

Analisis Akurasi Sensor *Gyroscope* HWT901B-TTL untuk Estimasi Orientasi Robot Sepak Bola Beroda

Dhika Arya Pratama^{1*}, Agus Khumaidi², Riko Satrya Fajar Jaelani Putra³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Program Studi Teknik Otomasi,

²Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

*Penulis Korespondensi, e-mail: dhikaarya12@student.ppns.ac.id

Received: 04/04/2026

Revised: 14/05/2026

Accepted: 16/05/2026

ABSTRAK

Perkembangan robot sepak bola beroda menuntut sistem navigasi yang mampu menentukan arah hadap (orientasi) secara akurat dan *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akurasi sensor *gyroscope* HWT901B-TTL dalam mengukur sudut orientasi robot. Metode yang digunakan meliputi implementasi sensor pada perangkat keras robot serta pengujian dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi berupa kompas digital pada *smartphone* dan busur derajat 360° pada berbagai variasi sudut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap nilai referensi, dengan rentang *error* sebesar 0.0% hingga 0.33% dan rata-rata *error* sebesar 0.025% pada pengujian menggunakan kompas digital, serta *error* sebesar 0.0% pada pengujian menggunakan busur dalam batas resolusi pengukuran. Dengan demikian, sensor *gyroscope* HWT901B-TTL menunjukkan akurasi dan konsistensi yang baik dalam kondisi pengujian statis serta layak digunakan sebagai komponen dalam sistem navigasi robot sepak bola beroda untuk menentukan arah hadap secara *real-time*.

Kata Kunci: *Gyroscope*, Orientasi Robot, Akurasi Sensor, Robot Sepak Bola Beroda, HWT901B-TTL

ABSTRACT

The development of wheeled soccer robots requires a navigation system capable of determining orientation accurately and in real-time. This study aims to analyze the accuracy of the HWT901B-TTL gyroscope sensor in measuring the robot's orientation angle. The method includes implementing the sensor on robot hardware and conducting tests by comparing sensor readings with reference values obtained from a smartphone digital compass and a 360° protractor at various angle variations. The results show that the sensor has a high level of agreement with the reference values, with an error range of 0.0% to 0.33% and an average error of 0.025% when using the digital compass, and 0.0% error when using the protractor within the measurement resolution limits. Therefore, the HWT901B-TTL gyroscope sensor demonstrates good accuracy and consistency under static testing conditions and is suitable for use as a component in the navigation system of wheeled soccer robots to determine orientation in real-time.

Keywords: *Gyroscope, Robot Orientation, Sensor Accuracy, Wheeled Soccer Robot, HWT901B-TTL*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika pada robot sepak bola beroda, khususnya dalam kompetisi Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI-B), menuntut sistem robot untuk mampu bergerak secara otonom dan merespons lingkungan secara *real-time* [1]. Salah satu aspek penting dalam sistem navigasi adalah kemampuan dalam mengetahui arah hadap (orientasi) secara presisi. Ketidaktepatan orientasi dapat menyebabkan kesalahan pergerakan robot dalam melakukan manuver, menghadapi arah datang bola, serta menentukan posisi terhadap gawang [2].

Pada sistem robot beroda, informasi orientasi diperoleh dari sensor *gyroscope* yang berfungsi mengukur kecepatan sudut dan sudut rotasi terhadap sumbu tertentu. Sensor ini berperan sebagai umpan

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

balik dalam menjaga kestabilan arah gerak robot selama beroperasi. Namun, akurasi pembacaan sudut dari sensor *gyroscope* dapat dipengaruhi oleh *noise*, *drift*, serta kondisi lingkungan, sehingga diperlukan pengujian untuk memastikan bahwa sensor mampu memberikan data yang akurat dan stabil sebelum digunakan dalam sistem navigasi [2].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis akurasi sensor *gyroscope* HWT901B-TTL dalam mengukur sudut orientasi robot. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai referensi berupa kompas digital *smartphone* pada beberapa variasi sudut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor dalam merepresentasikan orientasi robot, sehingga dapat diketahui kelayakan penggunaannya sebagai komponen sistem navigasi yang bekerja secara real-time.

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk implementasi dan evaluasi sensor *gyroscope* HWT901B-TTL pada sistem robot sepak bola beroda dengan pendekatan pengujian satu siklus penuh orientasi. Selain itu, penelitian ini menerapkan proses normalisasi dan koreksi sudut untuk meningkatkan konsistensi perhitungan error, serta pendekatan mekanis melalui penggunaan bracket berbahan akrilik yang dilengkapi dengan peredam berupa *foam* untuk meminimalkan pengaruh *noise* akibat getaran dan interferensi dari komponen robot. Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi akurasi sensor, tetapi juga mempertimbangkan aspek integrasi sensor dalam sistem robot secara keseluruhan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Teori Gyroscope

Gyroscope merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan sudut (*angular velocity*) dan perubahan orientasi suatu objek terhadap sumbu tertentu. Dalam sistem robotika, *gyroscope* berperan penting dalam menentukan arah rotasi serta menjaga kestabilan orientasi selama robot bergerak [2]. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan sudut terhadap waktu, yang kemudian diintegrasikan untuk memperoleh nilai sudut orientasi. Secara matematis, hubungan antara kecepatan sudut dan sudut orientasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\theta(t) = \int \omega(t)dt$$

Di mana $\theta(t)$ merupakan sudut orientasi terhadap waktu, dan $\omega(t)$ adalah kecepatan sudut yang diukur oleh sensor *gyroscope*. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa sudut orientasi diperoleh dari hasil integrasi kecepatan sudut terhadap waktu [3].

Pada implementasinya, pengukuran *gyroscope* sering mengalami penyimpangan yang disebabkan oleh *noise* dan *drift*, yaitu akumulasi kesalahan akibat proses integrasi yang berlangsung secara kontinu. Oleh karena itu, sensor *gyroscope* modern umumnya dilengkapi dengan pemrosesan internal untuk mengurangi pengaruh *noise* dan meningkatkan kestabilan pembacaan. Dalam aplikasi robot beroda, pengukuran difokuskan pada sumbu Z (*yaw*), yang merepresentasikan arah hadap robot terhadap bidang horizontal, sehingga informasi ini menjadi komponen penting dalam sistem navigasi dan pengendalian arah gerak robot [3].

2.2 Sensor Gyroscope HWT901B-TTL

Sensor HWT901B-TTL merupakan sensor berbasis *inertial measurement unit* (IMU) yang digunakan untuk mengukur orientasi dan kecepatan sudut suatu objek secara *real-time*. Sensor ini mampu memberikan informasi sudut pada tiga sumbu, yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Pada penelitian ini, pengukuran difokuskan pada sumbu Z (*yaw*) yang merepresentasikan arah hadap robot terhadap bidang horizontal [4].

Sensor HWT901B-TTL dilengkapi dengan pemrosesan internal yang memungkinkan data sudut yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan hasil integrasi *gyroscope* mentah. Data orientasi yang dihasilkan telah melalui proses filter internal sehingga mampu mengurangi pengaruh *noise* dan *drift*, serta menghasilkan



pembacaan yang lebih konsisten meskipun sensor mengalami pergerakan. Hal ini menjadikan sensor ini sesuai untuk aplikasi robotika yang membutuhkan informasi orientasi secara *real-time* [5].



Gambar 1 : Sensor *Gyroscope* HWT901B-TTL

Dalam implementasinya, sensor dihubungkan ke sistem pengolahan data melalui komunikasi serial TTL untuk memperoleh data sudut orientasi secara kontinu. Data yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai informasi arah hadap robot dalam sistem navigasi, khususnya pada pergerakan yang memerlukan penyesuaian orientasi terhadap target. Berdasarkan spesifikasi teknis, sensor ini memiliki rentang pengukuran hingga $\pm 180^\circ$ pada sumbu *yaw*, sehingga memungkinkan pengukuran sudut orientasi dalam satu bidang horizontal.

TABEL I : Spesifikasi Sensor HWT901B-TTL

Attribute	Value
Operating Voltage	5~36 V
Output	Z axis, Z-axis angular velocity
Range	Z : $\pm 180^\circ$
Accuracy	0.1°
Stability	0.05°
Return Rate	0.1~1000Hz (default 10Hz)
BaudRate	4800~921600 (default 9600)

2.3 Normalisasi dan Koreksi Sudut *Gyroscope*

Sensor gyroscope HWT901B-TTL menghasilkan keluaran sudut orientasi pada rentang $[-180^\circ, 180^\circ]$. Representasi ini umum digunakan pada sistem pengukuran sudut berbasis IMU, namun menimbulkan diskontinuitas pada batas $\pm 180^\circ$. Ketika sudut orientasi melewati 180° , nilai keluaran sensor akan berubah menjadi negatif, sehingga dapat menyebabkan kesalahan interpretasi data, khususnya pada proses perbandingan dengan nilai referensi yang umumnya dinyatakan dalam rentang $[0^\circ, 360^\circ)$. Kondisi ini berpotensi menghasilkan selisih sudut yang tidak representatif apabila tidak dilakukan penyesuaian domain data [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan proses normalisasi sudut dengan memetakan nilai keluaran sensor ke dalam rentang $[0^\circ, 360^\circ)$. Proses ini bertujuan untuk menyamakan domain data antara hasil pembacaan sensor dan nilai referensi, sehingga perbandingan dapat dilakukan secara konsisten [2]. Normalisasi dilakukan menggunakan operasi modulo yang mampu menangani nilai negatif maupun nilai yang melebihi satu siklus penuh akibat fluktuasi pembacaan. Secara matematis, proses normalisasi dinyatakan sebagai berikut:

$$\theta_{norm} = (\theta + 360) \bmod 360$$

di mana θ adalah sudut keluaran sensor dan θ_{norm} adalah sudut hasil normalisasi. Formulasi ini memastikan seluruh data berada pada domain yang sama dengan referensi, serta menghilangkan diskontinuitas pada batas $\pm 180^\circ$. Selain normalisasi, dilakukan koreksi selisih sudut (*angular difference*) untuk menghindari kesalahan perhitungan error akibat sifat periodik sudut. Selisih antara sudut sensor dan referensi dihitung sebagai selisih terkecil pada lingkaran satu putaran, sehingga menghindari kasus perbedaan besar yang semu (misalnya 359° dan 1°). Koreksi tersebut dinyatakan sebagai:



$$\Delta\theta = |((\theta_{sensor} - \theta_{ref} + 180) \bmod 360) - 180|$$

Dengan $\Delta\theta$ sebagai selisih sudut terkoreksi, perhitungan error menjadi lebih representatif terhadap perbedaan orientasi sebenarnya. Penerapan normalisasi dan koreksi ini memastikan proses evaluasi akurasi sensor dilakukan secara konsisten dan bebas dari artefak akibat batas representasi sudut [4].

2.4 Metode Pengujian dan Evaluasi Sensor

Pengujian sensor gyroscope HWT901B-TTL dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi pembacaan sudut orientasi terhadap nilai referensi. Sensor dipasang pada sistem robot sepak bola beroda dan dihubungkan ke perangkat pengolahan data melalui komunikasi serial TTL untuk memperoleh data sudut secara real-time. Data yang dihasilkan kemudian ditampilkan dan dicatat untuk keperluan analisis [6].

Sebagai nilai referensi, digunakan kompas digital pada smartphone yang berfungsi untuk merepresentasikan sudut orientasi dalam bidang horizontal. Sensor dan perangkat referensi ditempatkan pada posisi yang sejajar untuk memastikan kesesuaian arah pengukuran. Pengujian dilakukan dalam kondisi statis, di mana robot tidak bergerak selama proses pengambilan data berlangsung. Lingkungan pengujian dilakukan pada area indoor, yaitu lapangan regional KRSBI-B, untuk meminimalkan gangguan eksternal seperti perubahan kondisi lingkungan dan interferensi medan magnet yang tidak terkontrol [7].

Proses pengambilan data dilakukan dengan memutar robot secara bertahap pada beberapa variasi sudut dalam satu siklus penuh, yaitu mulai dari 0° hingga mendekati 360° dengan interval pengujian setiap 30° . Pada setiap posisi sudut, dilakukan pencatatan nilai sudut yang terbaca oleh sensor gyroscope serta nilai sudut dari kompas digital sebagai referensi. Pengambilan data dilakukan satu kali pada setiap sudut pengujian, sehingga data yang diperoleh merepresentasikan kondisi pembacaan sensor pada saat tertentu.

Penggunaan kompas digital pada smartphone sebagai alat referensi didasarkan pada kemudahan penggunaan serta kemampuan dalam memberikan informasi sudut. Meskipun demikian, alat ini memiliki keterbatasan terhadap gangguan medan magnet di lingkungan sekitar, sehingga nilai referensi yang diperoleh masih memiliki potensi deviasi terhadap kondisi sebenarnya. Oleh karena itu, hasil pengujian dalam penelitian ini digunakan sebagai evaluasi awal terhadap performa sensor dalam kondisi terkontrol. Untuk mengevaluasi kinerja sensor, dilakukan perhitungan error antara nilai sudut sensor dan nilai referensi. Perhitungan error didasarkan pada selisih sudut yang telah dikoreksi menggunakan metode *angular difference* sebagaimana dijelaskan pada Subbab 2.3

$$Error(\%) = \left| \frac{\Delta\theta}{\theta_{ref}} \right| \times 100\%$$

Di mana $\Delta\theta$ merupakan selisih sudut terkoreksi antara sensor dan referensi, sedangkan θ_{ref} adalah sudut referensi. Perhitungan ini dilakukan pada setiap titik pengujian, kemudian dihitung nilai rata-rata *error* untuk mengetahui performa keseluruhan sensor dalam merepresentasikan orientasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sensor pada *Hardware*

Sensor *gyroscope* HWT901B-TTL diintegrasikan pada sistem robot sepak bola beroda sebagai sumber utama informasi orientasi (*yaw*) secara *real-time*. Sensor dipasang pada badan robot dengan orientasi sumbu yang sejajar terhadap bidang horizontal untuk meminimalkan kesalahan pembacaan akibat kemiringan (*misalignment*). Penempatan ini memastikan bahwa sumbu Z pada sensor merepresentasikan arah hadap robot secara langsung. Secara arsitektural, sensor dihubungkan ke perangkat pengolahan data melalui antarmuka komunikasi serial TTL. Pada penelitian ini digunakan parameter komunikasi sesuai spesifikasi sensor, yaitu baud rate 9600 bps dengan frekuensi pembaruan data (*return rate*) *default*. Data sudut orientasi dikirim secara kontinu dalam bentuk derajat, kemudian diterima dan diproses oleh sistem untuk ditampilkan serta dicatat sebagai data pengujian. Alur data ini memungkinkan pemantauan perubahan orientasi secara langsung selama proses pengujian berlangsung.





Gambar 2: Implementasi Sensor *Gyroscope* pada Robot Sepak Bola Beroda

Dalam implementasinya, data sudut yang diperoleh tidak digunakan secara langsung, melainkan melalui tahap normalisasi sebagaimana dijelaskan pada Subbab 2.3. Proses ini bertujuan untuk mengubah rentang sudut dari $(-180^\circ, 180^\circ)$, menjadi $(0^\circ, 360^\circ)$, sehingga data yang dihasilkan lebih konsisten dan mudah dibandingkan dengan nilai referensi. Selain itu, penggunaan data yang telah dinormalisasi juga menghindari kesalahan interpretasi pada batas sudut, khususnya saat terjadi transisi dari 180° ke -180° .



Gambar 3: Penggunaan Akrilik dan Foam untuk Meredam Elektromagnetik

Dari sisi fungsional, informasi orientasi yang diperoleh dari sensor digunakan sebagai umpan balik dalam sistem navigasi robot, khususnya dalam menjaga arah hadap terhadap target. Meskipun pada penelitian ini pengujian dilakukan dalam kondisi statis, implementasi ini merepresentasikan kondisi nyata pada sistem robot, di mana sensor berperan dalam memberikan informasi orientasi secara kontinu untuk mendukung pengambilan keputusan. Ilustrasi pemasangan sensor pada robot ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan tampilan hasil pembacaan sudut orientasi secara *real-time* ditunjukkan pada Gambar 3.

3.2 Hasil Pengujian Sensor *Gyroscope*

Pengujian sensor gyroscope HWT901B-TTL dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sudut orientasi sensor terhadap nilai referensi. Pada penelitian ini digunakan dua metode referensi, yaitu kompas digital pada smartphone dan busur derajat sebagai alat ukur manual. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi sudut untuk merepresentasikan satu siklus penuh orientasi, yaitu dari 0° hingga mendekati 360° . Pengujian pertama menggunakan kompas digital pada smartphone sebagai referensi. Ilustrasi proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, yang memperlihatkan pembacaan sudut menggunakan kompas digital smartphone sebagai nilai referensi serta tampilan hasil pembacaan sensor pada robot sepak bola beroda.





Gambar 4: Hasil Pembacaan pada *Smartphone*



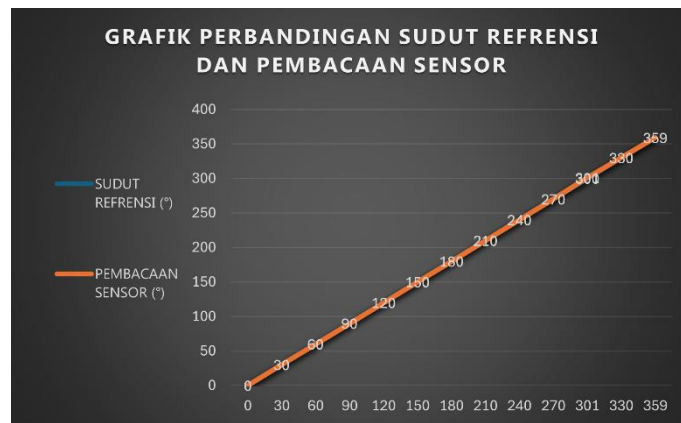
Gambar 5: Hasil Pembacaan *Gyroscope* pada Robot Sepak Bola Beroda

TABEL II : Hasil Pengujian Sensor *Gyroscope* dengan Pembandingan Kompas Digital

No.	Sudut Referensi Menggunakan Kompas Digital <i>Smartphone</i> (°)	Pembacaan Sensor <i>Gyroscope</i> pada Robot (°)	Error (%)
1.	0	0	0.0
2.	30	30	0.0
3.	60	60	0.0
4.	90	90	0.0
5.	120	120	0.0
6.	150	150	0.0
7.	180	180	0.0
8.	210	210	0.0
9.	240	240	0.0
10.	270	270	0.0
11.	300	301	0.33
12.	330	330	0.0
13.	359	359	0.0
Rata-rata error (%)			0.025

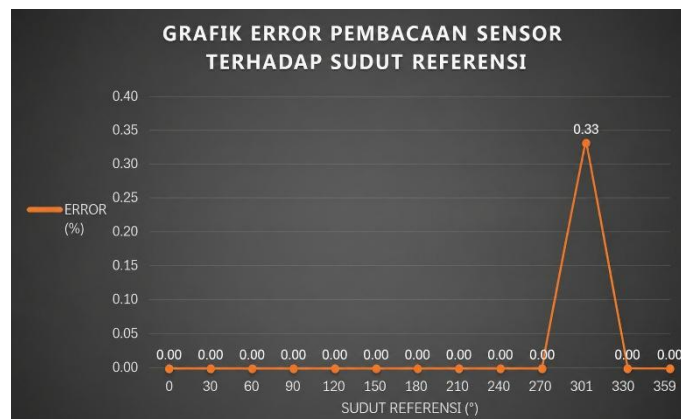
Berdasarkan Tabel II, nilai sudut yang dihasilkan oleh sensor gyroscope HWT901B-TTL menunjukkan kesesuaian terhadap nilai referensi pada sebagian besar titik pengujian. Perbedaan nilai pembacaan hanya terlihat pada beberapa titik tertentu dengan selisih yang relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam merepresentasikan sudut orientasi, dengan deviasi yang masih berada dalam batas toleransi pengukuran.





Gambar 6: Grafik Perbandingan Sudut Referensi dan Pembacaan Sensor

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan hubungan antara sudut referensi dan hasil pembacaan sensor *gyroscope* HWT901B-TTL. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai pembacaan sensor memiliki pola yang linear terhadap sudut referensi, yang ditunjukkan dengan kurva yang mendekati garis lurus. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan sudut secara konsisten pada seluruh rentang pengujian.



Gambar 7: Grafik Error Pembacaan Sensor Terhadap Sudut Referensi

Grafik error pada Gambar 7 menunjukkan distribusi kesalahan pembacaan sensor terhadap variasi sudut pengujian. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai error berada sangat dekat dengan nol pada hampir seluruh titik pengujian. Peningkatan error hanya terjadi pada satu titik, yaitu pada sudut 300°, dengan nilai error sebesar 0.33%, sementara pada sudut lainnya nilai error relatif stabil.

Untuk meningkatkan validitas hasil pengujian, dilakukan pengujian tambahan menggunakan busur derajat 360° sebagai alat ukur manual yang berfungsi sebagai pembanding independen terhadap metode sebelumnya. Penggunaan busur derajat bertujuan untuk memberikan verifikasi alternatif terhadap pembacaan sensor dalam konteks pengukuran sudut secara langsung pada bidang horizontal. Dengan adanya pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai tingkat kesesuaian antara pembacaan sensor dan nilai referensi. Ilustrasi proses pengukuran menggunakan busur derajat serta hasil pembacaan sensor ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9.





Gambar 8: Hasil Pengukuran Menggunakan Busur pada Sudut 30°



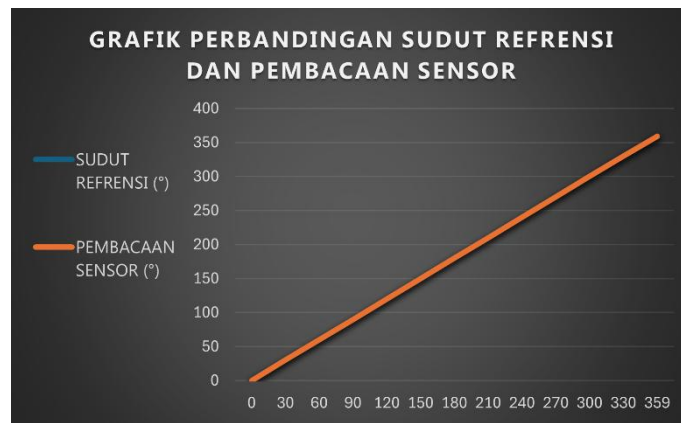
Gambar 9: Hasil Pembacaan Sensor pada Sudut 30°

TABEL III : Hasil Pengujian Sensor Gyroscope dengan Pembading Busur 360°

No.	Sudut Referensi Menggunakan Busur (°)	Pembacaan Sensor Gyroscope pada Robot (°)	Error (%)
1.	0	0	0.0
2.	30	30	0.0
3.	60	60	0.0
4.	90	90	0.0
5.	120	120	0.0
6.	150	150	0.0
7.	180	180	0.0
8.	210	210	0.0
9.	240	240	0.0
10.	270	270	0.0
11.	300	300	0.0
12.	330	330	0.0
13.	359	359	0.0
Rata-rata error (%)			0.0

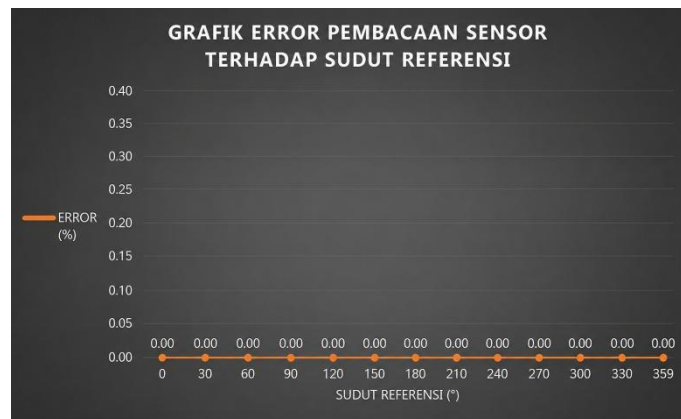
Berdasarkan Tabel III, hasil pengujian menggunakan busur derajat 360° menunjukkan bahwa nilai sudut yang dihasilkan oleh sensor *gyroscope* HWT901B-TTL memiliki kesesuaian terhadap nilai referensi pada seluruh titik pengujian. Nilai error yang diperoleh sebesar 0.0% pada setiap sudut mengindikasikan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara pembacaan sensor dan hasil pengukuran manual. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu merepresentasikan sudut orientasi dengan tingkat akurasi yang tinggi dalam kondisi pengujian statis. Namun demikian, hasil tersebut juga perlu dipertimbangkan dengan memperhatikan keterbatasan resolusi alat ukur manual, di mana selisih sudut yang sangat kecil berpotensi tidak terdeteksi secara presisi, sehingga nilai error yang diperoleh cenderung mendekati nol.





Gambar 10: Grafik Perbandingan Sudut Referensi dan Pembacaan Sensor

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan hubungan antara sudut referensi dan hasil pembacaan sensor gyroscope HWT901B-TTL yang memiliki karakteristik linearitas yang sangat baik, di mana keluaran sensor menunjukkan korelasi yang sangat kuat terhadap sudut referensi dan berhimpit dengan garis linier ideal ($y = x$). Hal ini mengindikasikan bahwa setiap perubahan sudut referensi diikuti secara proporsional oleh nilai pembacaan sensor tanpa adanya distorsi skala maupun pergeseran (offset) yang signifikan. Selain itu, tidak terlihat adanya gejala non-linearitas seperti saturasi, histeresis, maupun deviasi pada rentang sudut tertentu, yang menandakan bahwa sensor mampu bekerja secara konsisten pada seluruh rentang pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses akuisisi data dan kalibrasi sensor telah berjalan dengan baik sehingga kesalahan sistematis dapat diminimalkan, serta memperkuat bahwa sensor gyroscope HWT901B-TTL memiliki performa yang stabil dan reliabel dalam merepresentasikan perubahan orientasi sudut untuk kebutuhan sistem navigasi robot.



Gambar 11: Grafik Error Pembacaan Sensor Terhadap Sudut Referensi

Grafik error pada Gambar 11 menunjukkan distribusi kesalahan pembacaan sensor terhadap variasi sudut pengujian. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai error berada tepat pada 0.00% di seluruh titik pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat selisih antara sudut referensi dan hasil pembacaan sensor pada kondisi pengujian yang dilakukan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dan stabil pada seluruh rentang sudut yang diuji, serta mampu memberikan hasil pembacaan yang presisi tanpa adanya deviasi.

3.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2 serta visualisasi grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7, sensor *gyroscope* HWT901B-TTL menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap nilai referensi pada hampir seluruh titik pengujian menggunakan kompas digital *smartphone*. Grafik



perbandingan pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa nilai sudut hasil pembacaan sensor memiliki hubungan yang linear terhadap sudut referensi, yang ditunjukkan dengan pola grafik yang mendekati garis lurus. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan sudut secara konsisten pada seluruh rentang pengujian. Nilai *error* yang diperoleh berada pada rentang 0.0% hingga 0.33%, dengan rata-rata *error* sebesar 0.025%. Grafik *error* pada Gambar 7 menunjukkan bahwa sebagian besar nilai *error* berada sangat dekat dengan nol dan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan, sehingga menunjukkan kestabilan pembacaan sensor dalam kondisi pengujian statis.

Meskipun demikian, nilai *error* yang relatif kecil tersebut perlu ditinjau secara kritis. Hasil yang mendekati nol pada sebagian besar titik pengujian dapat dipengaruhi oleh keterbatasan metode pengujian, terutama penggunaan kompas digital pada *smartphone* sebagai alat referensi yang memiliki resolusi terbatas serta rentan terhadap gangguan medan magnet di lingkungan sekitar. Selain itu, kondisi pengujian yang dilakukan secara statis dan dalam lingkungan yang terkontrol juga berkontribusi terhadap kestabilan pembacaan, sehingga hasil yang diperoleh cenderung merepresentasikan kondisi ideal.

Untuk meningkatkan validitas hasil, dilakukan pengujian tambahan menggunakan busur derajat 360° sebagai pembanding independen. Berdasarkan hasil pada Tabel 3 serta grafik pada Gambar 10 dan Gambar 11, diperoleh bahwa pembacaan sensor memiliki kesesuaian terhadap sudut referensi pada seluruh titik pengujian dengan nilai *error* sebesar 0.0%. Grafik perbandingan menunjukkan hubungan linear yang berhimpit dengan garis ideal, sedangkan grafik *error* menunjukkan nilai konstan pada 0%. Hal ini memperkuat bahwa sensor mampu merepresentasikan sudut orientasi secara konsisten dalam kondisi pengujian yang dilakukan. Hasil pengujian menggunakan busur derajat juga perlu dipertimbangkan secara kritis, karena alat ukur manual memiliki keterbatasan resolusi sehingga selisih sudut yang sangat kecil berpotensi tidak terdeteksi. Oleh karena itu, nilai *error* sebesar 0.0% tidak sepenuhnya menunjukkan bahwa sistem bebas dari kesalahan, melainkan berada dalam batas resolusi pengukuran yang digunakan.

Selain itu, sensor *gyroscope* secara umum memiliki karakteristik *noise* dan *drift* yang dapat mempengaruhi hasil pembacaan sudut. *Noise* dapat muncul akibat gangguan listrik, getaran mekanik, maupun interferensi dari komponen robot. Pada penelitian ini, pengaruh *noise* diminimalkan melalui pendekatan mekanis dengan menggunakan bracket berbahan akrilik yang dilengkapi peredam berupa busa hati, sehingga getaran dan gangguan eksternal dapat dikurangi. Hal ini berkontribusi terhadap kestabilan pembacaan sensor selama proses pengujian.

Meskipun hasil pengujian menunjukkan performa yang baik, terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini. Pengujian dilakukan dalam kondisi statis dan hanya dilakukan satu kali pada setiap sudut, sehingga belum merepresentasikan kondisi dinamis saat robot bergerak di lapangan. Selain itu, penggunaan alat referensi sederhana masih memiliki potensi deviasi. Oleh karena itu, pengujian lanjutan dengan metode yang lebih kompleks serta kondisi dinamis diperlukan untuk memperoleh evaluasi performa sensor yang lebih komprehensif. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan dua metode referensi serta analisis yang telah dilakukan, sensor *gyroscope* HWT901B-TTL menunjukkan performa yang baik dalam mengukur sudut orientasi robot. Dengan tingkat kesesuaian yang tinggi, kestabilan pembacaan yang konsisten, serta kemampuan pembaruan data yang mendukung sistem *real-time*, sensor ini dapat digunakan sebagai komponen dalam sistem navigasi robot sepak bola beroda, khususnya dalam menentukan arah hadap secara akurat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan dan mengevaluasi sensor *gyroscope* HWT901B-TTL pada sistem robot sepak bola beroda untuk pengukuran sudut orientasi secara *real-time*. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan dua metode referensi, yaitu kompas digital *smartphone* dan busur derajat 360°, sensor menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap nilai referensi. Pengujian menggunakan kompas digital menghasilkan rentang *error* sebesar 0.0% hingga 0.33% dengan rata-rata *error* sebesar 0.025%, di mana sebagian besar titik pengujian memiliki *error* mendekati nol, sementara pengujian



menggunakan busur derajat menunjukkan nilai error sebesar 0.0% pada seluruh titik dalam batas resolusi pengukuran yang digunakan. Penerapan metode normalisasi dan koreksi sudut terbukti mampu mengatasi diskontinuitas pada rentang pengukuran (-180° hingga 180°) menjadi (0° hingga 360°), sehingga perhitungan selisih sudut menjadi lebih representatif. Secara keseluruhan, sensor gyroscope HWT901B-TTL menunjukkan performa yang stabil dan konsisten dalam merepresentasikan orientasi robot pada kondisi pengujian statis, sehingga dapat digunakan sebagai komponen dalam sistem navigasi robot sepak bola beroda. Namun demikian, untuk memperoleh evaluasi yang lebih komprehensif, diperlukan pengujian lanjutan pada kondisi dinamis serta penggunaan alat referensi dengan tingkat presisi yang lebih tinggi pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. H. M. E. R. H. S. B. P. G. P. D. P. E. ndra. I. M. K. dan M. A. Kusumoputro. Benyamin, *Buku Pedoman Kontes Robot Indonesia (KRI) Tahun 2023. Balai Pengembangan Talenta Indonesia Pusat Prestasi Nasional Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset Dan Teknologi*. Jakarta, 2023.
- [2] W. Darmawan, M. Basuki Rahmat, A. Khumaidi, R. Yudha Adhitya, dan D. Pristovani Riananda, "Perancangan Strategi Keputusan Robot Sepak Bola Beroda menggunakan Metode Decision Tree," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 2, hal. 175–182, Jul 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i2.3020.
- [3] R. Safatain, A. Khumaidi, dan D. Sukoco, "Peningkatan Akurasi Ketepatan Sudut Pengumpanan dan Penerima Bola pada Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Kombinasi Metode Gyrodometry dan Image Processing," *JOI J. Autom. Eng. Its Appl.*, vol. 2, no. 1, Apr 2024, doi: 10.33863/vw5w2t70.
- [4] A. Ramdahani, M. Taufiqurrohman, dan J. Subur, "Rancang Bangun Penentuan Posisi Sepak Bola Beroda Menggunakan Metode Odometry Dan Kontrol Pid (Proportional Integral Derivative)," *J. Borneo Inform. dan Tek. Komput.*, vol. 1, no. 1, hal. 38–51, 2021, doi: 10.35334/jbit.v1i1.2120.
- [5] I. Sutrisno *et al.*, "Four Wheel Omni Trajectory with Gyrodometry Method in the Indonesia 2022 Ash Robot Contest," *Indones. J. Innov. Multidisipliner Res.*, vol. 2, no. 2, hal. 206–217, 2024, doi: 10.69693/jjim.v2i2.130.
- [6] M. M. Bachtiar, F. L. H. Ihsan, I. K. Wibowo, dan R. E. Wibowo, "Intercept Algorithm for Predicting the Position of Passing the Ball on Robot Soccer ERSOW," Jan 2021.
- [7] D. N. Nugroho dan L. Anifah, "Perancangan Sistem Deteksi Objek Bola Dan Gawang Pada Robot Sepakbola Menggunakan Metode Darknet YOLO," *J. Inf. Eng. Educ. Technol.*, vol. 7, no. 1, hal. 22–29, 2023, doi: 10.26740/jieet.v7n1.p22-29.
- [8] Adi Rahmad Ramadhan, A. Khumaidi, Mustika Kurnia Mayangsari, Mat Syai'in, Imam Sutrisno, dan Aulia Rahma Annisa, "Penerapan Harris Corner Detection dan YOLOv5 pada Kamera Stereo Vision untuk Estimasi Jarak Robot Sepak Bola Beroda KRSBI-B," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 12, no. 1, hal. 111–122, 2025, doi: 10.33795/elkolind.v12i1.7254.
- [9] Luluk Indah Safitri, Julian Sahertian, dan Danang Wahyu Widodo, "Implementasi Algoritma Path Planning A* Pada Base Station Robot Sepak Bola Beroda," *Gener. J.*, vol. 7, no. 3, hal. 56–63, 2023, doi: 10.29407/gj.v7i3.20545.
- [10] N. H. A. As'ari *et al.*, "Pengendalian Kecepatan Tendangan Robot Sepak Bola Beroda Menggunakan Metode Decision Tree," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, hal. 628–639, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5192.
- [11] F. Dzil, Agus Khumaidi, Mohammad Basuki Rahmat, Joko Endrasmono4, Mat Syai'in, dan Dimas Pristovani Riananda, "Deteksi Objek di Lapangan pada Robot Sepakbola Beroda Menggunakan Metode YOLOV5," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, hal. 604–611, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5235.
- [12] I. Rizqyakbar dan C. K. Dewa, "Penerapan Model Deteksi Objek Untuk Robot Menggunakan Model SSD Di Lingkungan Simulasi ROS," 2024. [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.mdp.ac.id>
- [13] A. A. Wahyudi, Agus Khumaidi, Mohammad Basuki Rahmat, Dimas Pristovani Riananda, Mat Syai'in, dan Joko Endrasmono, "Implementasi Robot Operating System (ROS) Untuk Meningkatkan Akurasi Deteksi Bola Menggunakan YOLO V5 Pada KRSBI-Beroda," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 2, hal. 648–661, Jul 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5234.

