelombang elektromagnetik yang dimuat diatas mobile robot. Mikrokontroler berbasis Pulse Width Modulation (PWM) akan mengeluarkan sinyal untuk mengontrol kecepatan putar agar konstan yang dapat dikendalikan dengan beberapa level kecepatan putar. Pada penelitian ini akan dibangun sebuah reflektor berotasi yang dimuat diatas mobile robot berbasis Pulse Width Modulation (PWM) yang akan digerakkan secara berputar dan pergerakan laju robot secara linier. Dari hasil penelitian dan analisa data pada mobile robot bekerja dengan konstan, baterai mempengaruhi nilai PWM yang dihasilkan, disaat baterai dengan keadaan fully charge performa nilai PWM yang dihasilkan masih maksimal, tetapi dilihat di menit ke 25 hingga menit ke 60 keadaan baterai mulai menurun dikarenakan daya baterai sudah berkurang. Nilai konstan pada saat batter fully change rata-rata 12.04 rad/s.

Kata kunci — Reflektor, Mikrokontroler, Pulse Width Modulation (PWM).

I. PENDAHULUAN

Saat ini, perkembangan teknologi khususnya dunia mikroelektronika, sering kita jumpai dengan penggunaan mikrokontroler pada berbagai peralatan. Mikrokontroler digunakan pada beberapa aplikasi mencakup pengendalian, otomasi industri, akuisisi data dan sebagainya [1]. Mikrokontroler sebagai suatu terobosan teknologi mikroprosesor dan mikrokomputer hadir untuk memenuhi kebutuhan konsumen [2]. Salah satu pengaplikasian mikrokontroler yaitu pada mobile robot digunakan untuk memuat reflector yang digerakan secara berputar dan pergerakan laju robot secara linier.

Mobile Robot merupakan konstruksi robot yang ciri khasnya mempunyai actuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot, sehingga robot

tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain dengan bantuan navigasi dari sensor. Agar dapat bernavigasi, sebuah mobile robot tentunya harus mampu mengenali keadaan lingkungan dimana robot tersebut beroperasi. Adanya mobile robot ini diharapkan dapat memudahkan pergerakan dari reflektor sehingga penggunaannya lebih maksimal [3]. Untuk menggerakkan mobile robot dan penggerak reflektor dalam melakukan rotasi maka digunakan motor DC.

Motor DC merupakan suatu mesin yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran dengan menggunakan tegangan searah (DC) sebagai sumber tenaganya. Kegunaan dari motor DC yaitu memberi kemudahan pada aplikasinya sehingga dapat dipakai di berbagai macam keperluan meliputi peralatan industri, rumah tangga. Namun pada kenyataannya, kecepatan putar motor DC sulit untuk dikendalikan dikarenakan lajunya yang kurang stabil. Untuk mengatasi hal ini maka diperlukan suatu perancangan sistem kontrol kecepatan motor DC agar motor DC tersebut bergerak sesuai dengan kecepatan yang diinginkan, yaitu menggunakan Mikrokontroler berbasis Pulse Width Modulation [4].

Perancangan sistem kontrol diterapkan pada reflektor berotasi yang berada di atas mobile robot menggunakan karakteristik dari micro-doppler. Efek mikro-Doppler awalnya diperkenalkan dalam sistem laser koheren. Sebuah koheren sistem radar laser mentransmisikan gelombang elektromagnetik pada frekuensi optik dan menerima cahaya hamburan balik gelombang dari target. Sebuah sistem yang koheren mempertahankan informasi fase dari gelombang yang tersebar sehubungan ke gelombang referensi dan memiliki kepekaan yang lebih besar terhadap variasi fase. Dimana efek mikro-Doppler dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tertentu dan untuk menentukan pergerakan dan kecepatan sebuah mesin [3].

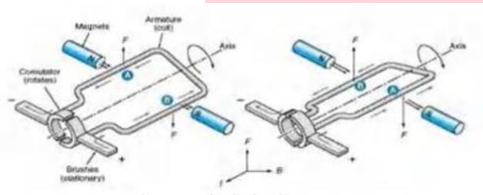
Penelitian ini diharapkan dapat merancang reflektor sederhana gelombang elektromagnetik yang dimuat diatas mobile robot berbasis Pulse Width Modulation (PWM) yang akan digerakan secara berputar dan pergerakan laju robot secara linear, pergerakan laju robot secara linear akan dikerjakan oleh teman saya. Dan diharapkan

penelitian selanjutnya akan mendukung penelitian efek micro doppler pada radar dengan lebih lanjut.

II. TEORI DASAR

A. Motor DC

Motor DC adalah suatu mesin yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran dengan menggunakan tegangan searah (DC) sebagai sumber tenaganya. Akibat dari perbedaan tegangan pada kedua terminal, motor akan berputar satu arah dan jika polaritas tegangan dibalik maka arah putaran motor akan terbalik. Polaritas tegangan yang dihasilkan kedua terminal menentukan arah putaran motor, sedangkan besarnya perbedaan tegangan antara kedua terminal menentukan kecepatan motor.



GAMBAR 1
Prinsip Kerja Motor DC

Motor servo DC adalah jenis yang hanya dapat menangani arus dan beban yang lebih kecil. Motor servo ini biasanya menggunakan sistem kendali tertutup. Jenis putaran terus menerus (Continuous Rotation) adalah motor servo yang dapat berputar 360°. Motor servo jenis ini juga dapat berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Selain itu, motor servo ini tidak memiliki sudut defleksi rotasi seperti yang lainnya, melainkan berputar terus menerus. Untuk membedakannya dengan tipe lainnya, biasanya tipe motor servo akan ditulis pada sisi fisiknya. Motor servo jenis ini biasanya digunakan atau diaplikasikan pada mobile robot.

B. Pulse Width Modulation (PWM)

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa dengan amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa adalah keadaan tinggi dan kemudian berada di zona transisi ke keadaan rendah [8]. Lebar pulsa PWM yang berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang tidak termodulasi. Jika sinyal waktu keadaan tinggi sama dengan keadaan rendah, sinyal memiliki siklus kerja 50%. Sistem PWM umumnya ditemukan untuk pengaturan kecepatan motor DC, penyesuaian lampu LED/merah, dan kontrol sudut motor servo. Contoh penggunaan PWM pada pengaturan kecepatan motor DC, semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka semakin besar pula kecepatan putaran motor tersebut. Jika nilai *duty cycle* kecil, maka pergerakan motor akan lambat :

C. Rotary Encoder

Rotary encoder merupakan sensor kecepatan putar dapat memonitor gerakan, posisi dan arah yang pada umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan

serial pulsa yang dapat dikonversi menjadi gerakan, posisi dan arah. Posisi sudut suatu poros benda yang berputar dapat diolah menjadi sebuah informasi berupa kode digital oleh rotary encoder untuk dilanjutkan oleh rangkaian kendali.

Terdapat dua jenis rotary encoder yang digunakan yaitu Absolute Rotary Encoder dan Incremental Rotary Encoder. Absolute encoder menggunakan beberapa celah dan beberapa output yang dibaca secara paralel untuk menghasilkan representasi biner dari posisi sudut absolut dari poros. Sedangkan Incremental encoder biasanya menggunakan tiga output, output Z merupakan output indeks yang menghasilkan 1 pulsa perputaran dan digunakan sebagai reset atau sinyal start. Output A adalah basis output dan menghasilkan beberapa pulsa perputaran dan output B pada dasarnya sama dengan output A hanya saja terdapat perbedaan fase sebesar 90o, hal ini bisa digunakan untuk mendeteksi arah putaran [9] :

D. Mikrokontroler Arduino Mega

Arduino adalah platform prototipe elektronik open source, termasuk dalam perangkat keras dan lunak yang fleksibel dan mudah digunakan. Oleh karena itu, arduino diperuntukkan bagi siapa pun yang tertarik untuk membuat alat yang interaktif.

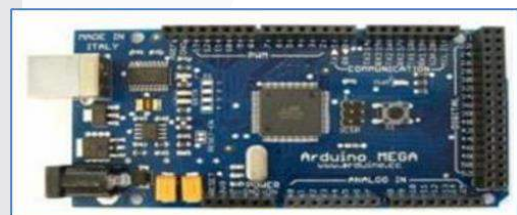
Arduino secara fisik disebut mikrokontroler. Arduino merupakan perangkat keras yang berbentuk rangkaian elektronik dengan ukuran kecil dan berfungsi sebagai kontroler. Arduino dihubungkan dengan sensor yang akan mendekteksi suatu objek atau lingkungan disekitarnya. Data informasi tersebut kemudian diolah menghasilkan suatu aksi. Proses tersebut akan dilakukan secara berulang-ulang.

Arduino Mega memiliki spesifikasi yang lebih canggih dari Arduino jenis lainnya, dengan penambahan pin digital, pin analog, port serial dan lain-lain. Jenis Arduino Mega yaitu:

Arduino Mega

Arduino Mega2560

Arduino Mega ditunjukkan pada Gambar di bawah ini:



GAMBAR 2
Arduino Mega

E. Radar, Efek Micro-Doppler dan Reflektor

1. Radar

Radio Detection and Ranging (Radar) adalah sistem kelistrikan yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik dan menerima gelombang elektromagnetik ketika dipantulkan oleh suatu benda dan mendeteksi keberadaan benda tersebut. Secara umum sebuah sistem radar memiliki 4 subsistem yaitu transmitter, antenna, receiver, dan signal processor. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan

dipantulkan dari suatu benda akan ditangkap oleh penerima.

2. Efek Micro-Doppler

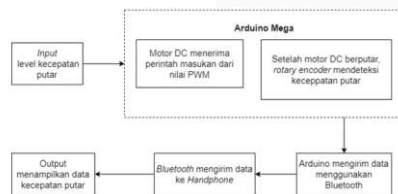
Prinsip yang menjadi kunci dari teknologi ini adalah pantulan gelombang mikro atau biasa disebut Efek Doppler (Doppler Effect). Dalam proses pengiriman sinyal ke target oleh radar, berinteraksi dengan target, dan kembali ke radar. Perubahan sifat sinyal yang dikembalikan mengandung karakteristik yang menarik dari target. Ketika sinyal yang ditransmisikan dari sistem radar yang mengenai target yang bergerak, frekuensi pembawa sinyal bergeser, yang dikenal sebagai efek Doppler. Adanya efek Micro-Doppler memungkinkan kita untuk menentukan beberapa properti dari target [5].

Dinamika gerakan mikro suatu objek atau struktur pada objek tersebut dapat menyebabkan modulasi frekuensi pada sinyal yang dikembalikan yang mengakibatkan sideband mengenai pergeseran frekuensi Doppler target, yang disebut dengan efek mikro-Doppler [6].

Fenomena ini memungkinkan kita untuk mendefinisikan beberapa properti objek. Misalnya, getaran yang dihasilkan oleh mesin kendaraan dapat dideteksi dari permukaan kendaraan. Efek mikro-Doppler dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis tertentu dan untuk menentukan pergerakan dan kecepatan mesinnya

III. METODE.

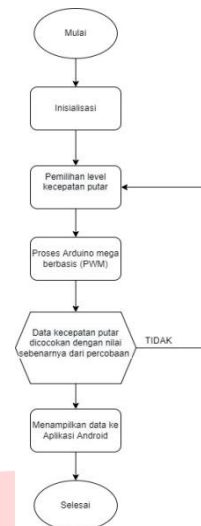
A. Diagram Blok Sistem



Gambar 3
Diagram Blok Penelitian

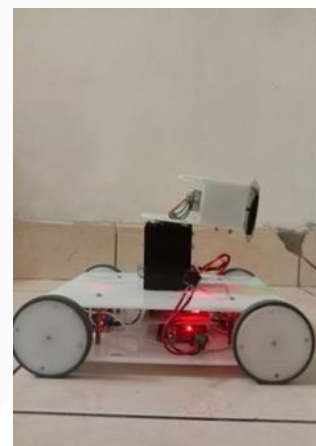
Sesuai dengan diagram blok penelitian yang ditunjukkan pada Gambar diatas bahwasanya perancangan dilakukan dengan menginput level kecepatan putar dari reflektor pada rangkaian mobile robot, apabila kecepatan putar yang dihasilkan tidak konstan, maka akan dilakukan pengontrolan dengan mikrokontroler ATmega dengan sistem PWM, dimana mikrokontroler akan mengirimkan sinyal PWM ke motor DC dan motor DC akan menerima. Kemudian rotary encoder akan mendeteksi kecepatan putar yang mana data diperoleh yaitu berupa kecepatan yang dihasilkan oleh motor DC diproses menggunakan arduino mega untuk dikirimkan ke handphone melalui bluetooth dan selanjutnya diperoleh output berupa tampilan kecepatan putar dari reflektor pada rangkaian mobile robot.

B. Desain Perangkat Lunak



GAMBAR 4
Flowchart Sistem

Flowchart atau diagram alir penelitian digunakan untuk merancang seluruh kegiatan yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini. Dimulai dengan melakukan inialisasi pada sistem, setelah itu dilakukan pemilihan level kecepatan putar untuk reflektor yang diproses menggunakan Arduino Mega berbasis Pulse Width Modulation, kemudian data kecepatan putar yang didapatkan dicocokkan dengan data kecepatan sebenarnya apabila datanya tidak sesuai maka sistem akan mengatur ulang level kecepatan putar, namun apabila data sesuai maka akan data akan ditampilkan pada perangkat android yang digunakan, maka penelitian selesai.



GAMBAR 5
Mobile Robot dengan Reflektor berbasis Mikrokontroler

Pada Gambar diatas merupakan tampilan mobile robot yang didesain pada penelitian ini. Pada bagian atas mobile robot terdapat reflektor dan motor servo DC 100 RPM dan 1000 RPM yang berguna untuk mengatur kecepatan rotasi yang dibutuhkan sesuai dengan penelitian yang ingin dilakukan.



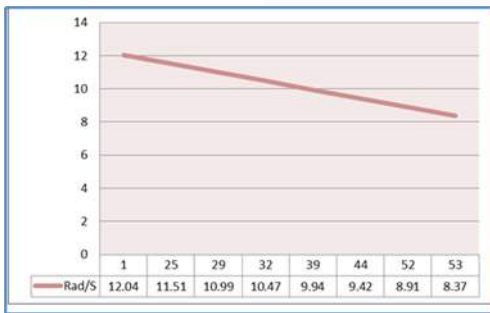
GAMBAR 6

Tampilan layar utama pada mobile phone pada android

Gambar diatas menampilkan bagian utama pada aplikasi android yang telah dirancang dan didesain menggunakan web Android studio. Setelah selesai dan berhasil membuat keseluruhan sistem dan tampilan aplikasi, unduh serta instal terlebih dahulu aplikasi tersebut pada handpone. Pada layar utama dari aplikasi mobile phone akan terlihat untuk menyambungkan koneksi Bluetooth terlebih dahulu antara perangkat keras dan mobile phone itu sendiri yang ditunjukkan pada nomor 2, setelah terhubung status akan berubah menjadi “terhubung HC-5”, tampilan yang ditunjukkan pada nomor 3 adalah untuk mengaktifkan perangkat bagian atas (reflektor), selanjutnya pada tampilan layar yang ditunjukkan nomor 4 untuk mengaktifkan perangkat bagian tengah dengan delay 180, setelah itu masukan kecepatan roda level 5 pada nomor 5 ditampilkan utama mobile phone, setelah mengaktifkan pada tampilan nomor 3, maka akan dapat memilih tampilan level 1 sampai level 5 pada nomor 6, dan yang terakhir tampilan kecepatan roda dan bagian atas (reflektor) dalam bentuk RPM akan terlihat pada nomor 7.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengujian Daya Tahan Baterai terhadap Performasi



GAMBAR 4.10

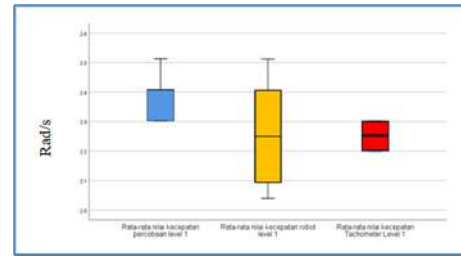
Diagram Boxplot Kecepatan Putaran Level

Dilihat dari Gambar diatas menunjukkan bahwasanya baterai mempengaruhi nilai PWM yang dihasilkan, disaat baterai dengan keadaan fully charge nilai PWM yang dihasilkan masih maksimal, tetapi dilihat di menit ke 25 hingga menit ke 60 keadaan baterai mulai menurun dikarenakan daya baterai sudah berkurang.

B. Analisa Kecepatan Putar Reflektor

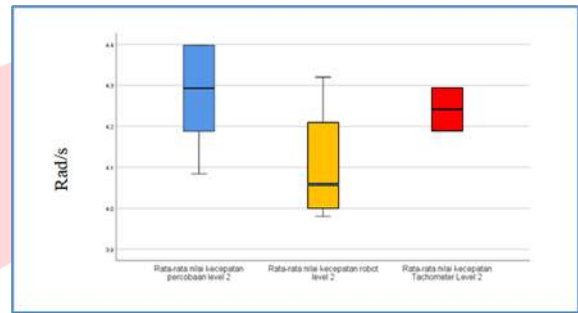
Pada penelitian ini percobaan dilakukan disetiap level kecepatan putar dan setiap level kecepatan putar dilakukan sebanyak 10 kali setiap level. Setelah melakukan sebanyak 10 kali percobaan di setiap level dan

merata-rata nilai seluruh percobaan untuk masing-masing level 1 sampai dengan level 5.



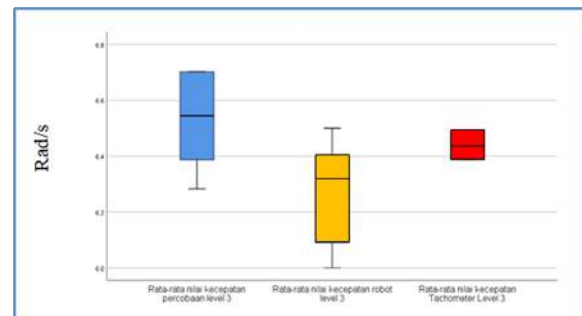
GAMBAR 7

Diagram Boxplot kecepatan level 1



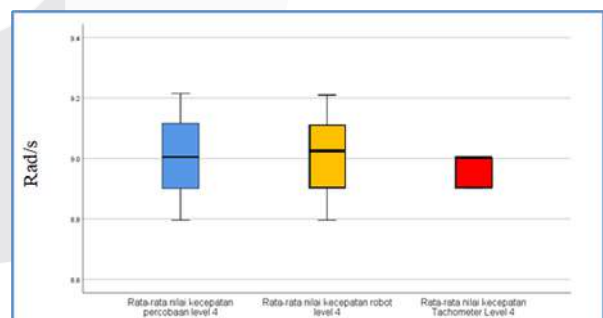
GAMBAR 8

Diagram Boxplot Kecepatan Putaran Level 2



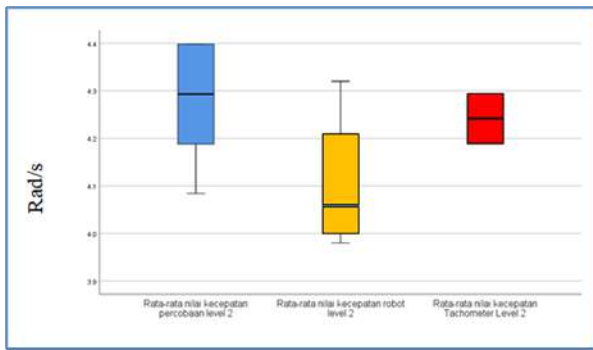
GAMBAR 9

Diagram Boxplot Kecepatan Putaran Level 3



GAMBAR 10

Diagram Boxplot Kecepatan Putaran Level 4



GAMBAR 11
Diagram Boxplot Kecepatan Putaran Level 5



Mobile robot

10 Meter



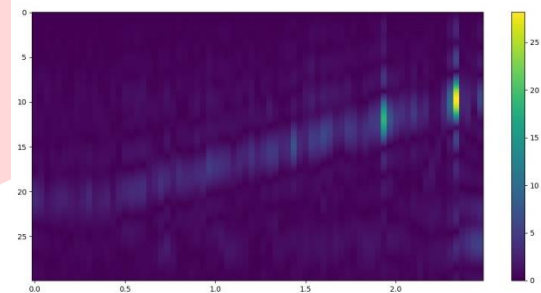
Radar

GAMBAR 12
Percobaan Secara Vertikal

C. Hasil Pengujian Radar Dan Grafik Spektrogram

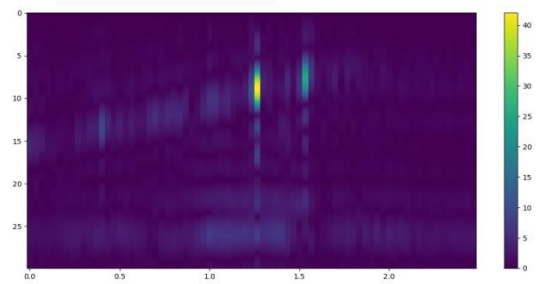
Pengujian ini bertujuan untuk data tambahan sebagai alat uji coba project selanjutnya, alat pengujian ini memiliki cara kerja yang sama seperti radar. Alat ini mendeteksi reflektor yang bergerak sehingga menangkap sinyal yang dipantulkan. Pengujian ini menggunakan 2 cara yaitu berjalan lurus hingga ke depan radar dari jarak 10 meter, dan berjalan lurus ke samping yang tidak mendekat ke radar dengan jarak 2 meter. Pengambilan data ini nantinya menghasilkan spectrogram.

Spectrogram diambil menggunakan radar FMCW (Frequency Modulated Wave), radar FMCW adalah radar yang terus menembakkan gelombang elektromagnetik secara terus menerus dan kemudian data hasil dari pantulan terhadap reflektor akan diterima dalam bentuk gelombang pantulan. Radar FMCW dapat digunakan untuk mengukur jarak dengan menerapkan perubahan frekuensi doppler. Adapun langkah-langkah proses pembentukan spectrogram dari radar FMCW, yang pertama setelah pengambilan data dari radar, mendapatkan data I dan Q yang merupakan bilangan kompleks dimana I adalah bilangan riil dan Q bilangan imajiner. Lalu yang ke dua ke proses ADC scaller yaitu mengkonversi data menjadi volt karena data yang didapatkan sebelumnya memiliki satuan arbitrary units dari 0 sampai 4095, pengkonversian ini dilakukan dengan cara tegangan maksimum yang dikeluarkan GPIO pada Rasberry Pi dibagi dengan ADC interval, disini menggunakan spesifikasi masing-masing dengan alat tegangan maksimum GPIO Rasberry Pi memiliki nilai 3,3 V dan interval ADC U-RAD adalah 4096. Selanjutnya yang ke tiga yaitu pembersihan DC component, karena data I dan Q setelah dari ADC scaller masih memiliki DC component, pembersihan dilakukan menggunakan rumus. Lalu yang ke empat melakukan clutter removal untuk membersihkan data dari data-data objek yang statis agar data yang didapatkan hanyalah objek yang bergerak saja, proses ini juga menggunakan rumus. Tahap ke lima ialah melakukan proses FFT agar data I dan Q ini memiliki sebuah nilai untuk bisa digunakan. Tahap terakhir atau ke enam data I dan Q ini bisa digunakan, tetapi untuk memunculkan data ke spectrogram perlu untuk membulatkan nilai I dan Q dengan cara menghitung magnitudenya maupun menghitung phasanya rata-rata nilai seluruh percobaan untuk masing-masing level 1 sampai dengan level 5.



GAMBAR 13

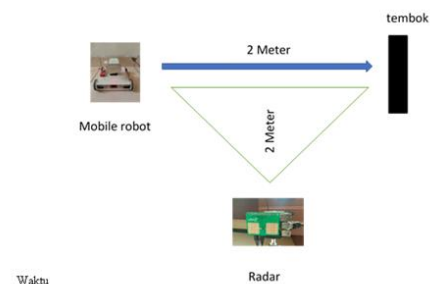
Translasi + Putar bagian tengah + putar utama level 1 secara vertikal



GAMBAR 14

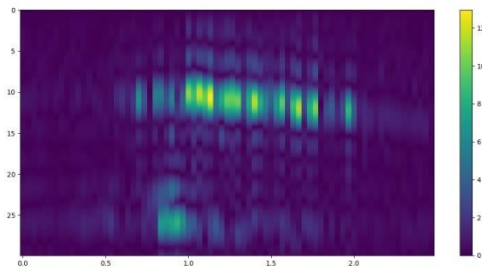
Translasi + Putar bagian tengah + putar utama level 2 secara vertikal

2. Secara Horizontal



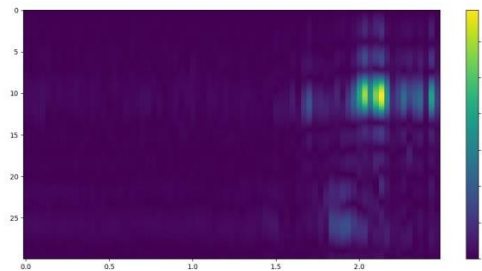
GAMBAR 15
Percobaan Secara Horizontal

1. Secara Vertikal



GAMBAR 16.

Translasi + Putar bagian tengah + putar utama level 1 secara horizontal



GAMBAR 17.

Translasi + Putar bagian tengah + putar utama level 2 secara horizontal

Perbedaan antara pergerakan secara vertical dan horizontal, saat vertical warna yang dihasilkan bergerak dari kiri bawah menuju atas kanan menunjukkan bahwa robot dan reflector mendekati radar dan semakin lambat kecepatan reflector berputar maka semakin padat warna kuning yang dipantulkan. Dan saat horizontal pergerakan robot tidak mendekati radar melainkan bergerak dari kiri ke kanan sejauh 2 meter. Jika dilihat kepadatan sinyal reflector akan memantulkan dengan baik ketika sejajar dengan radar maka terlihat dari warna lebih kuning.

Sedangkan, untuk gambar disamping adalah gambar 2 dimensi yang terbentuk dari kumpulan data, warna kuning dan biru itu berdasarkan data tegangan dari besar kecilnya pergerakan ketika robot terdeteksi oleh radar FMCM.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, berdasarkan perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis mengenai desain reflektor berotasi dengan mikrokontroler berbasis PWM dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Reflektor yang dirancang pada mobile robot dapat mengendalikan kecepatan putar dari reflektor hingga level 3 kecepatan putar dengan mengatur material yang digunakan.

Kecepatan putar reflektor pada mobile robot dengan 3 level kecepatan putar menjadi konstan dapat dikendalikan dengan jumlah putaran yang diberikan pada setiap percobaan. Dari data percobaan semakin banyak putaran dalam 1 menit maka semakin tinggi nilai rad/s yang dihasilkan, untuk data percobaan dengan kecepatan level 1 yaitu 2.3975, sedangkan untuk kecepatan level 5 yaitu 11.0078 rad/s. Nilai PWM dapat mencapai stabil dalam keadaan baterai fully charge, setelah baterai berkurang nilai PWM tetap stabil akan tetapi akan mengalami penurunan.

B. Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan sebagai pengembangan pengujian pada Tugas Akhir ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

Untuk penelitian selanjutnya, nilai pwm akan lebih stabil dengan menggunakan Metode PID dan driver diganti menggunakan driver module BTS 7960.

Untuk penelitian selanjutnya, jika ingin dipermudah untuk mengolah data, di bagian controller user diberi grafik gerak nilai pwm dan analisis akan mudah.

Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan system dapat dikembangkan untuk tahap yang lebih lanjut, sehingga kecepatan putar akan terdeteksi saat digerakkan. Penelitian selanjutnya dilakukan dengan mengaitkan pengolahan sinyal radar dan bahan reflektor berdasarkan koefisien refleksi dari bahan.

Penelitian selanjutnya diharapkan sistem kendali dirubah menjadi kendali close loop dengan menghasilkan sinyal error yang merupakan perbedaan antara output dan nilai masukan.

REFERENSI

- [1] Pujiono, A., Ratnasari, N. R., & Hasyim Asy'ari, S. T. "Pemasangan Motor DC Pada Sekuter Dengan Pengendali Pulse Width Modulation". Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2014.
- [2] Kurniawan, R., & Sunardi, L. "Perancangan Sistem Monitoring Perkembangan Balita Menggunakan Mikrokontroler Atmega328p Terintegrasi Dengan Database Mysql Di Posyandu Pian Raya Kabupaten Musirawas". Jusikom: Jurnal Sistem Komputer Musirawas, 3(2), 72-81, 2018.
- [3] Chen, V. C., Li, F., Ho, S. S., & Wechsler, H, "Micro-Doppler effect in radar: phenomenon, model, and simulation study". IEEE Transactions on Aerospace and electronic systems, 42(1), 2-21, 2006
- [4] Gunawan, P.N, "Radar Gun sebagai Salah Satu Penerapan Radar dalam Kehidupan Sehari - hari". Makalah. Teknik elektro unhas, 2017.
- [6] Saragih, A.S. "Implementasi Multi-Mikrokontroler pada Mobile Robot sebagai Pengendali Kecepatan dengan Kendali PID." Jurnal Teknologi Informasi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Teknik Informatika 8.2: 52-68, 2014
- [7] Kasmira, K, Abdul W. dan Muhammad T.S, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kecepatan Putar Motor DC menggunakan PID Controller pada Mesin Pengaduk." Jurnal Agritechno, 81-92, 2018.
- [8] Chen, V. C., Li, F., Ho, S. S., dan Wechsler, H. "Analysis of micro-Doppler signatures". IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, 150(4), 271-276, 2003.
- [9] Chen, V. C. "Micro-Doppler effect of micromotion dynamics: A review". In Independent Component Analyses, Wavelets, and Neural Networks, (Vol. 5102, pp. 240-249). International Society for Optics and Photonics, 2003.
- [10] Wawolumaja, R. Bab. 3 Sistem Pengaturan Otomatis (Level 2 Sistem Otomasi). Universitas Kristen Maranatha: Bandung, 2013
- [11] Azhar, Ade S.S dan Eko A, "Pengendalian Kecepatan Putaran Motor Dc pada Penyangrai Kopi Menggunakan

Pwm Berbasis Atmega 16." Gema Teknologi 19.1: 12-17, 2014.

[12] A. C. Saputro, D. Arseno, A. A. Pramudita, S. T. Telekomunikasi, F. T. Elektro, and U. Telkom, "Implementasi Sistem Radar Frequency Modulated Continuous Wave Untuk Deteksi Jarak Berbasis Usrcp Frequency Modulated Continuous Wave Radar System Implementation for Distance Detection Based on Usrcp," vol. 6, no. 2, pp. 4100–4108, 2019.

[13] X. Wang, "Design of the Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Waveforms, Simulation of the Real Road Scenario and Signal Processing for the Automotive Adaptive Cruise Control," Proc. 2021 IEEE Int. Conf. Power Electron. Comput. Appl. ICPECA 2021, pp. 815–830, 2021, doi: 10.1109/ICPECA51329.2021.9362523.

..

