

PID Implementation for Depth Control and Navigation of Underwater Robots

Implementasi PID pada Pengendali Kedalaman dan Navigasi Robot Bawah Air

Azriel Syaqqi Hermansyah^{1*}, Muh. Taufiqurrohman², Safriudin Rifandi³

^{1,2,3}*Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah, Indonesia*

¹azriel.ftik20@hangtuah.ac.id

²taufiqurrohman@hangtuah.ac.id

³safriudin.rifandi@hangtuah.ac.id

Abstract *As a maritime nation with vast waters, Indonesia faces challenges in activities such as scientific observation, military operations, and underwater exploration. In this context, the development of underwater robots becomes crucial; however, depth control and navigation remain significant issues. Therefore, this research aims to address these limitations by implementing the PID method for depth control and stability of the underwater robot. By utilizing pressure sensors, gyroscope sensors, and PID control, the underwater robot is able to maintain stable depth at the specified levels and execute maneuvers according to the given angles.*

Keywords: *Autonomous Underwater Vehicle (AUV); pressure sensor; gyroscope sensor; Control PID.*

Abstrak Sebagai negara maritim dengan wilayah perairan yang luas, Indonesia menghadapi tantangan dalam kegiatan seperti observasi ilmiah, operasi militer, dan eksplorasi bawah laut. Dalam konteks ini, pengembangan robot bawah air menjadi krusial, namun pengendalian kedalaman dan navigasi masih menjadi permasalahan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan tersebut melalui implementasi metode PID pada kontrol kedalaman dan keseimbangan robot bawah air. Melalui penggunaan sensor tekanan, sensor *gyroscope*, serta kontrol PID dihasilkan robot bawah air dapat mengontrol kedalaman dengan stabil pada kedalaman yang ditentukan dan mampu melaksanakan manuver sesuai dengan sudut yang ditentukan.

Kata Kunci: *Autonomous Underwater Vehicle (AUV); sensor tekanan; sensor gyroscope; kendali PID.*

I. PENDAHULUAN

Autonomous Underwater Vehicles (AUV) berperan penting dalam berbagai aktivitas kelautan seperti observasi ilmiah, operasi militer, dan eksplorasi bawah laut [1]. Sebagai negara maritim dengan wilayah perairan yang luas, Indonesia menghadapi tantangan dalam transportasi antar pulau yang efisien dan misi bawah laut [2]. Penelitian sebelumnya telah berfokus pada peningkatan stabilitas dan navigasi AUV, namun masih ada keterbatasan yang signifikan, terutama dalam kontrol kedalaman dan manuverabilitas [3].

Kemajuan terbaru menunjukkan potensi metode kontrol *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dalam meningkatkan kinerja suatu sistem kontrol [4], dalam penelitian ini yaitu bidang AUV [5], [6]. Namun, solusi yang ada sering kesulitan dalam pengendalian kedalaman yang tepat dan navigasi yang efisien dalam kondisi bawah air yang dinamis [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan

kontrol kedalaman dan manuver pada robot bawah air dengan mengimplementasikan sistem kontrol PID yang terintegrasi dengan sensor tekanan dan giroskop untuk meningkatkan kemampuan kontrol kedalaman dan navigasi AUV yang dirancang untuk Kontes Robot Bawah Air Indonesia 2024.

Pada robot bawah air yang dikembangkan oleh M. Taufiqurrohman [8] robot belum memiliki kontrol otomatis dan belum autonomus masih menggunakan remote kontrol dan power masih dihubungkan dengan kabel dengan robotnya.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol yang andal untuk AUV yang memastikan pemeliharaan kedalaman yang stabil dan navigasi yang tepat. Dengan mengintegrasikan kontrol PID dengan sensor tekanan dan giroskop, diharapkan AUV mampu melakukan manuver kompleks dan menyelesaikan misi dengan efektif. Penelitian ini berkontribusi pada bidang tersebut dengan menyediakan solusi komprehensif yang menggabungkan metode kontrol

canggih dengan implementasi praktis untuk aplikasi dunia nyata.

II. METODE

Metodologi penelitian terdiri dari beberapa langkah kunci, dimulai dengan identifikasi masalah, tinjauan literatur, perencanaan dan desain sistem, diikuti dengan implementasi dan pengujian AUV.

2.1. Identifikasi Masalah

Langkah awal melibatkan identifikasi masalah utama terkait kontrol kedalaman dan navigasi AUV. Fokusnya adalah mengimplementasikan metode kontrol PID untuk mengatur sistem kedalaman dan navigasi AUV secara efektif.

2.2. Tinjauan Literatur

Tinjauan literatur dilakukan secara menyeluruh untuk mengumpulkan informasi dari jurnal ilmiah, buku, teori, situs web, dan penelitian sebelumnya. Tinjauan ini membantu dalam memahami konsep kontrol PID, penerapannya dalam sistem bawah air, dan studi kasus yang relevan. Sumber utama termasuk studi tentang metode tuning PID dan efektivitasnya dalam berbagai lingkungan.

2.3. Diagram Blok Sistem

[Figure 1 about here.]

Kamera depan dan bawah berfungsi sebagai mata robot: kamera depan mendeteksi halangan atau target, sedangkan kamera bawah untuk pemetaan dan navigasi bawah air. Sensor kedalaman mengukur kedalaman air untuk stabilitas dan mencegah tabrakan dengan objek di dasar laut. Modul RTC memastikan data akurat dan sinkronisasi operasi, sementara sensor gyroscope mengontrol orientasi robot untuk keseimbangan dan stabilitas. Kamera PixyCam dan sensor gyroscope digunakan dalam kontrol PID untuk kedalaman dan navigasi. Mikrokontroler Arduino Mega mengatur pengendalian PID, dengan sinyal dikirim ke Electronic Speed Controller (ESC) untuk mengatur motor brushless bawah air. Integrasi komponen ini memungkinkan robot bawah air beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi.

2.4. Perancangan Mekanik Robot Bawah Air

[Figure 2 about here.]

[Figure 3 about here.]

[Figure 4 about here.]

Keterangan:

1. Body
2. Body Seating
3. Diving Propeller
4. Propeller Belt
5. Bolt
6. Micro Controller
7. Gyroscope Sensor
8. Modul RTC
9. Modul Bluetooth
10. Slot SD Card
11. Thruster Propeller
12. Cable Hose
13. Kamera Bawah
14. Kamera Depan
15. Pressure Sensor

2.5. Perancangan Hardware Elektronik Robot Bawah Air

2.5.1. Mikrokontroler

Kendali utama robot ini menggunakan Arduino Mega, papan mikrokontroler versi tertinggi dari Arduino. Ditenagai prosesor ATmega2560, Arduino Mega menawarkan 54 Pin I/O Digital (termasuk 15 pin PWM), 16 pin analog, Flash Memory 256 KB, dan Clock Speed 16 MHz [9].

[Figure 5 about here.]

2.5.2. Sensor Tekanan

Sensor yang digunakan merupakan sensor untuk mengukur tekanan hidrostatik, berbeda dengan sensor tekanan udara. Sensor tekanan udara tidak optimal jika digunakan untuk mengukur kedalaman suatu robot seperti sensor BMP280 yang digunakan untuk mengukur tekanan udara [10]. Sensor tekanan ini memiliki range 0 hingga 1,6 MPa dan mengubah tekanan menjadi tegangan 0,5 hingga 4,5 VDC dengan daya 5 VDC. Dengan koneksi ulir G 1/4 dan bahan stainless steel, sensor ini tahan terhadap berbagai kondisi bawah air. Sensor ini mengukur kedalaman air menggunakan konsep tekanan hidrostatik, di mana tekanan meningkat sebanding dengan kedalaman. Biasanya digunakan untuk survei cairan non-korosif, sensor ini dapat ditempatkan di bawah permukaan air untuk mengukur kedalaman [5].

[Figure 6 about here.]

2.5.3. Sensor Gyroscope

Sensor giroskop mengukur kecepatan sudut dalam derajat per detik ($^{\circ}/s$) atau Revolusi Per Detik (RPS), dan dapat menghitung sudut rotasi. Meskipun kecil dan murah, sensor ini dapat melacak gerakan

cepat dan tidak dipengaruhi oleh pencahayaan [11]. Sensor GY-521 MPU6050 cocok dengan Arduino Mega yang memiliki clock speed 16 MHz [12].

[Figure 7 about here.]

2.5.4. Electronic Speed Controller (ESC)

Electronic Speed Controller (ESC) adalah komponen kunci untuk mengatur kecepatan motor elektrik dalam berbagai aplikasi seperti drone dan mobil RC [13]. ESC mengatur kecepatan motor secara presisi dan responsif sesuai sinyal yang diterima. Dalam penelitian ini, ESC digunakan untuk sistem kendali robot bawah air dan memiliki fitur seperti pemrograman arah rotasi motor, perlindungan ganda, dan alarm untuk penelusuran perangkat. ESC ini memiliki arus kontinu hingga 20A, dan dimensi kompak, ideal untuk aplikasi di robot bawah air.

[Figure 8 about here.]

2.5.5. Brushless Motor Underwater Propeller

Brushless Motor Underwater Propeller ini terbuat dari bahan berkualitas tinggi seperti 304 Stainless Steel Bearing dan Aluminium Alloy, dengan propeller berbahan Nylon yang memiliki empat daun. Motor ini memiliki daya berkisar antara 100 hingga 300W, beroperasi pada tegangan 12-24V dan arus 17A

[Figure 9 about here.]

2.6. Implementasi

AUV dirakit dengan komponen perangkat keras yang dipilih, dan algoritma kontrol PID diprogram ke dalam mikrokontroler. Sistem kemudian diintegrasikan dan diuji untuk memastikan semua komponen bekerja bersama secara mulus.

[Figure 10 about here.]

Dua PID diterapkan dalam sistem, yaitu PID untuk manuver dan PID untuk kontrol kedalaman. Pengaturan PID untuk manuver menggunakan referensi dari Electronoobs, di mana sensor gyroscope menjadi input untuk mengukur kesalahan pada sudut z . Percobaan awal dilakukan dengan konstanta $Kp = 4$, namun mengalami osilasi, sehingga setelah beberapa kali percobaan diperoleh nilai $Kp = 3.55$, $Ki = 0.005$, dan $Kd = 2.05$.

Sementara itu, PID untuk kontrol kedalaman disetel menggunakan metode Cohen-Coon (CC) dengan pendekatan osilasi. Sistem dibiarkan dalam loop tertutup dan nilai parameter proporsional dinaikkan sampai respons sistem menunjukkan

karakteristik quarter amplitude decay. Setelah dilakukan perhitungan, diperoleh konstanta PID kedalaman sebagai $Kp = 60$, $Ki = 3.5$, dan $Kd = 0.875$.

Implementasi kedua PID ini diharapkan mampu meningkatkan stabilitas dan responsivitas AUV dalam menjalankan tugas manuver dan mempertahankan kedalaman secara otomatis di berbagai kondisi operasional.

2.7. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian dan evaluasi dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu uji manuver dan uji kedalaman. Pada tahap uji manuver, robot diuji untuk menilai kemampuannya dalam mengubah arah sesuai dengan sudut target yang telah ditentukan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem kendali PID pada robot mampu mengarahkan robot dengan presisi dan stabilitas yang diinginkan, meskipun ada variasi sudut yang signifikan. Data yang diperoleh dari uji manuver mencakup berbagai sudut mulai dari 0 derajat hingga 180 derajat dan -180 derajat, dengan setiap sudut diuji secara bertahap.

Tahap kedua adalah uji kedalaman, di mana robot diuji untuk mencapai dan mempertahankan berbagai target kedalaman yang terdefinisi dengan tepat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan parameter PID tertentu dan melibatkan target kedalaman yang meningkat secara bertahap dari 20 cm hingga 200 cm. Uji kedalaman bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem kendali robot dalam mengontrol kedalaman secara akurat dan stabil, bahkan dalam kondisi osilasi yang mungkin terjadi. Hasil dari kedua tahap pengujian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa robot dalam menjalankan tugas-tugas yang memerlukan perubahan arah dan kedalaman secara dinamis.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Hasil menunjukkan peningkatan kemampuan AUV dalam mempertahankan kedalaman yang stabil dan navigasi yang akurat. Sistem kontrol PID secara efektif mengatur kecepatan motor sebagai respons terhadap input sensor, memastikan kontrol kedalaman yang tepat dan navigasi yang efisien.

3.1. Uji Manuver

Uji coba ini bertujuan untuk menyimulasikan pergerakan dengan perubahan sudut target yang terdefinisi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan algoritma PID dengan parameter $kp = 3.55$, $ki = 0.005$, dan $kd = 2.05$. Berikut adalah target sudut yang digunakan dalam uji bertahap setiap 30°:

1. Target sudut 0°

2. Target sudut 30°
3. Target sudut 60°
4. Target sudut 90°
5. Target sudut 120°
6. Target sudut 150°
7. Target sudut 180°
8. Target sudut -150°
9. Target sudut -120°
10. Target sudut -90°
11. Target sudut -60°
12. Target sudut -30°

Secara keseluruhan, manuver ini menguji kemampuan sistem untuk mengikuti perubahan sudut target yang terdefinisi dengan tepat, termasuk perubahan sudut yang tiba-tiba.

3.1.1. Target sudut 0° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 0.

[Figure 11 about here.]

Dari gambar di atas, waktu pengujian adalah 20 detik. Terlihat bahwa robot merespons target sudut 0 akan tetapi masih cenderung bergerak ke arah 5° dengan disertai osilasi. Hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan antara motor kanan dan kiri, serta peletakan robot yang tidak dilakukan secara perlahan dan hati-hati.

Gambar di atas adalah grafik PWM yang dihasilkan oleh robot yaitu PWM motor kanan dan PWM motor kiri.

[Figure 12 about here.]

3.1.2. Target sudut 30° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 30.

[Figure 13 about here.]

Dari gambar di atas, terlihat bahwa robot sudah merespons target sudut 30° akan tetapi masih ber-osilasi.

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 30° ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 14 about here.]

3.1.3. Target sudut 60° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 60° .

[Figure 15 about here.]

Dari gambar di atas, terlihat bahwa robot sudah merespons target sudut 60° akan tetapi masih sedikit ber-osilasi.

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 60° ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 16 about here.]

3.1.4. Target sudut 90° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 90.

[Figure 17 about here.]

Dari gambar di atas, terlihat bahwa robot merespons target sudut 90° akan tetapi masih sedikit ber-osilasi dan robot cenderung ke sudut 100° .

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 90° ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 18 about here.]

3.1.5. Target sudut 120° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 120.

[Figure 19 about here.]

Dari gambar di atas, terlihat bahwa robot merespons target sudut 120° akan tetapi masih sedikit ber-osilasi dan robot cenderung ke sudut 130° .

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 120° ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 20 about here.]

3.1.6. Target sudut 150° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 150.

[Figure 21 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 150 ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 22 about here.]

3.1.7. Target sudut 180° .

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut 180.

[Figure 23 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut 180 ini kontrol manuver memiliki error osilasi yang aneh yang disebabkan adanya konflik yang terjadi pada sensor gyroscope. Saat gyroscope menunjuk arah 180° PID akan terjadi error yang dihasilkan dari PID.

[Figure 24 about here.]

3.1.8. Target sudut -150°.

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut -150.

[Figure 25 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut -150 ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 26 about here.]

3.1.9. Target sudut -120°.

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut -120.

[Figure 27 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut -120 ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 28 about here.]

3.1.10. Target sudut -90°.

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut -90.

[Figure 29 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut -90 ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 30 about here.]

3.1.11. Target sudut -60°.

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut -60.

[Figure 31 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut -60 ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID.

[Figure 32 about here.]

3.1.12. Target sudut -30°.

Berikut adalah gambar pengujian manuver dengan target sudut -30.

[Figure 33 about here.]

Pada percobaan uji coba dengan target sudut -30° ini kontrol manuver masih terdapat osilasi yang dihasilkan dari PID. Respons robot juga masih jauh dari sudut -30.

PWM Uji manuver robot dengan target sudut -30° terlihat robot merespons dengan baik.

[Figure 34 about here.]

3.2. Uji Kedalaman

Uji kedalaman dilakukan terlebih dahulu, dengan menggunakan algoritma PID dengan parameter $k_p = 60$, $k_i = 3.5$, dan $k_d = 0.875$. Berikut adalah data yang diperoleh untuk target kedalaman bertahap 20 cm hingga 200 cm setiap 20 cm:

1. Target kedalaman 20 cm
2. Target kedalaman 40 cm
3. Target kedalaman 60 cm
4. Target kedalaman 80 cm
5. Target kedalaman 100 cm
6. Target kedalaman 120 cm
7. Target kedalaman 140 cm
8. Target kedalaman 160 cm
9. Target kedalaman 180 cm
10. Target kedalaman 200 cm

Secara keseluruhan, uji kedalaman ini menguji kemampuan sistem PID untuk mencapai dan mempertahankan target kedalaman yang terdefinisi dengan tepat, termasuk perubahan kedalaman yang bertahap.

3.2.1. Target Kedalaman 20 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 20 cm.

[Figure 35 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 20 cm.

Dari grafik tersebut robot kesulitan mendapatkan kedalaman 20 cm. Dikarenakan PID yang digunakan tidak dioptimalkan untuk kedalaman

20 cm dan juga sensor kedalaman yang tidak sensitif terhadap perubahan kedalaman yang kecil.

3.2.2. Target Kedalaman 40 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 40 cm.

[Figure 36 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 40 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 40 cm. Tetapi robot masih memiliki osilasi dan tidak stabil.

3.2.3. Target Kedalaman 60 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 60 cm.

[Figure 37 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 60 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 60 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi tidak stabil.

3.2.4. Target Kedalaman 80 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 80 cm.

[Figure 38 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 80 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 80 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi tidak stabil.

3.2.5. Target Kedalaman 100 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 100 cm.

[Figure 39 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 100 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 100 cm. Tetapi robot masih

memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi tidak stabil.

3.2.6. Target Kedalaman 120 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 120 cm.

[Figure 40 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 120 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 120 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi tidak stabil.

3.2.7. Target Kedalaman 140 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 140 cm.

[Figure 41 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 140 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 140 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi tidak stabil.

3.2.8. Target Kedalaman 160 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 160 cm.

[Figure 42 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 160 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 160 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi sedikit tidak stabil.

3.2.9. Target Kedalaman 180 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 180 cm.

[Figure 43 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 180 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 180 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi kurang tidak stabil.

3.2.10. Target Kedalaman 200 cm

Berikut adalah grafik respons robot pada target kedalaman 200 cm.

[Figure 44 about here.]

Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 200 cm.

Dari grafik yang didapat robot sudah dapat mencapai kedalaman 200 cm. Tetapi robot masih memiliki sedikit osilasi dan saat awal motor tidak instan dalam menenggelamkan robot yang menjadikan robot menjadi sedikit tidak stabil. Dari seluruh percobaan yang dilakukan, didapatkan bahwa semakin robot mencapai kedalaman lebih dari 60 cm, kontrol kedalaman menjadi lebih stabil. Hal ini disebabkan oleh rentang waktu koreksi yang lebih panjang serta kebutuhan daya dorong yang lebih sedikit dibandingkan saat awal penyelaman atau pada kedalaman kurang dari 60 cm.

IV. CONCLUSION

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem kontrol PID pada AUV untuk meningkatkan kontrol kedalaman dan manuver. Sensor tekanan dan giroskop, bersama PID, memungkinkan AUV menjaga kedalaman yang stabil dan mengikuti sudut target di lingkungan bawah air.

Pengujian manuver menunjukkan bahwa robot dapat merespons perubahan sudut dengan baik, terutama pada sudut 30° dan 90°. Namun, pada target 180°, terjadi error signifikan yang memerlukan perbaikan, sementara pada sudut 0° terjadi osilasi yang masih perlu disempurnakan.

Pada pengujian kedalaman, robot kesulitan pada target 20 cm karena sensitivitas sensor yang rendah. Kedalaman terbaik yang didapatkan dari pengujian adalah 100 cm. Pada kedalaman ini, kontrol PID menunjukkan stabilitas yang lebih baik dan osilasi berkurang signifikan dibandingkan kedalaman lain di kurang dari 60 cm.

Secara keseluruhan, sistem ini telah menunjukkan kinerja yang baik, meski masih diperlukan penyempurnaan untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi dalam kondisi tertentu.

V. ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Dr.

Muh. Taufiqurrohman, S.T., M.T., dan Safriudin Rifandi, S.T., M.Tr.T. atas bimbingan dan dukungannya sepanjang penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada badan pendanaan dan institusi yang telah memungkinkan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] R. Arto, L. Prakoso, and D. Sianturi, "Strategi Pertahanan Laut Indonesia dalam Perspektif Maritim Menghadapi Globalisasi Indonesia's Deep Marine Defense Strategy Maritime's Perspective Facing Globalization," *Jurnal Pertahanan*, Dec. 2022.
- [2] A. Harris, L. Yudho Prakoso, and D. Sianturi, "Strategi Pertahanan Laut dalam Rangka Ancaman Keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia II: Marine Defense Strategy in the Framework of Security Threats in Indonesian Archipelagic Sea Lanes II," *Jurnal Strategi Pertahanan Laut*, vol. 5, no. 1, pp. 15–30, 2019, doi: 10.33510/slki.2019.13.
- [3] R. Dewa and A. Dewa, "Pengembangan Robot Bawah Air Berbasis Arduino Mega 2560," Makassar, Sep. 2020.
- [4] I. Anshory, "Performance Analysis Stability Of Speed Control Of BLDC Motor Using PID-BAT Algorithm In Electric Vehicle," 2017.
- [5] D. Santoso, F. Suratman, and R. Nugraha, "Kontrol Posisi Kedalaman Robot Kapal Selam dengan Menggunakan Metode PID: Depth Position Control of Submarine Robot Using PID Method," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 1560–1565, Aug. 2017.
- [6] F. N. Nurisma and P. Basuki, "Purwarupa Robot Kapal Selam Menggunakan Kontrol PD Berbasis Mikrokontroler Atmega32," *IJEIS*, vol. 3, no. 1, pp. 61–70, 2013.
- [7] Y. Colia, V. C. Poekoel, and J. Litouw, "Kestabilan Kendali PID Untuk Sistem Navigasi Pada Robot Underwater ROV (Remotely Operated Vehicle)," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 2, pp. 143–150, 2018.
- [8] M. Zaman and M. Taufiqurrohman, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Pemantau ROV (Remotely Operated Vehicles) Berbasis Android," *JURNAL TRIAC*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [9] Siswanto, M. Anif, D. Nur Hayati, Budi Luhur, and Yuhefizar, "Pengamanan Pintu Ruangan Menggunakan Arduino Mega 2560, MQ-2, DHT-11 Berbasis Android," *JURNAL RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 1, no. 3, pp. 66–72, 2019.
- [10] L. E. Juwita and S. Suryadhi, "Rancang Bangun Sistem Observasi Keadaan Atmosfer Bumi Menggunakan Drone," *JEEE-U*

- (*Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA*), vol. 2, no. 2, pp. 86–91, Oct. 2018, doi: 10.21070/jeeeu.v2i2.1700.
- [11] F. Irawan and A. Yulianto, “Perancangan Prototype Robot Observasi Bawah Air dan Kontrol Hovering Menggunakan Metode PID Control,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [12] F. Dario, J. Ronaldo, and M. Abraham, “Stewart-Gough Platform: Design and Construction with a Digital PID Controller Implementation,” 2020. [Online]. Available: www.intechopen.com
- [13] L. Nagel, “What is an electronic speed controller & how does an esc work,” Tyto Robotics. [Online]. Available: <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/what-is-an-esc-how-does-an-esc-work>

*Correspondent e-mail address

azrielsyaqiq9@gmail.com Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

© 2025 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 2024-07-08

Accepted: 2025-03-24

Published: 2025-04-30

DAFTAR GAMBAR

Figure 1.	Diagram Blok Sistem.....	11
Figure 2.	Rancangan robot bawah air tampak atas.....	11
Figure 3.	Rancangan robot bawah air tampak depan	11
Figure 4.	Rancangan robot bawah air tampak samping.....	12
Figure 5.	Arduino Mega 2560	12
Figure 6.	Pressure Sensor 5 Vdc 0-12 Bar 174 psi.....	12
Figure 7.	Gyroscope	13
Figure 8.	Brushless Motor Speed Controller.....	13
Figure 9.	Brushless Motor.....	13
Figure 10.	Hasil Perancangan Alat Robot Bawah Air.....	13
Figure 11.	Uji manuver robot dengan target sudut 0°	14
Figure 12.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 0°.....	14
Figure 13.	Uji manuver robot dengan target sudut 30°	14
Figure 14.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 30°.....	15
Figure 15.	Uji manuver robot dengan target sudut 60°	15
Figure 16.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 60°.....	15
Figure 17.	Uji manuver robot dengan target sudut 90°	16
Figure 18.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 90°.....	16
Figure 19.	Uji manuver robot dengan target sudut 120°	16
Figure 20.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 120°.....	17
Figure 21.	Uji manuver robot dengan target sudut 150°	17
Figure 22.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 150°.....	17
Figure 23.	Uji manuver robot dengan target sudut 180°	18
Figure 24.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut 180°.....	18
Figure 25.	Uji manuver robot dengan target sudut -150°.....	18
Figure 26.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut -150°.....	19
Figure 27.	Uji manuver robot dengan target sudut -120°.....	19
Figure 28.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut -120°.....	19
Figure 29.	Uji manuver robot dengan target sudut -90°.....	20
Figure 30.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut -90°.....	20
Figure 31.	Uji manuver robot dengan target sudut -60°.....	20
Figure 32.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut -60°.....	21
Figure 33.	Uji manuver robot dengan target sudut -30°.....	21
Figure 34.	PWM Uji manuver robot dengan target sudut -30°.....	21
Figure 35.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 20 cm	22
Figure 36.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 40 cm	22
Figure 37.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 60 cm	22
Figure 38.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 80 cm	23
Figure 39.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 100 cm	23
Figure 40.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 120 cm	23

Figure 41.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 140 cm	24
Figure 42.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 160 cm	24
Figure 43.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 180 cm	24
Figure 44.	Uji kendali kedalaman robot dengan target kedalaman 200 cm	25

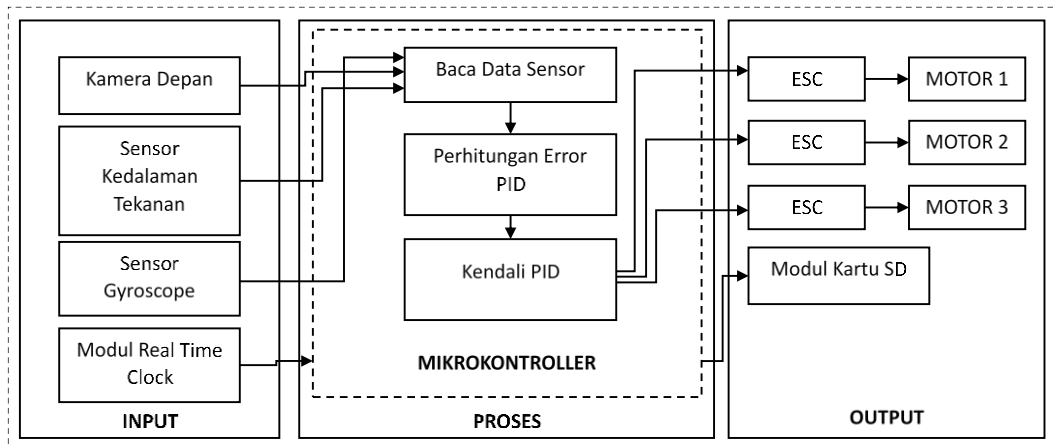


Figure 1. Diagram Blok Sistem

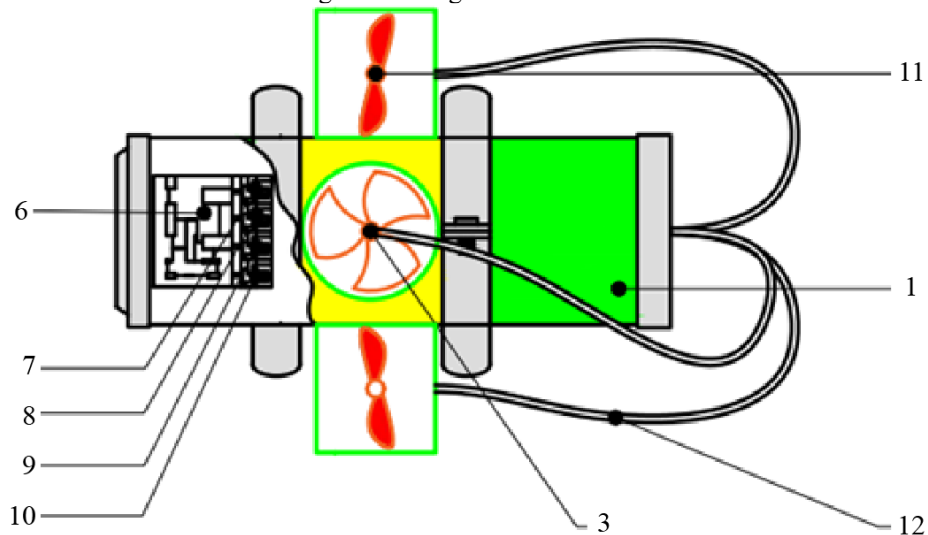


Figure 2. Rancangan Robot Bawah Air Tampak Atas

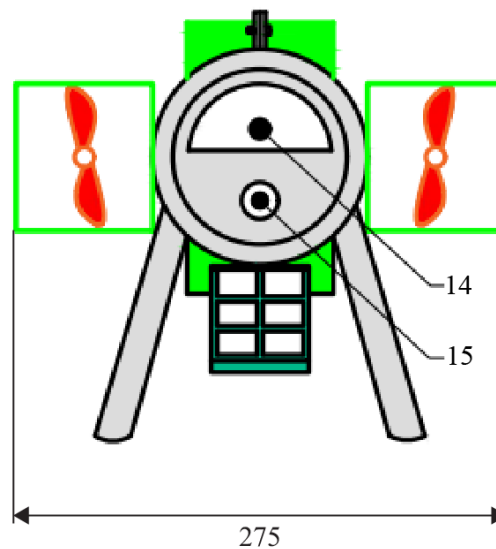


Figure 3. Rancangan Robot Bawah Air Tampak Depan

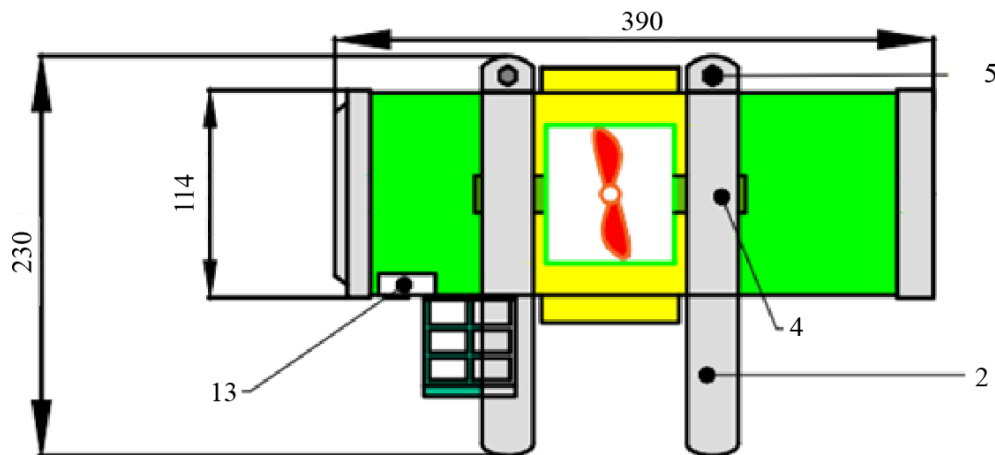


Figure 4. Rancangan Robot Bawah Air Tampak Samping



Figure 5. Arduino Mega 2560



Figure 6. Pressure Sensor 5 Vdc 0-12 Bar 174 psi

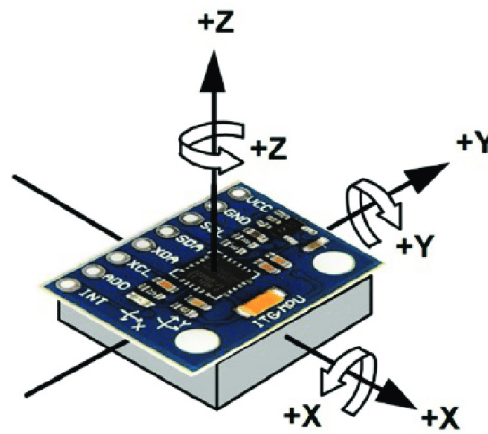


Figure 7. Gyroscope



Figure 8. Brushless Motor Speed Controller

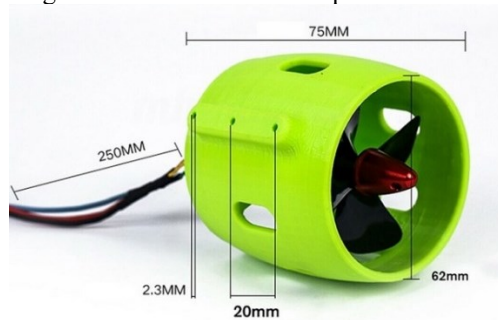


Figure 9. Brushless Motor



Figure 10. Hasil Perancangan Alat Robot Bawah Air

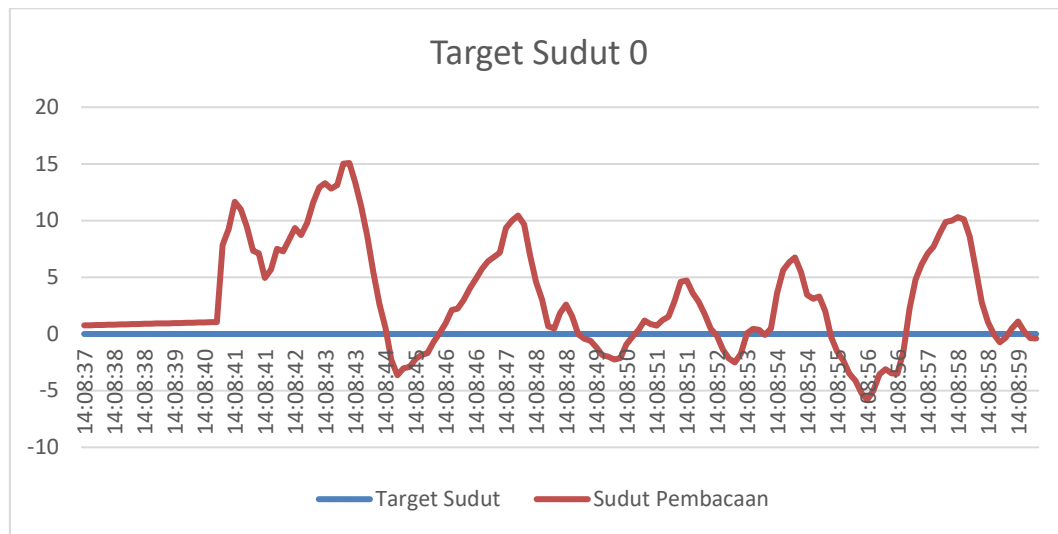


Figure 11. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 0°

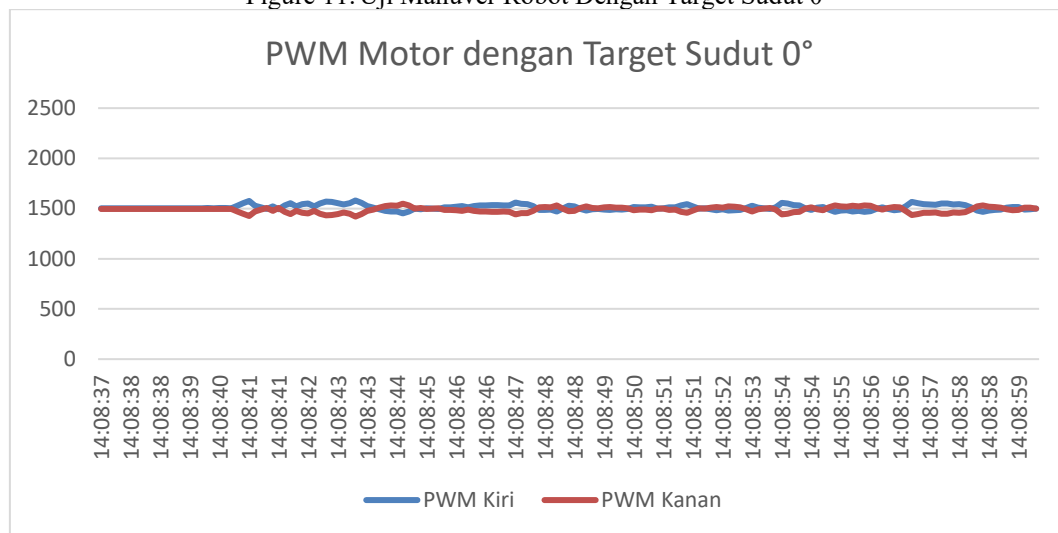


Figure 12. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 0°

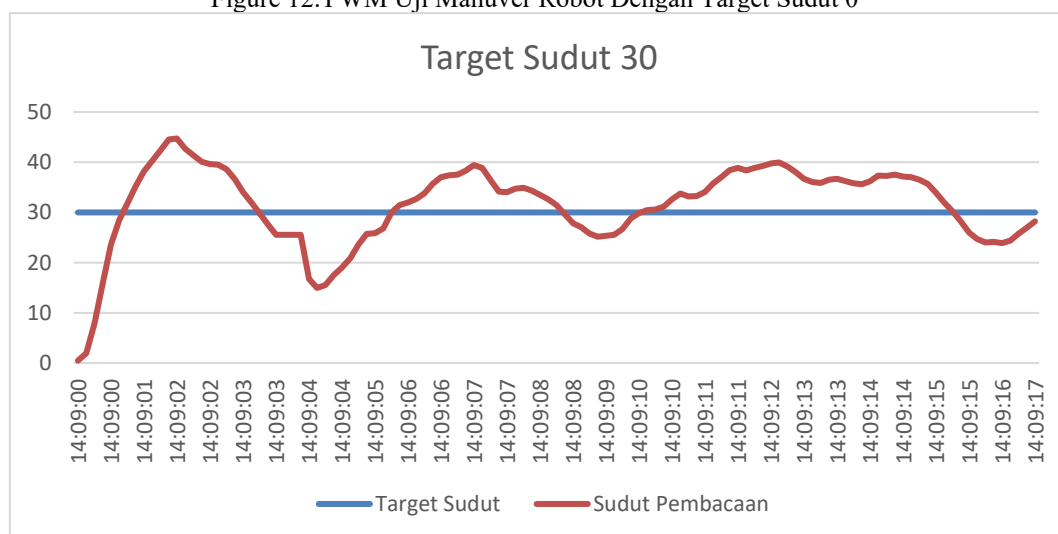


Figure 13. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 30°

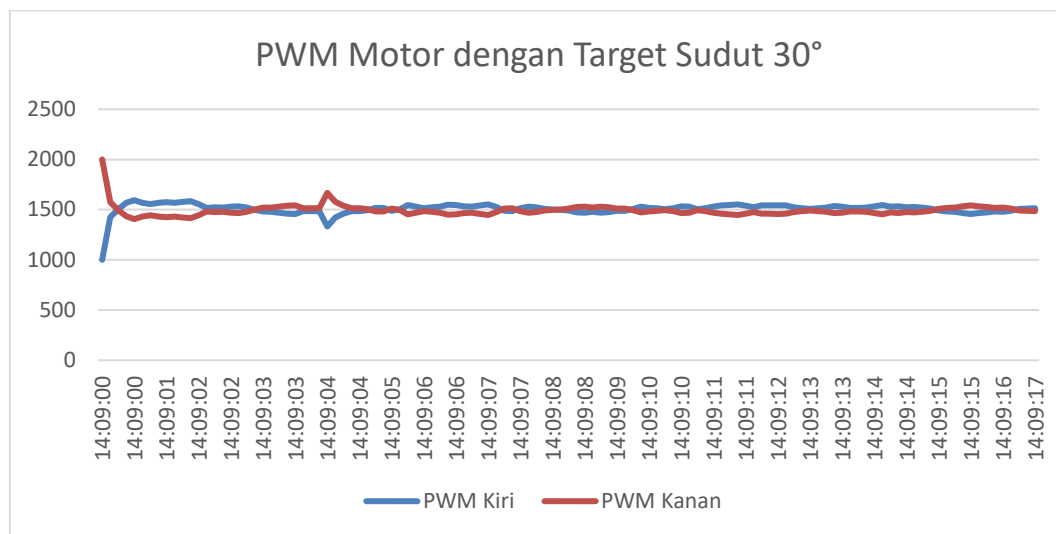


Figure 14. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 30°

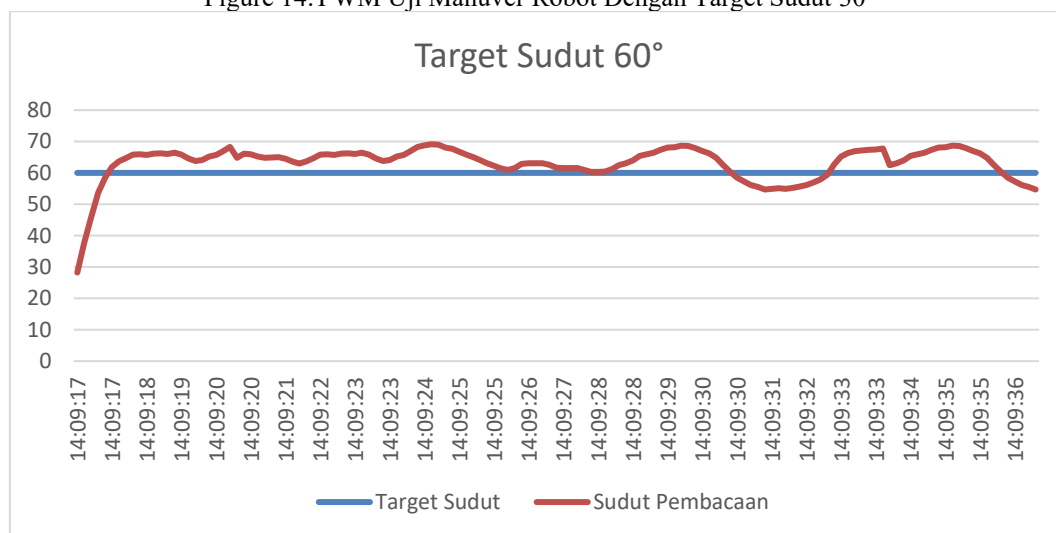


Figure 15. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 60°

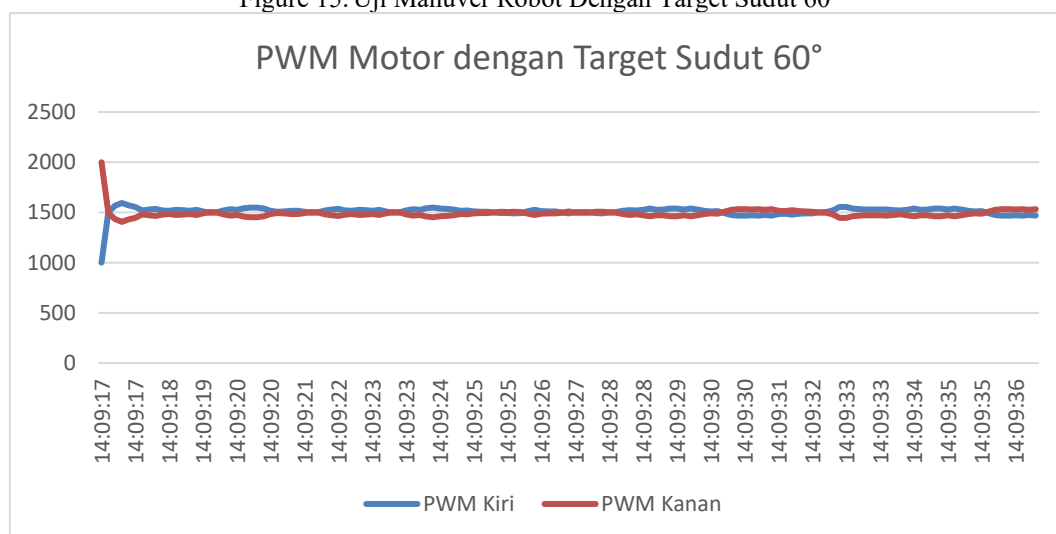


Figure 16. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 60°

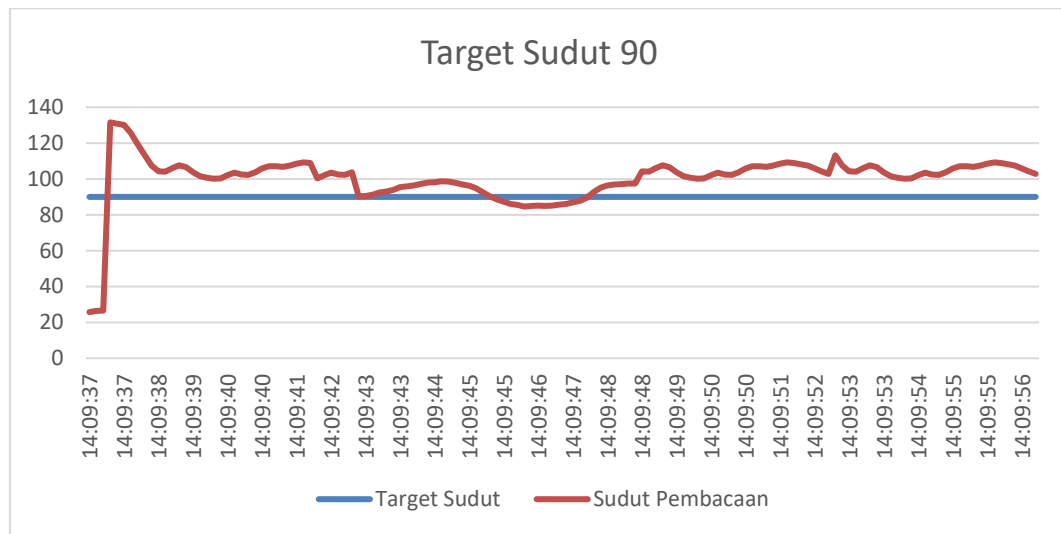


Figure 17. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 90°

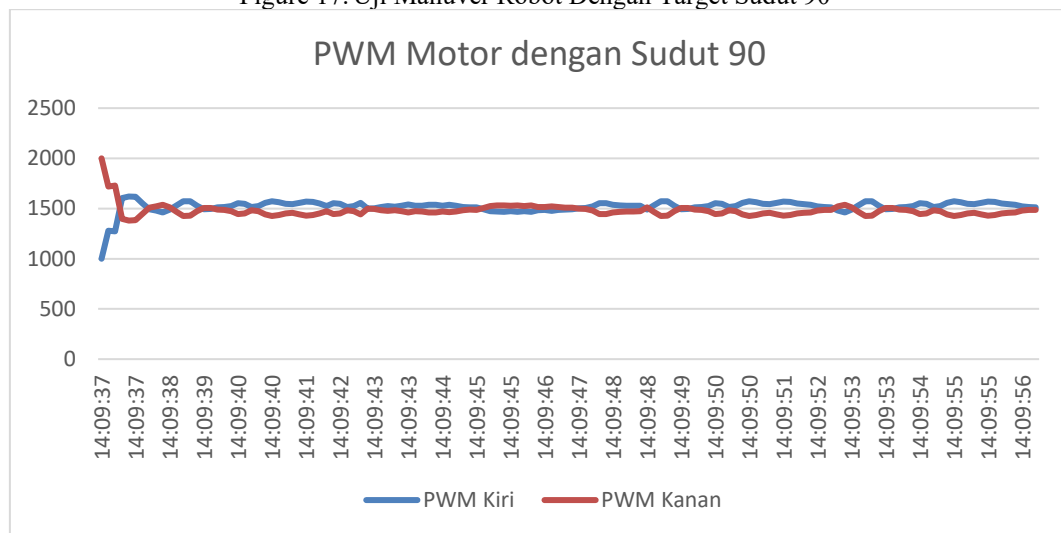


Figure 18. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 90°

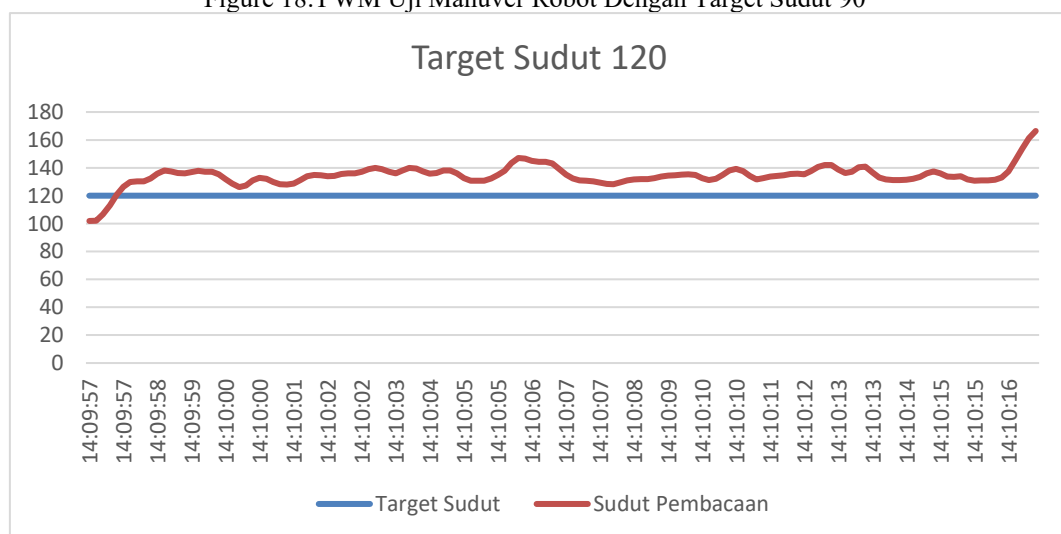


Figure 19. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 120°

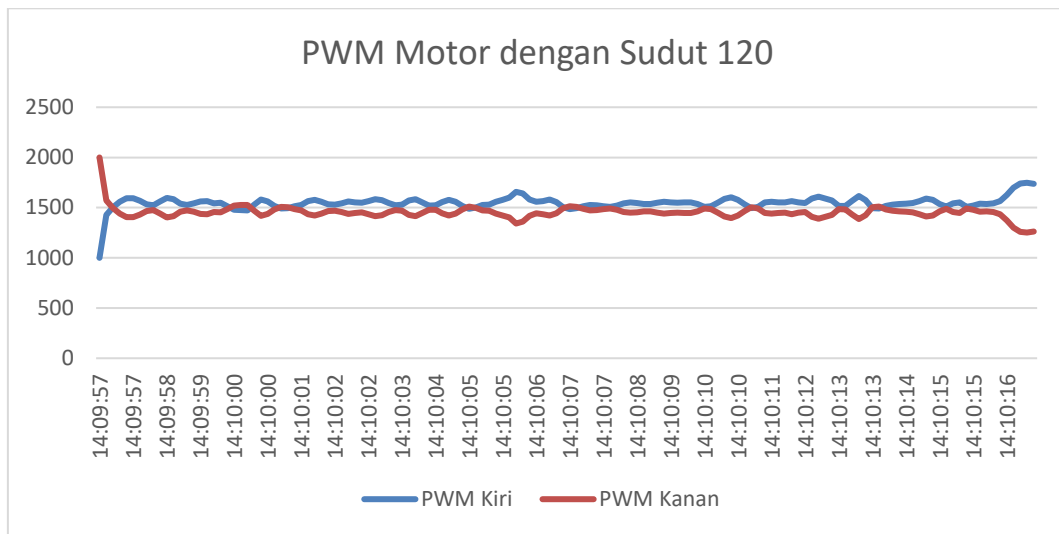


Figure 20. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 120°

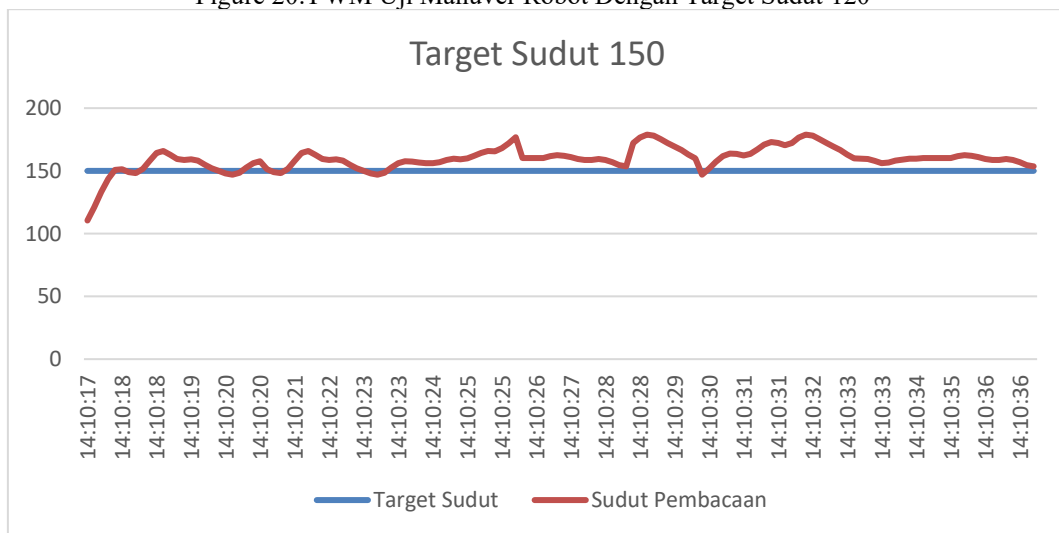


Figure 21. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 150°

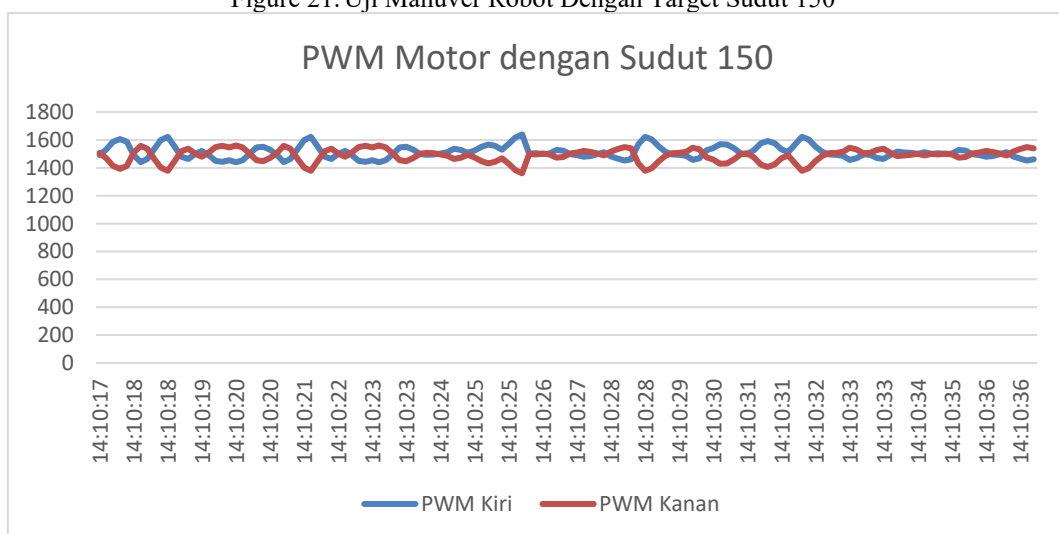


Figure 22. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 150°

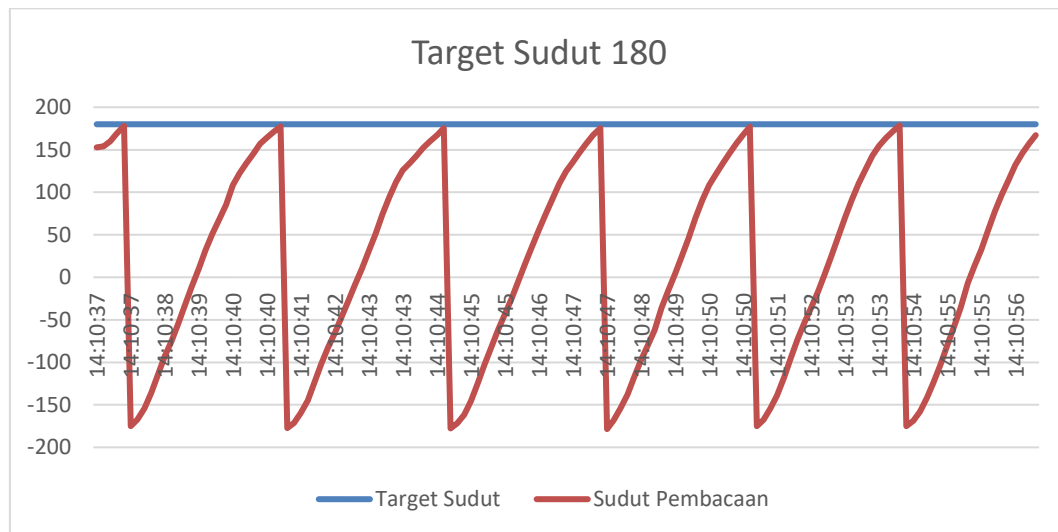


Figure 23. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 180°

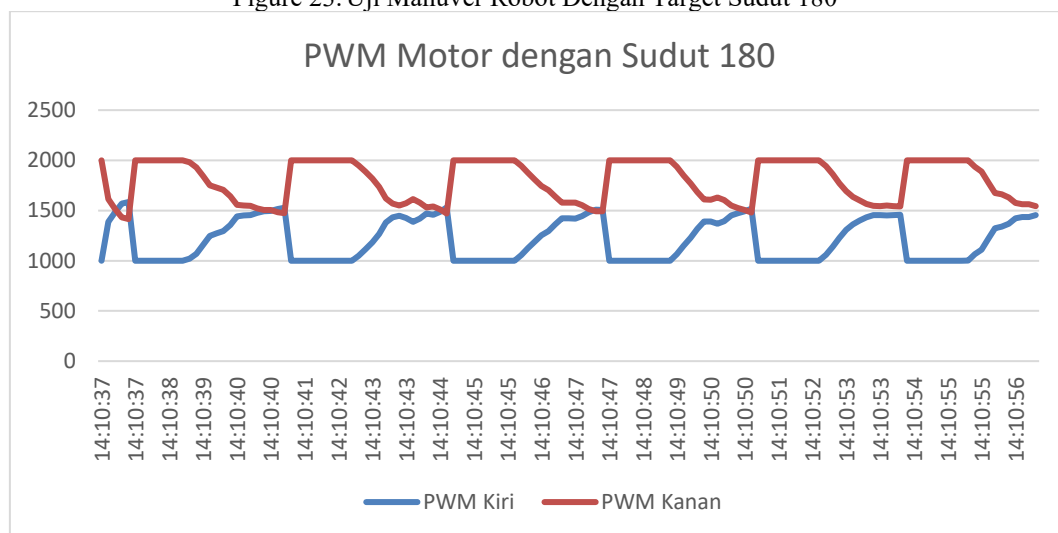


Figure 24. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut 180°

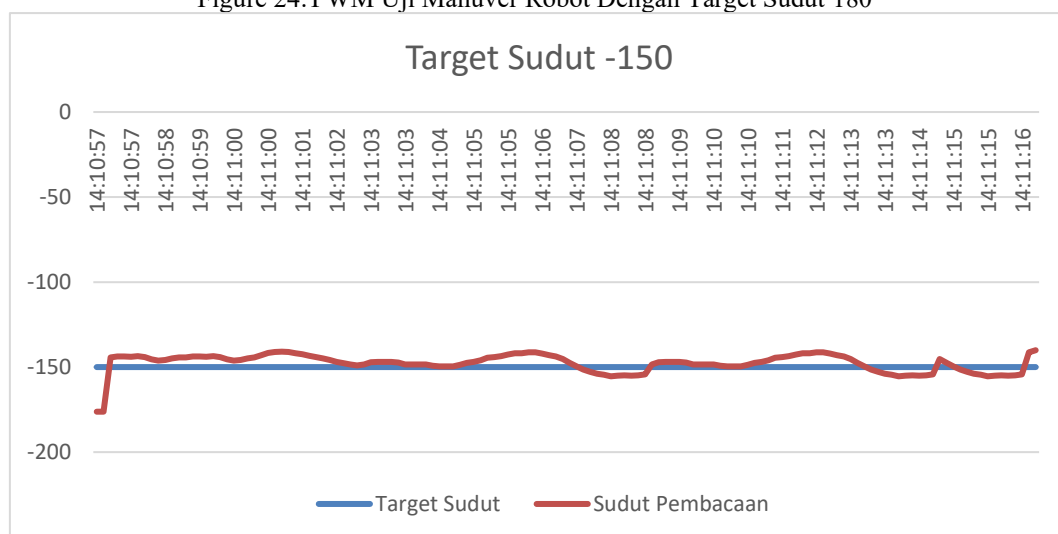


Figure 25. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -150°

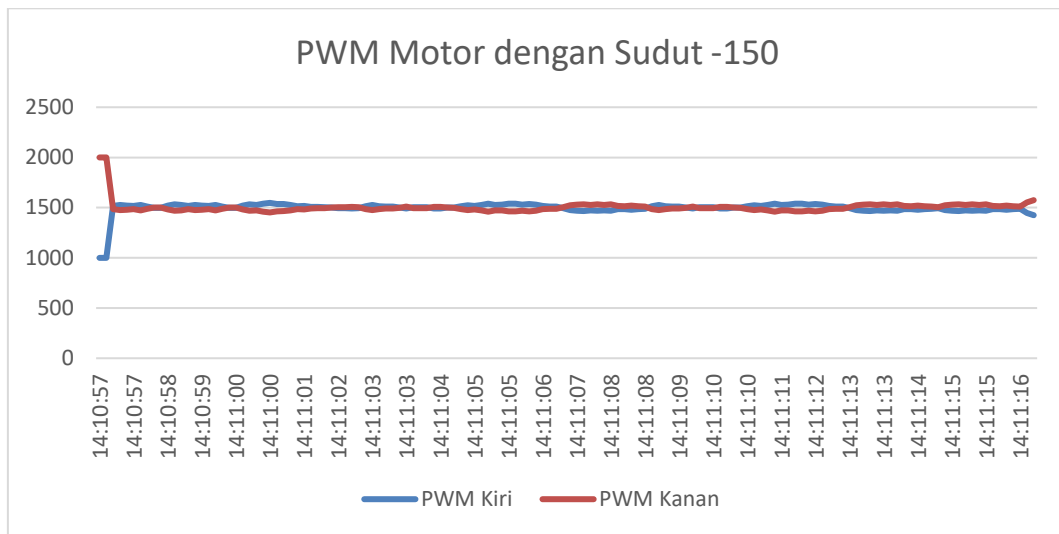


Figure 26. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -150°

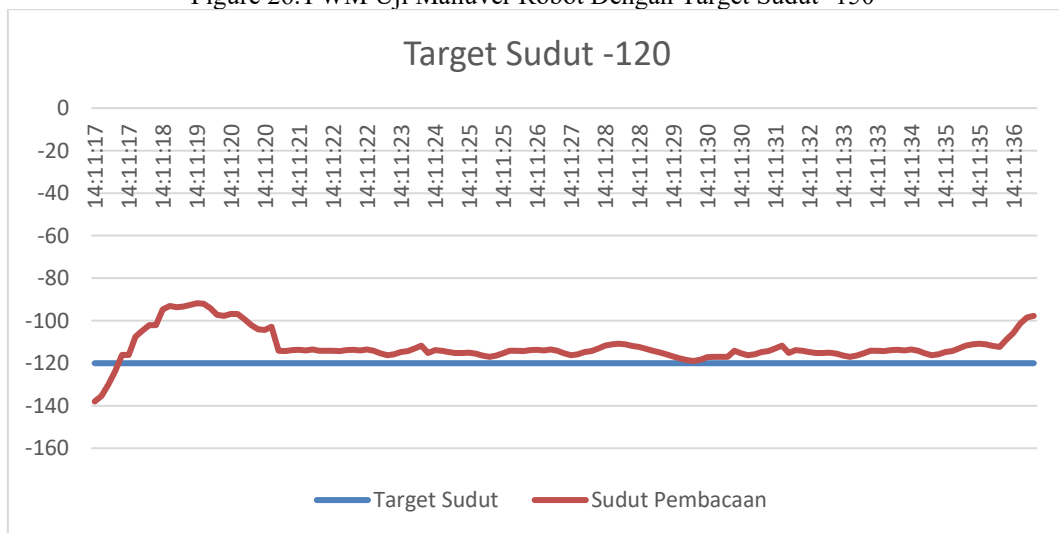


Figure 27. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -120°

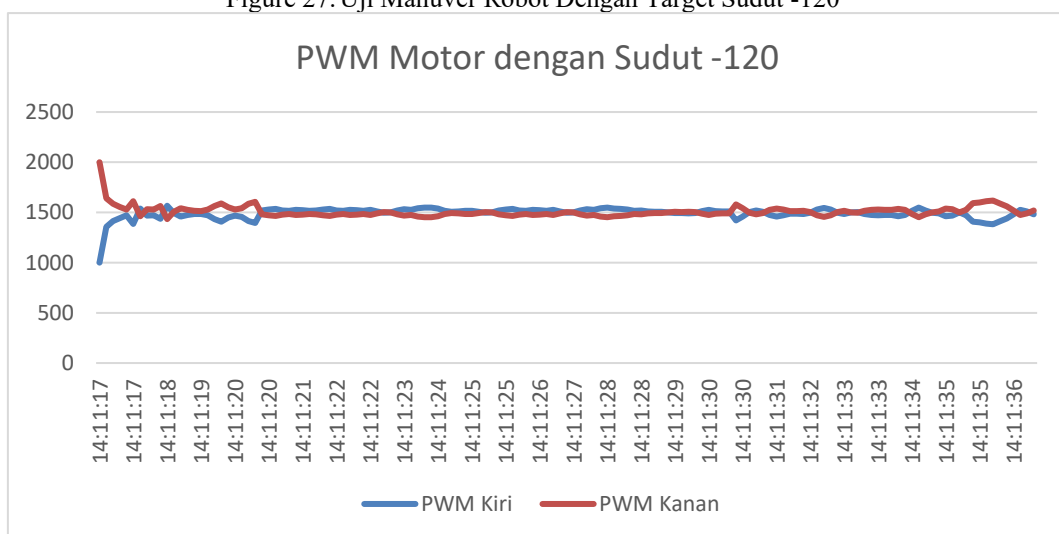
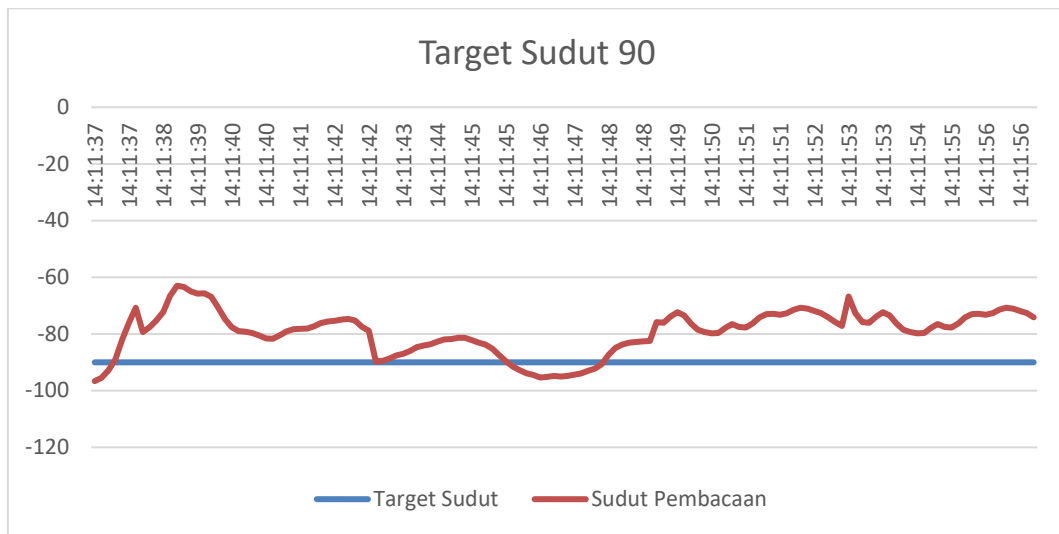
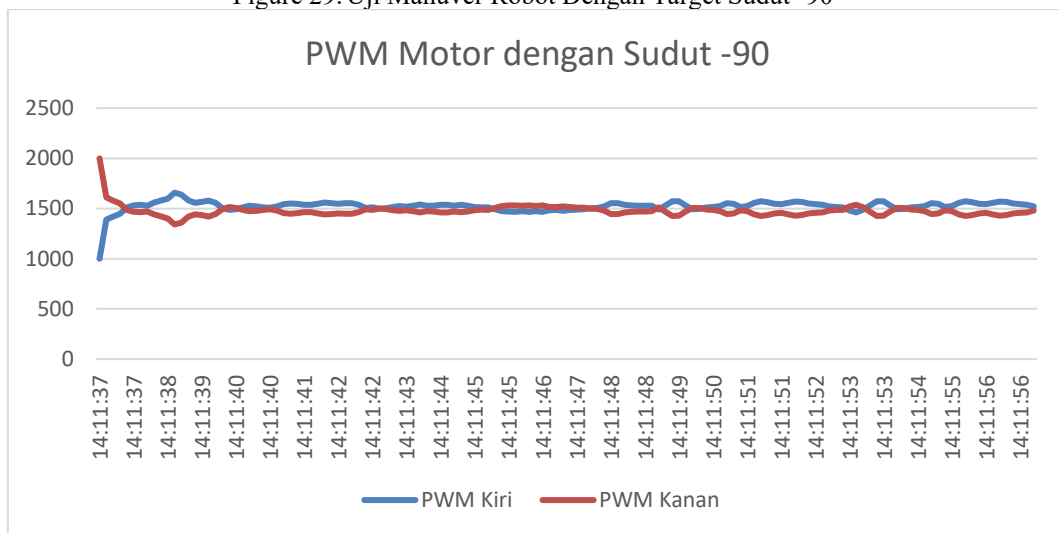
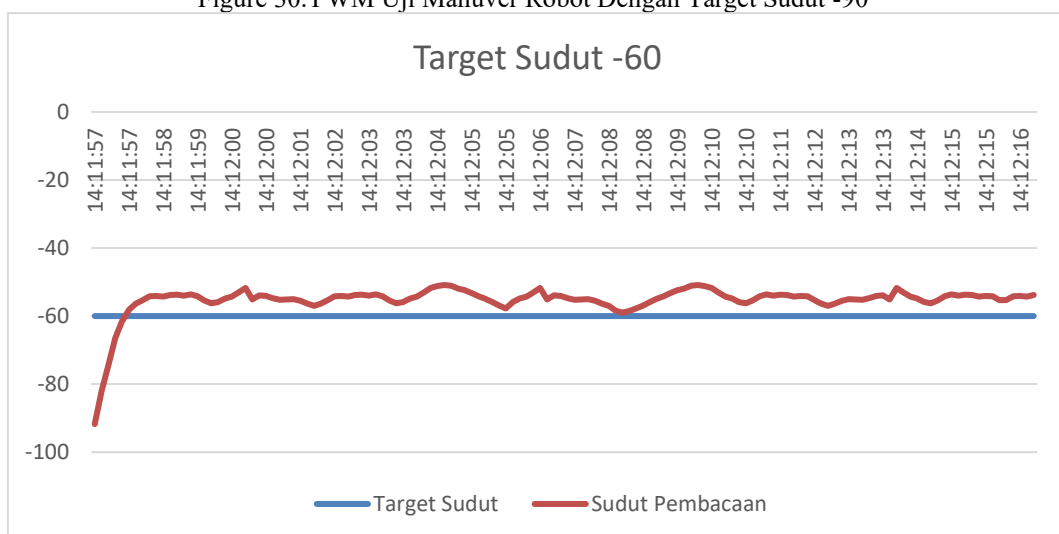


Figure 28. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -120°

Figure 29. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -90° Figure 30. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -90° Figure 31. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -60°

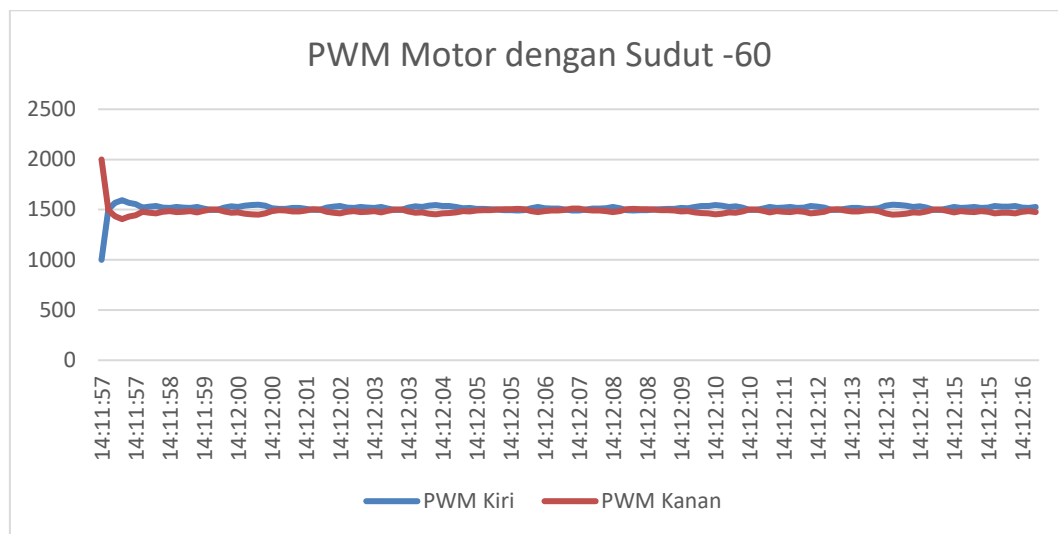


Figure 32. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -60°

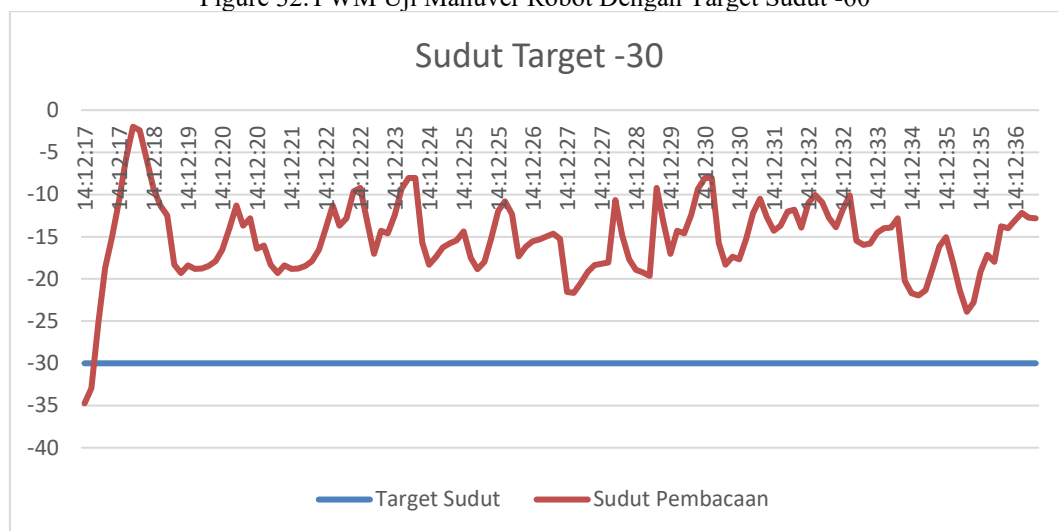


Figure 33. Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -30°

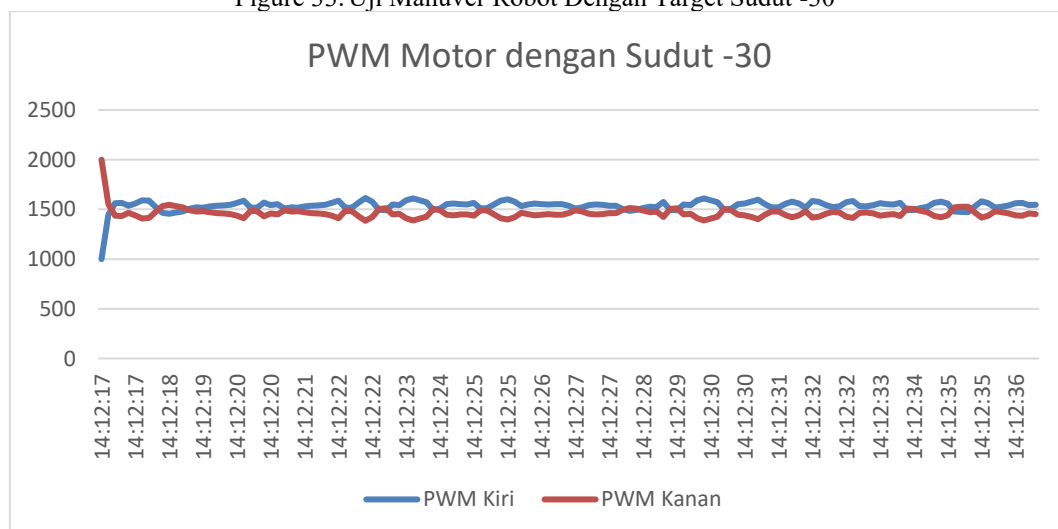


Figure 34. PWM Uji Manuver Robot Dengan Target Sudut -30°

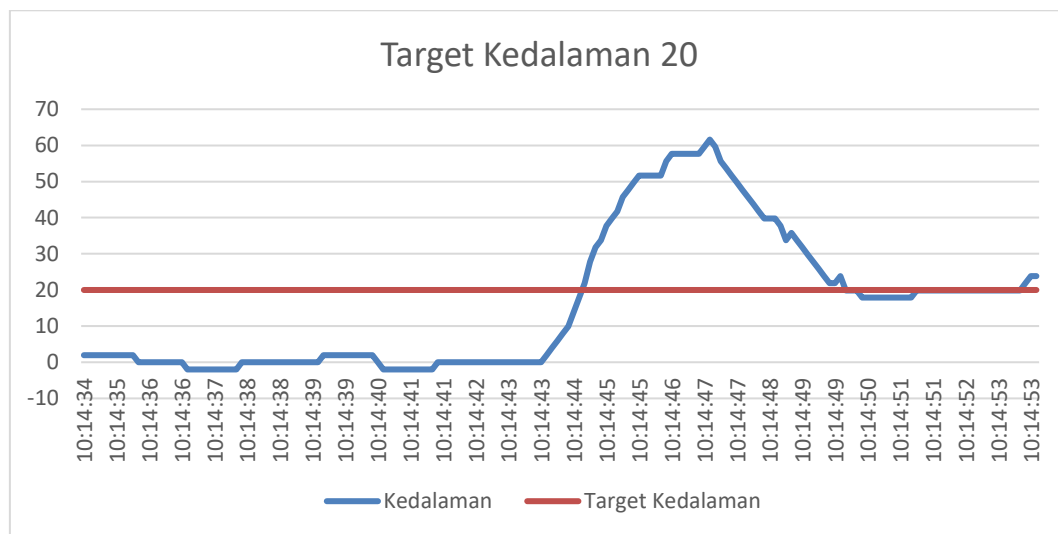


Figure 35. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 20 Cm

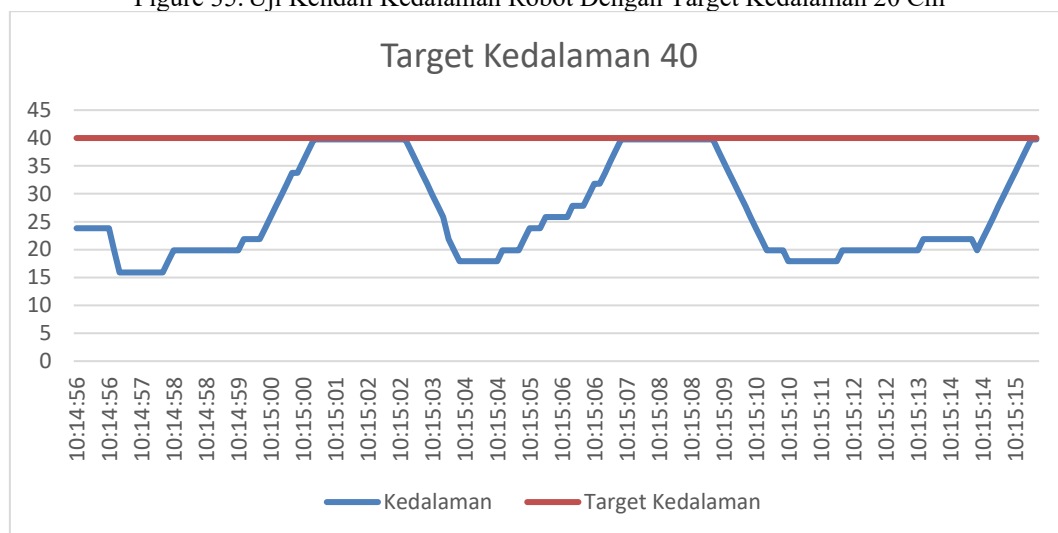


Figure 36. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 40 Cm

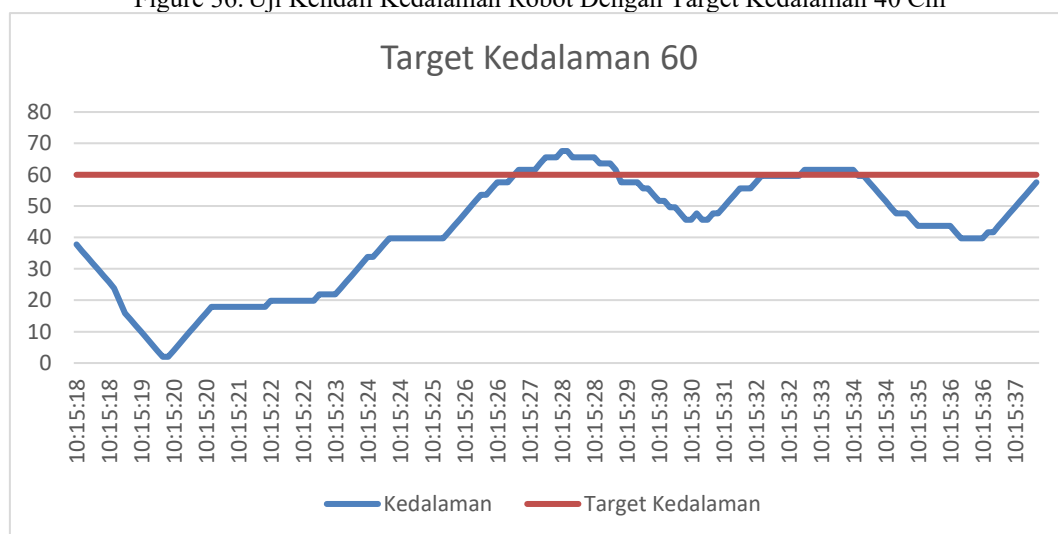


Figure 37. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 60 Cm

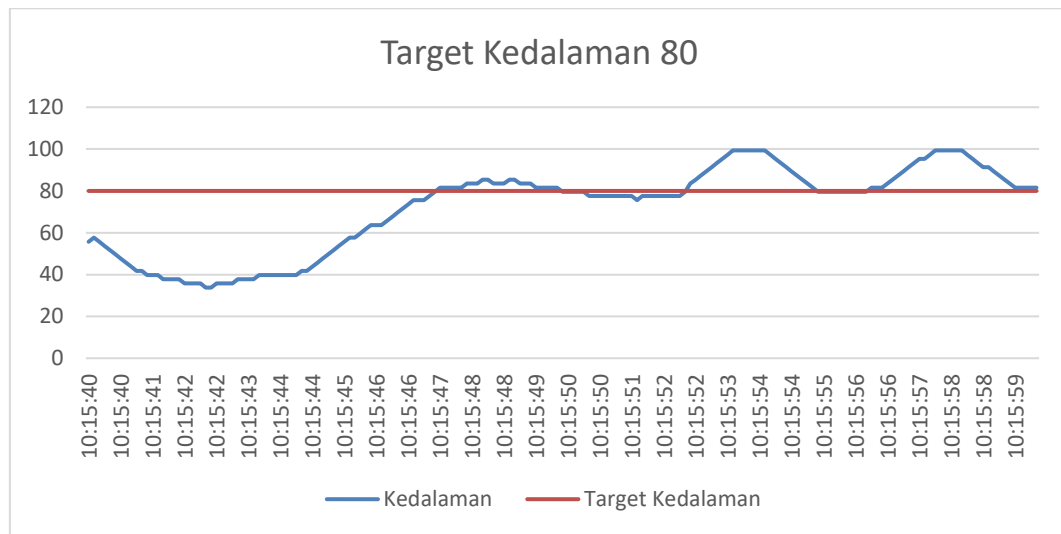


Figure 38. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 80 Cm

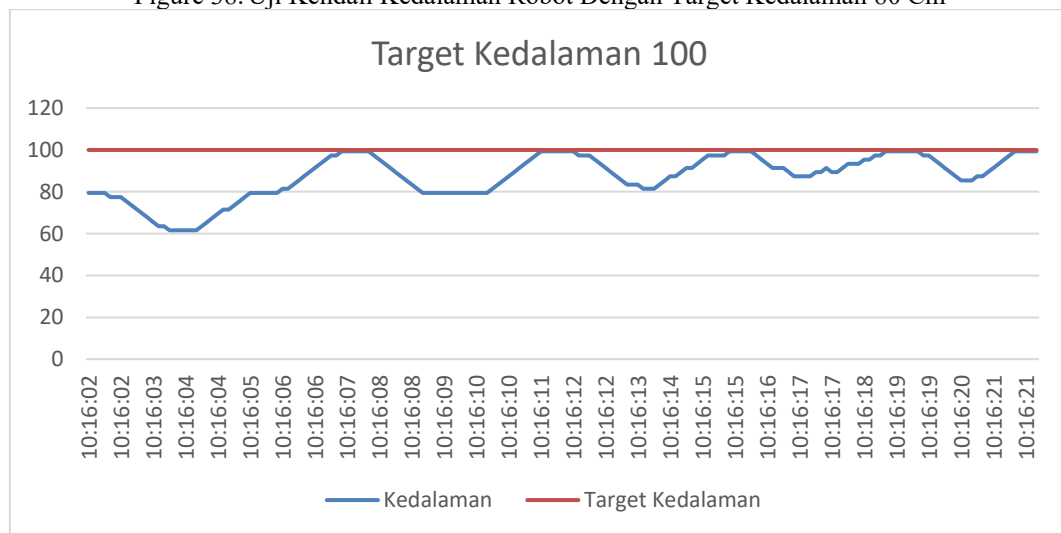


Figure 39. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 100 Cm

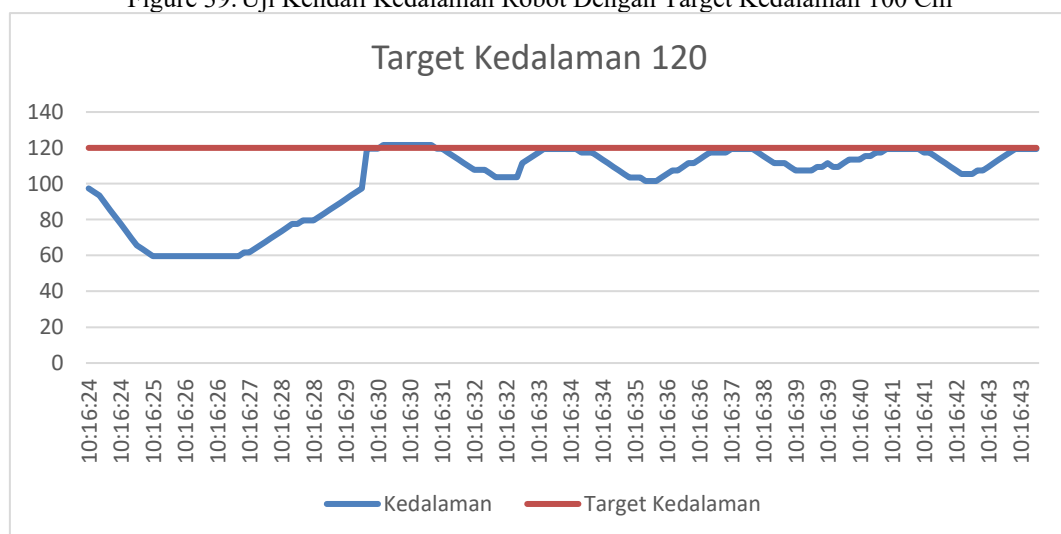


Figure 40. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 120 Cm

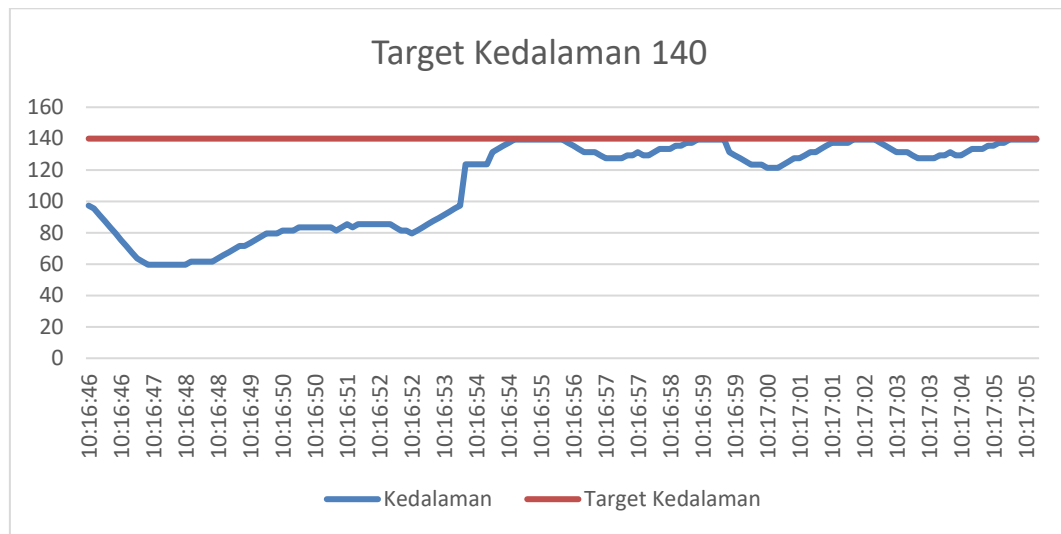


Figure 41. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 140 Cm

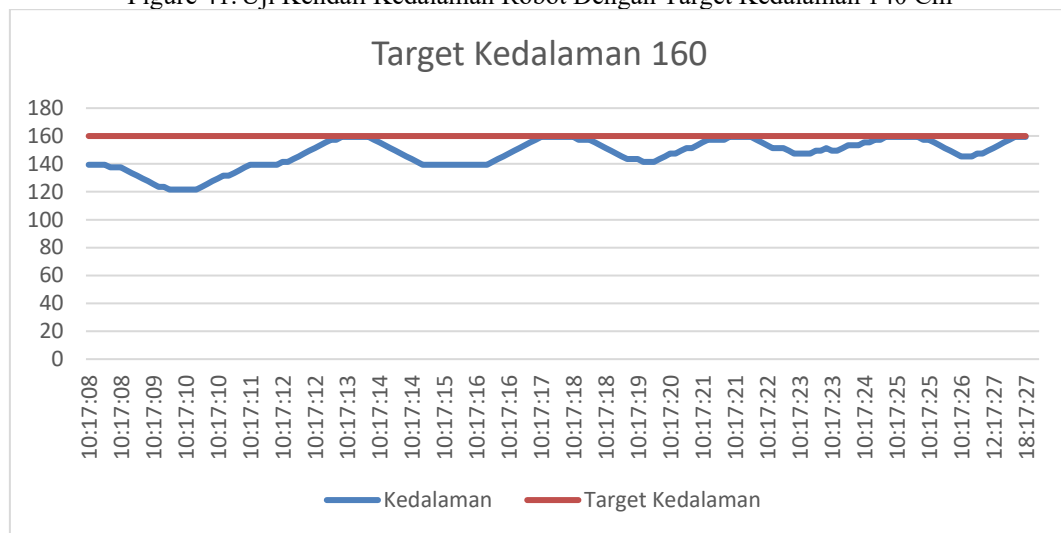


Figure 42. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 160 Cm

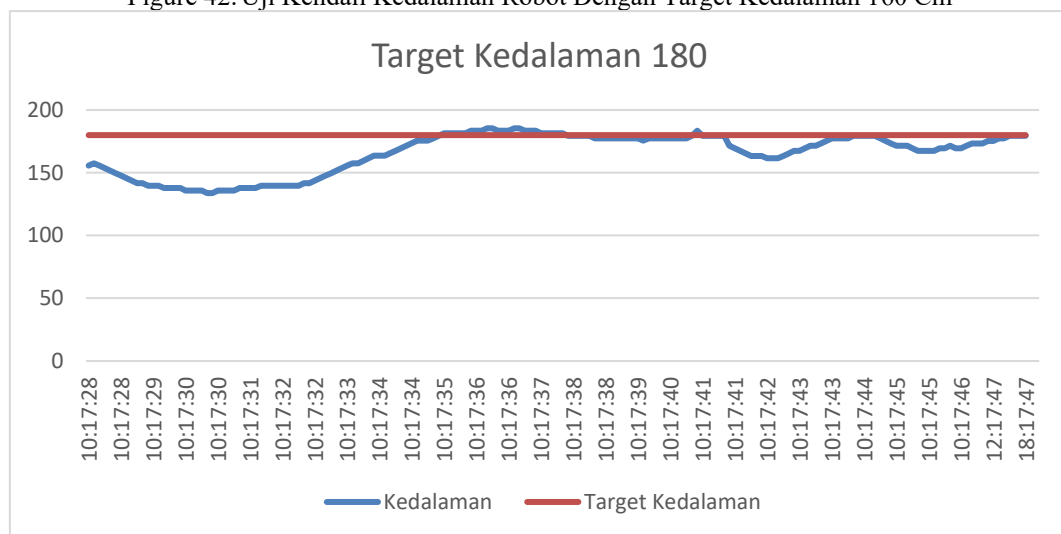


Figure 43. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 180 Cm

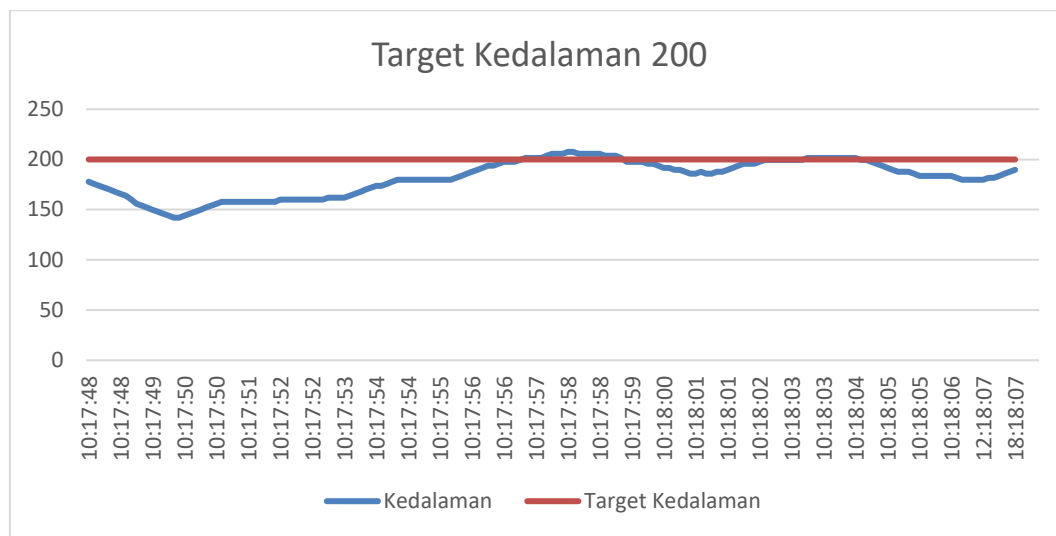


Figure 44. Uji Kendali Kedalaman Robot Dengan Target Kedalaman 200 Cm