

BAB IV

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Hasil Pengujian

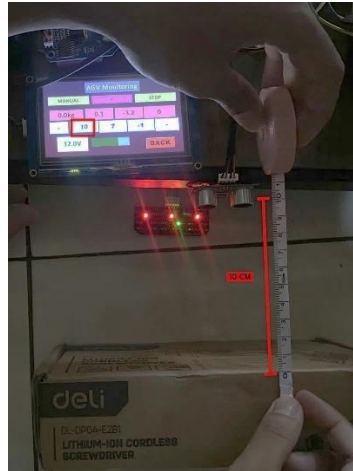
Setelah proses perancangan dan pembuatan *Automated Guided Vehicle* (AGV) selesai, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian dan analisis terhadap keseluruhan sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen *hardware* maupun *software* dapat bekerja sesuai dengan fungsi dan spesifikasi yang telah dirancang. Pengujian meliputi pemeriksaan kinerja sistem navigasi berbasis marker ArUco, deteksi objek menggunakan YOLOv8, pembacaan sensor, komunikasi antarperangkat, serta performa AGV dalam beroperasi. Untuk memperoleh data yang akurat dan valid, dilakukan serangkaian pengukuran, pengamatan, dan evaluasi terhadap setiap parameter pengujian. Selanjutnya, data yang diperoleh dianalisis untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan, mengidentifikasi potensi kesalahan atau kendala yang masih terjadi, serta menentukan kebutuhan perbaikan dan penyempurnaan agar AGV dapat beroperasi secara optimal sesuai dengan tujuan perancangan.

4.1.1 Pengujian HC-SR04

Sensor HC-SR04 digunakan sebagai sistem pengaman pada *Automated Guided Vehicle* (AGV) untuk mendeteksi keberadaan penghalang (*obstacle*) di sekitar AGV. Pada penelitian ini digunakan tiga buah sensor HC-SR04 yang dipasang pada bagian depan, kiri, dan kanan AGV. Sensor depan berfungsi sebagai pengaman utama dengan memberikan perintah berhenti apabila mendeteksi *obstacle* pada jarak 25 cm atau kurang. AGV akan kembali bergerak ketika jalur sudah *clear* melebihi 35 cm. Sementara itu, sensor kiri dan kanan digunakan untuk mendeteksi keberadaan penghalang di sisi AGV sebagai informasi kondisi lingkungan selama proses navigasi agar AGV tetap aman di jalurnya. Pengujian dilakukan pada beberapa titik jarak acuan untuk mengetahui kesesuaian hasil pembacaan sensor terhadap jarak yang ditentukan serta mengamati respons sistem terhadap keberadaan *obstacle*. Pada resolusi pembacaan bilangan bulat yang

ditampilkan, pembacaan sensor sesuai dengan jarak acuan pada titik pengujian 10-100 cm.

Berikut Gambar 4.1 merupakan pengujian HCSR-04 *Front*.



Gambar 4. 1 Pengujian HC-SR04 *Front*

Berikut Tabel 4.1 merupakan data pengujian HC-SR04.

Tabel 4. 1 Pengujian HC-SR04 *Front*

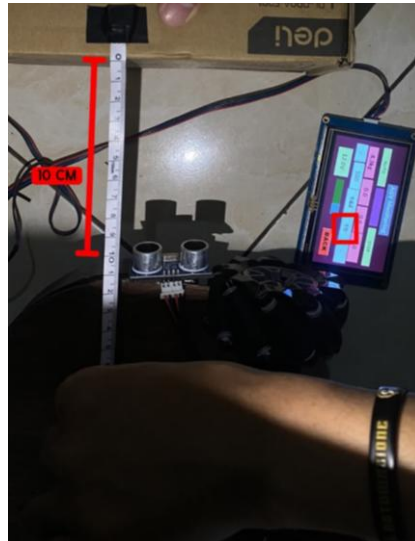
Pengujian	Jarak Acuan (cm)	Jarak Terbaca (cm)	Selisih Pembacaan (cm)	Status AGV
1	10	10	0	Berhenti
2	20	20	0	Berhenti
3	30	30	0	Berhenti
4	40	40	0	Berjalan
5	50	50	0	Berjalan
6	60	60	0	Berjalan
7	70	70	0	Berjalan
8	80	80	0	Berjalan
9	90	90	0	Berjalan
10	100	100	0	Berjalan

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.1, pengujian sensor HC-SR04 *Front* dilakukan pada 10 titik jarak acuan dengan rentang 10-100 cm. Pada resolusi pembacaan bilangan bulat yang ditampilkan, nilai jarak yang terbaca sesuai dengan jarak acuan pada seluruh titik pengujian. Selisih antara jarak acuan dan jarak terbaca pada data pengujian adalah 0 cm.

Pada pengujian respons AGV, sistem berada pada kondisi berhenti pada jarak 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Kondisi tersebut berkaitan dengan mekanisme *hysteresis* yang diterapkan pada sensor bagian depan. Ketika *obstacle* terdeteksi pada jarak

≤ 25 cm, AGV diberikan perintah berhenti. Setelah AGV berada dalam kondisi berhenti, AGV akan kembali bergerak ketika jarak *obstacle* telah melebihi 35 cm. Oleh karena itu, pada jarak 30 cm AGV masih berada pada kondisi berhenti karena belum melewati batas *clear* sebesar 35 cm. Pada jarak 40 cm, AGV kembali berada pada kondisi berjalan.

Berikut Gambar 4.2 merupakan pengujian HC-SR04 *Right*.



Gambar 4. 2 Pengujian HC-SR04 *Right*

Setelah dilakukan 10x pengujian, didapatkan tabel 4.2 hasil pengujian HC-SR04 *Right* seperti di bawah ini.

Pengujian	Jarak Acuan (cm)	Jarak Terbaca (cm)	Selisih Pembacaan (cm)	Status AGV
1	10	10	0	Terdeteksi
2	20	20	0	Terdeteksi
3	30	30	0	Terdeteksi
4	40	40	0	Terdeteksi
5	50	50	0	Terdeteksi
6	60	60	0	Terdeteksi
7	70	70	0	Terdeteksi
8	80	80	0	Terdeteksi
9	90	90	0	Terdeteksi
10	100	100	0	Terdeteksi

Berdasarkan Gambar 4.2 dan Tabel 4.2, pengujian sensor HC-SR04 *Right* dilakukan pada 10 titik jarak acuan dengan rentang 10-100 cm. Pada resolusi

pembacaan bilangan bulat yang ditampilkan, nilai jarak yang terbaca sesuai dengan jarak acuan pada seluruh titik pengujian. Selisih antara jarak acuan dan jarak terbaca pada data pengujian adalah 0 cm. Sensor HC-SR04 *Right* juga menunjukkan kondisi terdeteksi pada seluruh titik pengujian sehingga dapat memberikan informasi keberadaan *obstacle* pada sisi kanan AGV selama proses navigasi. Berikut Gambar 4.3 merupakan pengujian HC-SR04 *Left*.



Gambar 4. 3 Pengujian HC-SR04 *Left*

Setelah dilakukan 10x percobaan, didapatkan tabel pengujian yaitu Tabel 4.3 di bawah.

Tabel 4. 3 Pengujian HC-SR04 *Left*

Pengujian	Jarak Acuan (cm)	Jarak Terbaca (cm)	Selisih Pembacaan (cm)	Status AGV
1	10	10	0	Terdeteksi
2	20	20	0	Terdeteksi
3	30	30	0	Terdeteksi
4	40	40	0	Terdeteksi
5	50	50	0	Terdeteksi
6	60	60	0	Terdeteksi
7	70	70	0	Terdeteksi
8	80	80	0	Terdeteksi
9	90	90	0	Terdeteksi
10	100	100	0	Terdeteksi

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.3, pengujian sensor HC-SR04 *Left* dilakukan pada 10 titik jarak acuan dengan rentang 10-100 cm. Pada resolusi pembacaan bilangan bulat yang ditampilkan, nilai jarak yang terbaca sesuai dengan jarak acuan pada seluruh titik pengujian. Selisih antara jarak acuan dan jarak terbaca

pada data pengujian adalah 0 cm. Sensor HC-SR04 *Left* juga menunjukkan kondisi terdeteksi pada seluruh titik pengujian sehingga dapat memberikan informasi keberadaan *obstacle* pada sisi kiri AGV selama proses navigasi.

Berdasarkan hasil pengujian ketiga sensor HC-SR04, pembacaan jarak pada titik pengujian 10-100 cm sesuai dengan jarak acuan pada resolusi pembacaan bilangan bulat yang ditampilkan. Sensor *Front* memberikan respons berhenti dan berjalan berdasarkan mekanisme *hysteresis* bahwa nilai 30 cm dapat muncul ketika AGV sudah berada dalam *state obstacle_wait* hingga *clear* pada nilai 35 cm, sedangkan sensor *Right* dan *Left* memberikan informasi deteksi *obstacle* pada seluruh titik pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketiga sensor dapat memberikan informasi jarak dan kondisi *obstacle* yang digunakan dalam sistem pengamanan dan navigasi AGV.

4.1.2 Pengujian TCRT5000

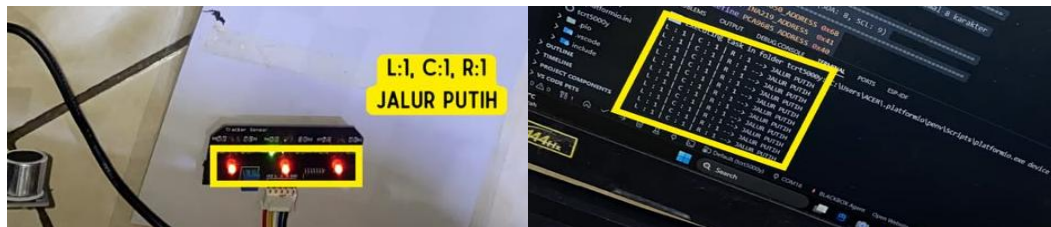
Sensor TCRT5000 merupakan sensor inframerah yang digunakan untuk mendeteksi garis (*line tracking*) yang hanya terdapat pada area parkir di titik tujuan A, B, atau C pada sistem *Automated Guided Vehicle* (AGV). Pada penelitian ini digunakan tiga buah sensor TCRT5000 yang dipasang pada bagian *left*, *center*, dan *right* AGV. Sensor bekerja dengan keluaran digital (*digital output*) menggunakan logika *active low*, yaitu sensor menghasilkan logika 0 (LOW) ketika mendeteksi permukaan berwarna hitam dan logika 1 (HIGH) ketika mendeteksi permukaan berwarna putih. Pada sistem AGV yang dirancang, sensor TCRT5000 digunakan untuk mendeteksi garis parkir berupa lakban hitam yang ditempatkan pada area tujuan. Informasi dari ketiga sensor digunakan sebagai kondisi untuk menjalankan tahapan *waiting* pada proses *parking*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui respons keluaran ketiga sensor terhadap permukaan putih dan garis hitam serta memastikan kombinasi keluaran sensor dapat digunakan sesuai dengan logika *parking* yang diterapkan. Pengujian TCRT5000 pada penelitian ini difokuskan pada kondisi seluruh sensor mendeteksi permukaan putih (111) dan seluruh sensor mendeteksi garis hitam (000).

Berikut Gambar 4.4 yaitu TCRT5000 pada saat mendeteksi permukaan hitam dan bernilai 000.



Gambar 4. 4 Pengujian TCRT 000

Berikut Gambar 4.5 yaitu TCRT5000 pada saat mendeteksi permukaan terang dan bernilai 111.



Gambar 4. 5 Pengujian TCRT 111

Berikut Tabel 4.4 merupakan hasil pengujian TCRT5000.

Tabel 4. 4 Pengujian TCRT5000

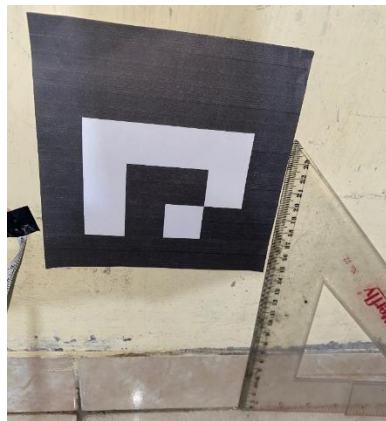
Pengujian	Kondisi Permukaan	Left (L)	Center (C)	Right (R)	Keterangan
1	Lantai Putih	1	1	1	Jalur putih, seluruh sensor tidak mendeteksi garis hitam AGV berada pada area parkir
2	Garis hitam pada ketiga sensor	0	0	0	

Berdasarkan Tabel 4.4, sensor TCRT5000 menghasilkan keluaran digital sesuai dengan kondisi permukaan yang dideteksi. Pada permukaan putih, ketiga sensor menghasilkan keluaran L:1, C:1, dan R:1 sehingga tidak terdapat garis hitam yang terdeteksi. Sementara itu, ketika ketiga sensor berada pada garis hitam, keluaran yang dihasilkan adalah L:0, C:0, dan R:0. Kombinasi 000 digunakan sebagai kondisi *waiting* pada proses *parking* sesuai dengan logika sistem yang diterapkan. Keluaran TCRT5000 digunakan sebagai informasi untuk mengenali

area permukaan hitam yang hanya ada di titik parkir pada titik tujuan A, B, atau C, yang selanjutnya menjadi bagian dari tahapan *parking* AGV.

4.1.3 Pengujian ArUco Marker

Pengujian marker ArUco dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi marker menggunakan webcam Luminous C50 pada berbagai jarak. Kamera dipasang pada bagian depan AGV dengan ketinggian 15 cm dari permukaan lantai. Agar marker sejajar dengan posisi kamera, marker ArUco dipasang pada dinding dengan jarak 15 cm dari lantai hingga bagian bawah marker. Posisi pemasangan marker ditunjukkan pada Gambar 4.6.

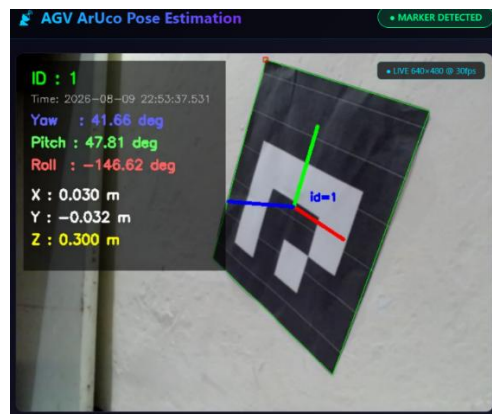


Gambar 4. 6 Pengujian ArUco Marker

Selanjutnya, pengujian dilakukan dengan mengubah jarak antara kamera dan marker mulai dari 30 cm hingga 100 cm dengan interval 10 cm. Pada setiap variasi jarak dilakukan pengambilan data menggunakan webcam Luminous C50. Hal tersebut dilakukan untuk memperoleh informasi posisi marker berupa koordinat sumbu X, Y, dan Z serta orientasi marker yang meliputi sudut θ_z , θ_y , dan θ_x .

4.1.3.1 ArUco Marker ID 1

Berikut adalah Gambar 4.7 yang merupakan marker ID 1 yang jaraknya divariasikan rentang 30 sampai dengan 100 cm.



Gambar 4. 7 Pengujian ArUco Marker ID 1

Setelah dilakukan delapan kali percobaan, didapatkan data pengujian seperti Tabel 4.5 di bawah.

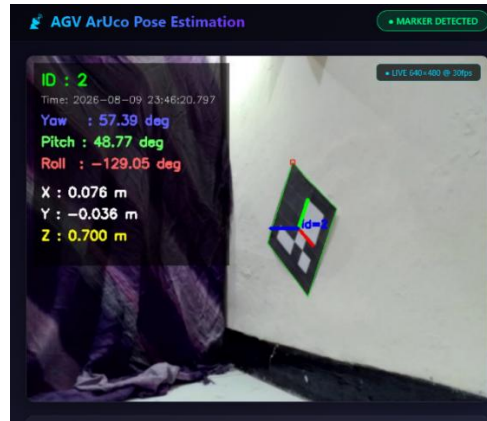
Tabel 4. 5 Pengujian ArUco Marker ID 1

Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,030	-0,032	0,300	41,66	47,81	-146,62	0,00
2	40	0,068	-0,023	0,400	46,27	52,47	-139,00	0,00
3	50	0,088	-0,020	0,500	48,67	54,07	-135,43	0,00
4	60	0,140	-0,038	0,600	52,09	54,38	-129,16	0,00
5	70	0,238	-0,118	0,700	66,42	52,98	-111,37	0,00
6	80	0,117	-0,095	0,800	54,61	51,22	-125,63	0,00
7	90	0,076	-0,195	0,900	55,69	44,98	-124,63	0,00
8	100	0,181	-0,271	1,001	60,46	43,32	-118,30	0,10
Rata-rata Error (%)								0,0125%

Berdasarkan Tabel 4.5, marker ArUco ID 1 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Marker berhasil dideteksi pada seluruh jarak pengujian, dengan nilai Z yang meningkat dari 0,300 m pada jarak 30 cm hingga 1,001 m pada jarak 100 cm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai Z mengikuti perubahan jarak aktual dengan cukup baik. Nilai X dan Y mengalami perubahan pada setiap jarak karena menunjukkan posisi marker terhadap kamera pada arah horizontal dan vertikal. Nilai Θ_z juga berubah dari 41,66° hingga 60,46°, sedangkan nilai Θ_y dan Θ_x mengalami perubahan sesuai dengan posisi dan kemiringan marker terhadap kamera selama pengujian. Berdasarkan perhitungan error jarak menggunakan nilai Z, diperoleh error sebesar 0,00% pada jarak 30-90 cm dan 0,10% pada jarak 100 cm, dengan rata-rata error sebesar 0,0125%.

4.1.3.2 ArUco Marker ID 2

Berikut gambar 4.8 marker ID 2 yang divariasikan jaraknya rentang 30 sampai dengan 100 cm.



Gambar 4. 8 Pengujian ArUco Marker ID 2

Kemudian dari delapan kali percobaan diperoleh tabel data sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Pengujian ArUco Marker ID 2

Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,021	-0,037	0,337	38,50	31,59	-152,51	12,33
2	40	0,085	-0,021	0,400	42,84	47,23	-142,01	0,00
3	50	0,124	-0,067	0,500	59,55	46,72	-123,59	0,00
4	60	0,125	-0,068	0,599	61,46	48,02	-121,34	0,17
5	70	0,076	-0,036	0,700	57,39	48,77	-129,05	0,00
6	80	-0,000	-0,062	0,801	53,17	44,77	-134,34	0,13
7	90	-0,076	-0,041	0,901	51,82	43,34	-141,20	0,11
8	100	-0,222	-0,138	0,998	49,96	34,88	-145,99	0,10
Rata-rata Error (%)								1,60%

Berdasarkan Tabel 4.6, marker ArUco ID 2 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi menunjukkan nilai yang mendekati jarak aktual, yaitu dari 0,337 m pada jarak 30 cm hingga 0,999 m pada jarak 100 cm. Pada jarak 30 cm diperoleh error terbesar sebesar 12,33% karena nilai Z yang dihasilkan sebesar 0,337 m dibandingkan jarak aktual 0,300 m. Sementara itu, pada jarak 40-100 cm, nilai error berada pada rentang 0,00-0,17%, yang menunjukkan hasil estimasi jarak lebih mendekati nilai aktual. Nilai X dan Y mengalami perubahan pada setiap pengujian karena menunjukkan posisi marker terhadap kamera, sedangkan nilai Θ_z , Θ_y , dan Θ_x juga

berubah mengikuti posisi dan orientasi marker terhadap kamera. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, diperoleh rata-rata error sebesar 1,60%.

4.1.3.3 ArUco Marker ID 3

Berikut adalah Gambar 4.9, yaitu marker ID 3 yang divariasikan jaraknya rentang 30 sampai dengan 100 cm.



Gambar 4. 9 Pengujian ArUco Marker ID 3

Setelah dilakukan variasi pengujian, didapatkan data pengujian yang tertuang dalam Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Pengujian ArUco Marker ID 3

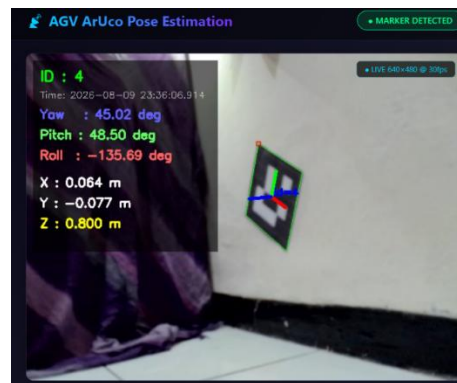
Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,022	-0,032	0,340	44,58	26,23	-149,69	13,33
2	40	0,031	-0,030	0,401	47,54	32,56	-145,97	0,25
3	50	0,103	-0,079	0,500	52,31	38,79	-131,05	0,00
4	60	0,140	-0,087	0.600	56,24	41,18	-125,59	0,00
5	70	0,119	-0,090	0,699	56,45	43,31	-126,02	0,14
6	80	0,113	-0,060	0,799	60,59	39,66	-121,84	0,13
7	90	0,111	-0,183	0,899	60,39	39,62	-121,79	0,11
8	100	0,049	-0.199	1,000	61,77	37,32	-126,44	0,00
Rata-rata Error (%)								1,75%

Berdasarkan Tabel 4.7, marker ArUco ID 3 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi menunjukkan pola yang sesuai dengan perubahan jarak aktual, yaitu meningkat dari 0,340 m pada jarak 30 cm hingga 1,000 m pada jarak 100 cm. Selisih antara nilai Z dan jarak aktual paling besar terjadi pada jarak 30 cm, sedangkan mulai jarak 40 cm nilai Z sudah mendekati jarak sebenarnya dengan selisih yang relatif kecil. Hal tersebut terlihat dari nilai error yang turun dari 13,33% pada jarak 30 cm menjadi

0,25% pada jarak 40 cm, kemudian berada pada nilai 0,00-0,14% pada jarak 50-100 cm. Nilai X berada pada rentang 0,022-0,140 m pada pengujian 30-80 cm, kemudian berubah menjadi 0,111 m pada 90 cm dan 0,049 m pada 100 cm. Perubahan tersebut menunjukkan adanya pergeseran posisi marker terhadap kamera selama pengambilan data. Nilai Y juga mengalami perubahan dari -0,032 m hingga -0,199 m, yang menunjukkan perubahan posisi vertikal marker pada kamera. Sementara itu, nilai θ_z berada pada rentang $44,58^\circ$ - $61,77^\circ$, θ_y $26,23^\circ$ - $41,18^\circ$, dan θ_x $-126,44^\circ$ hingga $-149,69^\circ$. Perubahan nilai orientasi tersebut menunjukkan bahwa marker tidak selalu berada pada posisi dan sudut pandang yang sama terhadap kamera selama pengujian.

4.1.3.4 ArUco Marker ID 4

Berikut adalah Gambar 4.10 marker ID 4 yang divariasikan jaraknya rentang 30 sampai dengan 100 cm.



Gambar 4. 10 Pengujian ArUco Marker ID 4

Setelah percobaan dilakukan, didapatkan Tabel 4.8 data hasil pengujian ArUco Marker ID 4 di bawah.

Tabel 4. 8 Pengujian ArUco Marker ID 4

Pen guji an	Jarak Aktu al (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_z ($^\circ$)	θ_y ($^\circ$)	θ_x ($^\circ$)	Error (%)
1	30	0,056	-0,024	0,338	56,66	38,19	-142,20	12,67
2	40	0,117	-0,010	0,400	38,64	53,08	-143,99	0,00
3	50	0,115	0,006	0,500	39,80	55,09	-142,57	0,00
4	60	0,061	-0,092	0,600	44,38	45,22	-137,17	0,00
5	70	0,032	-0,090	0,700	43,88	45,25	-138,67	0,00
6	80	0,064	-0,077	0,800	45,02	48,50	-135,69	0,00

Pen guji an	Jarak Aktu al (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
7	90	0,114	-0,203	0,900	57,43	43,93	-124,49	0,00
8	100	0.067	-0,217	1.000	55,55	41,90	-128,52	0,10
Rata-rata Error (%)								1,60%

Berdasarkan Tabel 4.8, marker ArUco ID 4 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi menunjukkan pola yang sesuai dengan jarak aktual, yaitu meningkat dari 0,338 m pada jarak 30 cm hingga 1,001 m pada jarak 100 cm. Error terbesar diperoleh pada jarak 30 cm sebesar 12,67%, sedangkan pada jarak 40-90 cm nilai Z sama dengan jarak aktual sehingga diperoleh error sebesar 0,00%. Pada jarak 100 cm terdapat selisih nilai sebesar 0,001 m antara jarak aktual dan hasil estimasi sehingga menghasilkan error sebesar 0,10%. Nilai X berada pada rentang 0,032-0,117 m, sedangkan nilai Y berada pada rentang -0,217 hingga -0,010 m. Perubahan nilai X dan Y menunjukkan adanya perubahan posisi marker terhadap kamera selama pengujian. Nilai θ_z berada pada rentang 38,64°-56,66°, θ_y 38,19°-55,09°, dan θ_x -143,99° hingga -128,52°. Perubahan nilai tersebut menunjukkan adanya perbedaan posisi dan orientasi marker terhadap kamera pada setiap pengujian. Dari delapan pengujian diperoleh rata-rata error sebesar 1,60%. Error yang lebih besar pada jarak 30 cm dibandingkan jarak lainnya menunjukkan bahwa pada jarak dekat hasil estimasi Z pada marker ID 4 memiliki selisih yang lebih besar terhadap jarak aktual. Sementara itu, pada jarak 40-100 cm hasil estimasi Z relatif dekat dengan jarak aktual.

4.1.3.5 ArUco Marker ID 5

Berikut Gambar 4.11 dilakukan pengujian pada ArUco Marker ID 5



Gambar 4. 11 Pengujian ArUco Marker ID 5

Setelah melakukan beberapa percobaan, didapatkan data pengujian yang tertuang dalam Tabel 4.9 di bawah.

Tabel 4. 9 Pengujian ArUco Marker ID 5

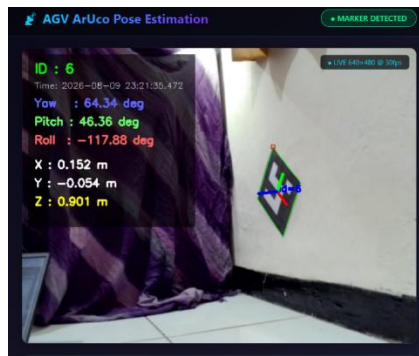
Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,066	-0,024	0,345	60,99	37,62	-138,07	15,00
2	40	0,105	-0,064	0,406	55,67	35,29	-134,46	1,50
3	50	0,135	-0,074	0,500	59,08	37,28	-130,51	0,00
4	60	0,172	-0,072	0,600	62,78	40,83	-124,05	0,00
5	70	0,270	-0,078	0,700	69,94	44,24	-112,70	0,00
6	80	0,286	-0,082	0,800	71,01	44,79	-111,32	0,00
7	90	0,185	-0,073	0,900	66,10	43,85	-119,19	0,00
8	100	-0,131	-0,082	1,000	56,53	36,90	-140,62	0,00
Rata-rata Error (%)								2,06%

Berdasarkan Tabel 4.9, marker ArUco ID 5 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi meningkat mengikuti jarak aktual, mulai dari 0,345 m pada jarak 30 cm hingga 1,000 m pada jarak 100 cm. Error terbesar diperoleh pada jarak 30 cm sebesar 15,00%, kemudian turun menjadi 1,50% pada jarak 40 cm. Pada jarak 50-100 cm, nilai Z sama dengan jarak aktual sehingga diperoleh error sebesar 0,00%. Nilai X berubah pada setiap jarak dengan rentang -0,131 hingga 0,286 m, sedangkan nilai Y berada pada rentang -0,078 hingga -0,024 m. Perubahan nilai tersebut menunjukkan perubahan posisi marker terhadap kamera selama pengujian. Nilai Θ_z berada pada rentang 55,67°-71,01°, Θ_y 35,29°-44,79°, dan Θ_x -138,07° hingga -111,32°. Perubahan nilai orientasi tersebut menunjukkan adanya perubahan sudut pandang marker terhadap kamera pada setiap pengujian. Dari delapan kali pengujian diperoleh rata-rata error sebesar 2,06%. Error paling besar terjadi pada

jarak 30 cm, sedangkan pada jarak 50-100 cm hasil estimasi Z sesuai dengan jarak aktual.

4.1.3.6 ArUco Marker ID 6

Berikut adalah Gambar 4.12 pengujian ArUco ID 6.



Gambar 4. 12 Pengujian ArUco Marker ID 6

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan Tabel 4.10 hasil pengujian.

Tabel 4. 10 Pengujian ArUco Marker ID 6

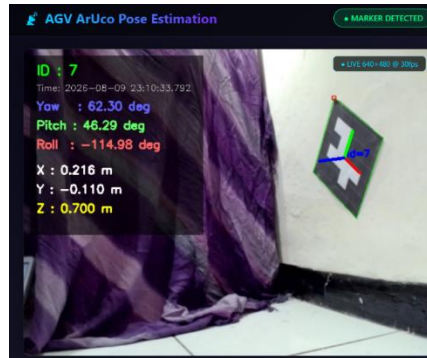
Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Θ_z (°)	Θ_y (°)	Θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,053	-0,025	0,321	55,66	34,04	-146,42	7,00
2	40	0,114	-0,022	0,400	54,63	50,00	-128,95	0,00
3	50	0,123	-0,004	0,500	56,84	52,01	-126,22	0,00
4	60	0,118	-0,006	0,600	57,90	51,87	-125,31	0,00
5	70	0,260	-0,065	0,700	73,33	49,04	-103,82	0,00
6	80	0,201	-0,058	0,800	67,73	47,69	-112,12	0,00
7	90	0,152	-0,054	0,901	64,43	46,36	-117,88	0,11
8	100	0,071	-0,037	0,999	65,01	-0,037	-127,00	0,10
Rata-rata Error (%)								0,90%

Berdasarkan Tabel 4.10, marker ArUco ID 6 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi berada pada rentang 0,321-0,999 m dan menunjukkan kecenderungan yang sesuai dengan peningkatan jarak aktual. Nilai error yang diperoleh berada pada rentang 0,00-7,00%, dengan rata-rata error sebesar 0,90%. Nilai X dan Y mengalami perubahan pada setiap pengujian, yang menunjukkan perbedaan posisi marker terhadap kamera. Nilai θ_z berada pada rentang 55,66°-73,33°, sedangkan θ_y berada pada rentang -0,37°-52,01° dan θ_x berada pada rentang -146,42° hingga -103,82°. Perubahan nilai θ_z , θ_y , dan θ_x menunjukkan adanya perubahan orientasi marker terhadap kamera selama pengambilan data. Secara keseluruhan, nilai Z yang

diperoleh memiliki pola yang mengikuti perubahan jarak aktual, sedangkan perubahan nilai X, Y, θ_z , θ_y , dan θ_x menunjukkan posisi serta orientasi marker yang berbeda pada setiap pengujian.

4.1.3.7 ArUco Marker ID 7

Berikut adalah Gambar 4.13 merupakan pengujian ArUco Marker ID 7



Gambar 4. 13 Pengujian ArUco Marker ID 7

Berikut didapatkan Tabel 4.11 data hasil pengujian marker ID 7.

Tabel 4. 11 Pengujian ArUco Marker ID 7

Pen guji an	Jarak Aktual (cm)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_z (°)	θ_y (°)	θ_x (°)	Error (%)
1	30	0,045	-0,020	0,317	37,91	33,13	-147,38	5,67
2	40	0,102	-0,055	0,400	49,43	42,21	-134,55	0,00
3	50	0,172	-0,087	0,500	59,41	44,71	-119,52	0,00
4	60	0,222	-0,082	0,600	62,19	46,78	-115,91	0,00
5	70	0,216	-0,110	0,700	62,30	46,29	-114,98	0,00
6	80	0,243	-0,128	0,800	62,15	46,28	-114,77	0,00
7	90	0,229	-0,240	0,899	65,56	40,03	-111,49	0,11
8	100	0,209	-0,233	1,002	65,55	40,58	-113,59	0,20
Rata-rata Error (%)								0,75%

Berdasarkan Tabel 4.11, marker ArUco ID 7 berhasil dideteksi pada seluruh variasi jarak pengujian, yaitu mulai dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai Z hasil estimasi berada pada rentang 0,317-1,002 m dan mengikuti perubahan jarak aktual dari 30 cm hingga 100 cm. Nilai error yang diperoleh berada pada rentang 0,00-5,67%, dengan rata-rata error sebesar 0,75%. Nilai X berada pada rentang 0,045-0,243 m, sedangkan nilai Y berada pada rentang -0,240 hingga -0,020 m. Perubahan nilai X dan Y menunjukkan adanya perubahan posisi marker terhadap kamera selama pengujian. Nilai θ_z berada pada rentang 37,91°-65,56°, θ_y berada pada rentang 33,13°-46,78°, sedangkan θ_x berada pada rentang -147,38° hingga -111,49°.

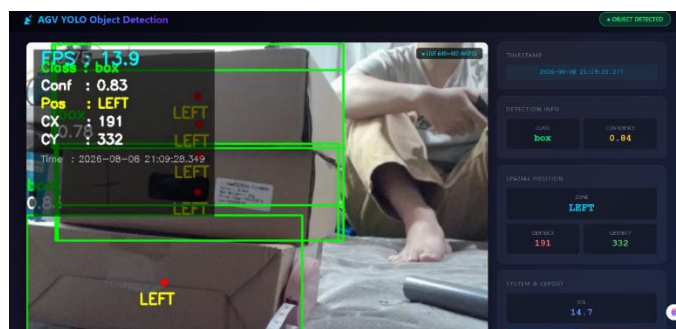
Perubahan nilai θ_z , θ_y , dan θ_x menunjukkan adanya perubahan orientasi marker terhadap kamera pada setiap pengujian. Secara keseluruhan, nilai Z hasil estimasi memiliki pola yang sesuai dengan jarak aktual dan diperoleh rata-rata error sebesar 0,75%.

4.1.4 Pengujian YOLO

Pengujian deteksi *obstacle* dilakukan untuk mengetahui kemampuan model YOLO dalam mengenali *obstacle* yang berada di lintasan AGV. Model YOLO yang digunakan telah dilatih untuk mendeteksi dua kelas *obstacle*, yaitu *box* dan *human*. Kedua kelas tersebut digunakan sebagai objek penghalang yang harus dikenali oleh AGV agar sistem dapat melakukan tindakan sesuai dengan algoritma navigasi yang telah dirancang yaitu AGV harus berhenti. Pengujian dilakukan menggunakan webcam Luminous C50 yang dipasang pada bagian depan AGV dengan ketinggian 15 cm dari permukaan lantai. *Obstacle* diletakkan pada berbagai variasi jarak, yaitu mulai dari 20 cm hingga 100 cm dengan interval 10 cm. Parameter yang diamati pada pengujian ini meliputi kelas *obstacle* (*class*), tingkat kepercayaan deteksi (*confidence*), posisi *obstacle* terhadap bidang pandang kamera (*position*), koordinat titik tengah *obstacle* (Center X dan Center Y), serta keberhasilan sistem dalam mendeteksi *obstacle*.

4.1.4.1 Pengujian Deteksi *Obstacle Box*

Berikut adalah Gambar 4.14 Pengujian deteksi *box*



Gambar 4. 14 Pengujian *Obstacle Box*

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian, didapatkan data pengujian dalam Tabel 4.12 di bawah.

Tabel 4. 12 Pengujian *Obstacle Box*

Pengujian	Class	Jarak Aktual (cm)	Jumlah Box	Total Deteksi	Confidence
1	Box	20	3	3	0,75; 0,78 ;0,83
2	Box	30	3	3	0,85; 0,85; 0,85
3	Box	40	3	3	0,80; 0,73; 0,65
4	Box	50	3	3	0,69; 0,56; 0,65
5	Box	60	3	3	0,50; 0,58; 0,73
6	Box	70	3	3	0,58; 0,51; 0,55
7	Box	80	3	3	0,80; 0,64; 0,70
8	Box	90	3	3	0,65; 0,63; 0,66
9	Box	100	3	1	0,72

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.12, pengujian model YOLOv8n dilakukan pada variasi jarak 20-100 cm dengan tiga objek *box* pada setiap jarak. Pada jarak 20-90 cm, seluruh tiga objek berhasil terdeteksi, sedangkan pada jarak 100 cm hanya satu dari tiga objek yang berhasil terdeteksi. Nilai *confidence* yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan tingkat keyakinan model pada setiap jarak pengujian, dengan nilai tertinggi sebesar 0,85 pada jarak 30 cm dan nilai terendah sebesar 0,50 pada jarak 60 cm. Perubahan nilai *confidence* menunjukkan bahwa jarak pengamatan dapat memengaruhi kemampuan model dalam mengenali objek. Semakin jauh objek dari kamera, ukuran objek pada citra semakin kecil sehingga informasi visual yang digunakan model untuk melakukan deteksi menjadi lebih terbatas. Selain jarak, kondisi pencahayaan dan kualitas citra selama pengujian juga dapat memengaruhi hasil deteksi. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* dari pengujian tiap jarak yang tertera pada Lampiran 2 *obstacle box*.

1. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 20 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

2. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 30 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

3. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 40 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

4. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 50 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

5. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 60 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

6. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 70 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

7. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 80 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

8. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 90 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{3}{3 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{3}{3 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

9. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 100 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{1}{1 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{1}{1 + 2}$$

$$R = \frac{1}{3}$$

$$R = 0,3333 = 33,33\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 0,3333}{1 + 0,3333}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{0,3333}{1,3333}$$

$$F1 - score = 0,50 \text{ atau } 50\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, model YOLOv8n memperoleh *precision* sebesar 100% pada seluruh jarak pengujian karena seluruh objek yang terdeteksi merupakan objek *box* yang sesuai dengan objek aktual. Pada jarak 20-90 cm,

seluruh tiga objek berhasil terdeteksi sehingga nilai *Recall* dan *F1-score* masing-masing sebesar 100%. Pada jarak 100 cm, hanya satu dari tiga objek yang berhasil terdeteksi sehingga *Recall* menurun menjadi 33,33% dan *F1-score* menjadi 50%. Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat penurunan kemampuan deteksi mulai terlihat pada jarak 100 cm, meskipun objek yang berhasil dideteksi tetap memiliki kelas yang benar.

4.1.4.2 Pengujian Deteksi *Obstacle Human*

Berikut Gambar 4.15 merupakan pengujian pada *obstacle human*.



Gambar 4. 15 Pengujian *Obstacle Human*

Setelah dilakukan beberapa kali pengujian, didapatkan Tabel 4.13 hasil pengujian.

Tabel 4. 13 Pengujian *Obstacle Human*

Pengujian	Class	Jarak	Jumlah	Total	Confidence
n		Aktual	Human	Deteksi	
		(cm)			
1	Human	20	2	2	0,74; 0,74
2	Human	30	2	2	0,61; 0,61
3	Human	40	2	2	0,88; 0,88
4	Human	50	2	2	0,77; 0,77
5	Human	60	2	2	0,78; 0,78
6	Human	70	2	2	0,81; 0,81
7	Human	80	2	2	0,90; 0,90
8	Human	90	2	2	0,86; 0,86
9	Human	100	2	2	0,88; 0,88

Berdasarkan Tabel 4.13, pengujian objek *human* dilakukan pada jarak 20-100 cm dengan dua objek pada setiap pengujian. Pada seluruh variasi jarak tersebut, jumlah objek yang terdeteksi tetap sebanyak dua objek, sehingga seluruh objek *human* yang digunakan dalam pengujian dapat dikenali oleh model YOLOv8n. Nilai *confidence* yang dihasilkan bervariasi pada setiap jarak, dengan nilai terendah sebesar 0,61 pada jarak 30 cm dan nilai tertinggi sebesar 0,90 pada jarak 80 cm.

Perubahan nilai *confidence* tersebut menunjukkan adanya perbedaan tingkat keyakinan model dalam mengenali objek pada setiap jarak, meskipun jumlah objek yang terdeteksi tetap sama. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* dari pengujian tiap jarak yang tertera pada Lampiran 2 *obstacle human*.

1. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 20 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

2. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 30 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

3. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 40 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

4. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 50 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

5. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 60 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

6. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 70 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

7. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 80 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

8. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 90 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

9. Menghitung *precision*, *Recall*, dan *F1-score* untuk jarak 100 cm

- Menghitung *precision* menggunakan persamaan 3.6

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$P = \frac{2}{2 + 0}$$

$$P = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *Recall* menggunakan persamaan 3.7

$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$R = \frac{2}{2 + 0}$$

$$R = 1 \text{ atau } 100\%$$

- Menghitung *F1-score* menggunakan persamaan 3.8

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{1 \times 1}{1 + 1}$$

$$F1 - score = 1 \text{ atau } 100\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *precision*, *Recall*, dan *F1-score* pada pengujian objek *human* di seluruh jarak 20-100 cm masing-masing sebesar 100%. Nilai *precision* sebesar 100% menunjukkan bahwa seluruh objek yang dinyatakan sebagai *human* oleh model merupakan deteksi yang benar, tanpa terdapat *false positive*. Nilai *Recall* sebesar 100% menunjukkan bahwa seluruh objek *human* yang terdapat pada pengujian berhasil ditemukan oleh model, sehingga tidak terdapat *false negative*. Kondisi tersebut menghasilkan nilai *F1-score* sebesar 100%, yang menunjukkan adanya keseimbangan antara ketepatan prediksi dan kemampuan model dalam menemukan objek.

4.1.5 Pengujian AGV Titik A

Pengujian navigasi menuju Titik A dilakukan dengan mengacu pada urutan marker yang telah dirancang pada Tabel 3.2. Berdasarkan Tabel 3.2, marker ID 1 merupakan *homebase* atau titik awal AGV, marker ID 2 merupakan *waypoint* menuju Titik A, sedangkan marker ID 3 merupakan marker tujuan sekaligus penanda area parkir Titik A. Navigasi menuju Titik A mengikuti urutan marker ID 2 kemudian ID 3. Identitas dan fungsi masing-masing marker tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisis data marker, posisi, serta keberhasilan navigasi pada pengujian Titik A.

Berikut Gambar 4.16 merupakan AGV yang sedang terparkir pada ArUco marker ID 3 atau berada pada titik A.



Gambar 4. 16 Pengujian Titik A

4.1.5.1 Pengujian Titik A ke-1

Telah dilakukan percobaan pertama dengan titik tujuan A, dan didapatkan data yang tertuang pada Tabel 4.14 di bawah.

Tabel 4. 14 Pengujian Titik A ke-1

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
12:16:56.630	0.00	0.0	176.0	45.3	111	clear	IDLE	-	IDLE
12:17:26.635	2.93	52.1	181.3	45.3	111	clear	IDLE	-	IDLE
12:17:27.635	2.93	52.1	169.8	45.3	111	clear	IDLE	A	IDLE
12:17:28.635	2.93	52.1	169.8	45.3	111	clear	IDLE	A	DO
12:17:29.635	2.93	52.1	169.8	45.0	111	clear	MOVING	A	DO
12:17:30.636	2.96	52.1	169.8	50.8	111	clear	TURN_1 (Right 85)	A	DO
12:17:40.637	2.97	53.2	169.8	73.2	000	clear	PARKING	A	DO
12:17:41.637	2.98	41.9	169.8	73.2	000	clear	PARKING	A	DO
12:17:43.637	2.88	26.6	169.8	50.9	000	clear	WAITING	A	DO
12:17:48.638	0.00	36.1	169.8	52.9	111	clear	REVERSING	A	DO
12:17:49.638	0.03	54.3	169.8	52.9	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DO
12:17:52.639	0.05	92.2	169.8	58.2	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DO

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
12:17:53.639	0.06	92.2	169.8	58.5	11	clear	RETURNING	A	DO NE
12:18:03.640	0.00	92.2	169.8	101.0	11	clear	TURN_3 (180)	A	DO NE

Berdasarkan Tabel 4.14, AGV berhasil menjalankan seluruh tahapan navigasi sesuai urutan, yaitu *idle*, *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, hingga *turn_3*. Pada awal pengujian, *destination* masih bernilai "-" karena tujuan belum dipilih. Ketika tujuan A pada mode manual dipilih akan membuat *destination* berubah menjadi "A" dan sistem memulai proses navigasi. Selama proses *moving*, pembacaan sensor ultrasonik depan (*DistF*) masih berada pada jarak yang aman sehingga AGV dapat bergerak menuju tujuan tanpa mendeteksi adanya *obstacle*. Ketika memasuki proses *parking*, nilai sensor TCRT berubah dari 111 menjadi 000, yang menunjukkan bahwa ketiga sensor telah mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah proses bongkar muatan selesai (*waiting*), pembacaan load cell menurun hingga mendekati 0 kg yang menandakan beban telah dilepas. Selanjutnya AGV menjalankan tahapan *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3* hingga kembali ke posisi awal.

Selain itu, juga terdapat data marker selama navigasi, berikut Tabel data marker menuju titik A pada percobaan ke-1.

Tabel 4. 15 Data Marker Pengujian Titik A ke-1

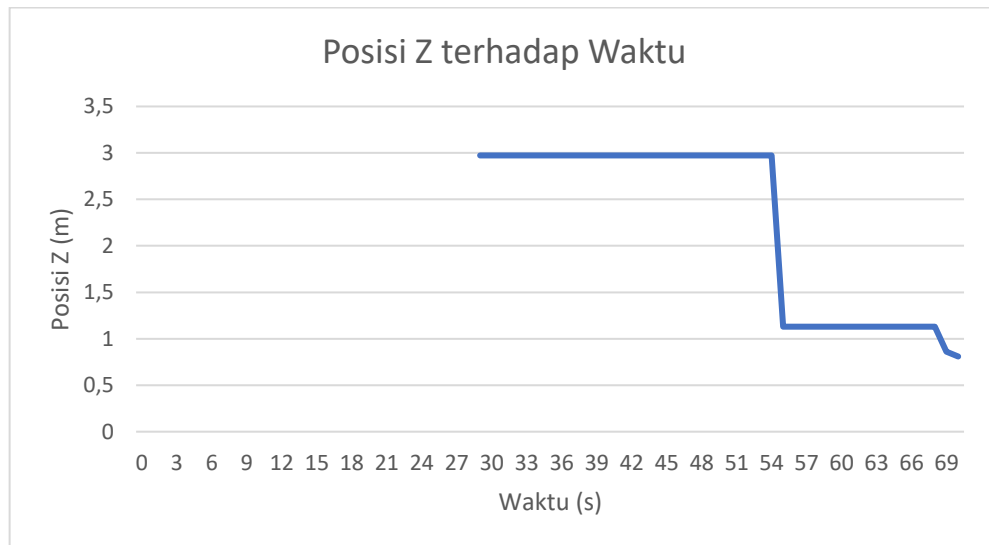
Time	Marker ID	Marker Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
12:16:56.630	-1	999.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12:17:26.635	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-	-11.25	-
12:17:27.635	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-	-11.25	-
12:17:28.635	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-	-11.25	-

Time	Marker ID	Marker Distance (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
12:17:29.635	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:37.636	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:40.637	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:41.637	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:43.637	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:48.638	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:49.638	3	2.973	-1.141	-2.011	2.973	-137.27	-11.25	-120.59
12:17:52.639	2	1.129	-0.251	0.103	1.129	-141.15	34.45	82.56
12:17:53.639	2	1.29	-0.251	0.103	1.29	-141.15	34.45	82.56
12:18:03.640	2	1.129	-0.251	0.103	1.129	-141.15	34.45	82.56

Berdasarkan Tabel 4.15, pada awal pengujian marker belum terdeteksi sehingga marker ID bernilai -1 dengan *marker distance* sebesar 999 m. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kamera belum memperoleh marker sebagai referensi visual karena marker masih berada di luar jangkauan deteksi. Setelah AGV memasuki area deteksi, sistem mengenali marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 2,973 m. Nilai *marker distance* tersebut tetap sama selama beberapa detik karena program memperbarui hasil deteksi marker setiap tiga *frame*, sedangkan data pengujian dicatat setiap satu detik. Akibatnya, apabila dalam selang waktu

pencatatan tidak terjadi perubahan hasil deteksi, nilai yang tersimpan pada tabel akan tetap sama. Selama marker ID 3 masih berada dalam bidang pandang kamera, diperoleh koordinat posisi relatif marker terhadap kamera sebesar $X = -1,141$ m, $Y = 2,011$ m, dan $Z = 2,973$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = -137,27^\circ$, $\theta_y = -11,25^\circ$, dan $\theta_z = -120,59^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y tersebut digunakan sebagai parameter *trigger* dengan membandingkannya terhadap rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi. Penggunaan rentang ini bertujuan agar marker hanya dianggap valid ketika posisi dan arah hadap AGV terhadap marker telah sesuai, sehingga *trigger* tidak aktif saat marker baru mulai terdeteksi atau ketika orientasi AGV masih berubah. Setelah nilai θ_x dan θ_y berada dalam rentang tersebut, sistem mengenali bahwa marker tujuan pada Titik A telah tercapai sehingga AGV menjalankan logika navigasi menuju proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sistem kembali mendeteksi marker ketika marker berada dalam bidang pandang kamera. Marker yang terdeteksi adalah marker ID 2 dengan *marker distance* sebesar 1,129 m. Pada kondisi ini diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,251$ m, $Y = 0,103$ m, dan $Z = 1,129$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = 141,15^\circ$, $\theta_y = 34,45^\circ$, dan $\theta_z = 82,56^\circ$. Perbedaan nilai koordinat dan orientasi dibandingkan dengan marker ID 3 terjadi karena posisi dan arah hadap AGV terhadap marker telah berubah selama perjalanan kembali menuju *homebase*, sehingga kamera melihat marker dari arah yang berbeda. Marker ID 2 berfungsi sebagai marker transisi sehingga nilai orientasi yang diperoleh tidak digunakan sebagai *trigger* perubahan *state*, melainkan sebagai referensi visual untuk memperbarui posisi relatif AGV selama marker masih berada dalam bidang pandang kamera.

Kemudian didapatkan Grafik pada Gambar 4.17 data perubahan posisi Z marker.



Gambar 4. 17 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Percobaan Titik A ke-1

Berdasarkan Grafik Gambar 4.17, posisi Z menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera selama proses navigasi AGV pada pengujian Titik A. Pada detik ke-0 hingga detik ke-29, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-30, marker mulai terdeteksi dengan nilai posisi Z sebesar 2,973 m. Nilai tersebut kemudian relatif tetap hingga detik ke-55, yang menunjukkan bahwa jarak marker terhadap kamera berada pada nilai yang relatif konstan selama proses navigasi dan *parking* di Titik A. Pada detik ke-56, nilai posisi Z berubah menjadi 1,129 m. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan jarak terhadap marker yang terdeteksi setelah proses *parking* selesai dan AGV mulai bergerak kembali menuju *homebase*. Nilai posisi Z kemudian relatif tetap sebesar 1,129 m hingga detik ke-69. Pada detik ke-70 dan ke-71, nilai posisi Z kembali menurun masing-masing menjadi 0,861 m dan 0,809 m. Penurunan nilai tersebut menunjukkan bahwa jarak antara AGV dan marker yang terdeteksi semakin dekat selama pergerakan kembali menuju *homebase*. Grafik tersebut memperlihatkan perubahan posisi Z dari kondisi marker belum terdeteksi, kemudian marker terdeteksi pada jarak 2,973 m, berubah menjadi 1,129 m, dan selanjutnya semakin mendekati marker hingga mencapai 0,809 m.

4.1.5.2 Pengujian Titik A ke-2

Telah dilakukan percobaan menuju titik A pada percobaan kedua kali ini, datanya terdapat pada Tabel 4.16 di bawah.

Tabel 4. 16 Pengujian Titik A ke-2

Time	Load (kg)	DistF (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-11 12:21:37.085	0.00	29.5	15.5	44.5	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-11 12:21:42.086	0.00	27.8	15.4	44.5	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-11 12:22:01.089	2.90	62.3	67.4	44.5	111	clear	IDLE	A	GOING
2026-07-11 12:22:02.089	2.90	62.3	64.6	45.1	111	clear	MOVING	A	DONE
2026-07-11 12:22:10.091	2.88	107.8	72.0	56.5	111	clear	TURN_1 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11 12:22:13.091	2.86	126.6	118.8	78.6	000	clear	PARKING	A	DONE
2026-07-11 12:22:16.092	2.87	126.6	87.0	69.8	000	clear	WAITING	A	DONE
2026-07-11 12:22:22.092	0.00	126.6	31.3	69.9	111	clear	REVERSING	A	DONE
2026-07-11 12:22:24.093	0.00	99.6	50.3	99.9	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11	0.00	87.6	65.7	88.0	111	clear	TURN_2	A	DONE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
12:22:25.093							(Right 85)		
2026-07-11	0.00	87.6	78.7	45.1	111	clear	RETURNING	A	DONE
12:22:27.093									
2026-07-11	0.00	57.5	23.8	93.7	111	clear	TURN_3 (180)	A	DONE
12:22:37.095									

Berdasarkan Tabel 4.16, AGV berhasil menjalankan seluruh tahapan navigasi menuju Titik A, yaitu *idle*, *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3*. Pada awal pengujian tujuan masih bernilai "-" karena belum diberikan perintah navigasi. Setelah memilih tujuan A, sistem mulai menjalankan proses navigasi hingga mencapai titik tujuan. Selama proses *moving*, sensor ultrasonik tidak mendeteksi *obstacle* sehingga status tetap *clear*. Saat memasuki proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell turun menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing*, *turn_2*, *returning*, hingga *turn_3*.

Selain data sensor terdapat juga data marker yang berada pada Tabel 4.17 di bawah.

Tabel 4. 17 Data Marker Percobaan Titik A ke-2

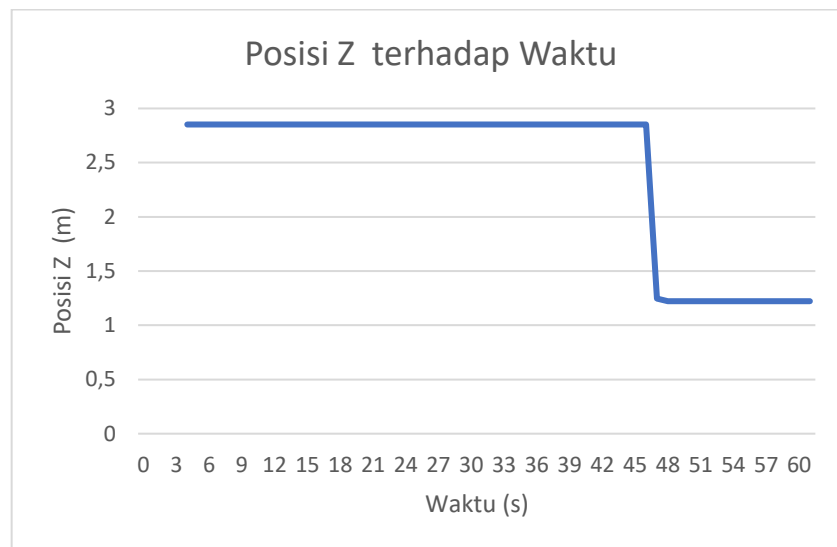
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 12:21:37.085	-1	999.000	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00	0.00	0.00
2026-07-11 12:21:42.086	3	2.190	-0.91 0	-1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 12:22:01.089	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:02.089	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:10.091	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:13.091	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:16.092	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:22.092	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:24.093	3	2.190	- 0.91 0	- 1.97 8	2.85 2	136. 42	7.37	113. 19
2026-07-11 12:22:25.093	2	1.255	0.12 0	0.10 7	1.24 5	- 174. 30	- 38.4 2	- 65.0 0
2026-07-11 12:22:27.093	2	1.259	- 0.28 2	0.11 0	1.22 2	- 165. 88	- 39.1 2	- 92.4 7
2026-07-11 12:22:37.095	2	1.259	- 0.28 2	0.11 0	1.22 2	- 165. 88	- 39.1 2	- 92.4 7

Berdasarkan Tabel 4.17, pada awal pengujian marker belum terdeteksi sehingga marker ID bernilai -1 dengan *marker distance* sebesar 999 m. Kondisi

tersebut menunjukkan bahwa kamera belum memperoleh marker sebagai referensi visual karena marker masih berada di luar jangkauan deteksi. Setelah AGV memasuki area deteksi, sistem mengenali marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 2,190 m. Nilai tersebut tetap selama beberapa detik karena program memperbarui hasil deteksi marker setiap tiga *frame*, sedangkan data pengujian dicatat setiap satu detik. Akibatnya, apabila tidak terjadi perubahan hasil deteksi pada selang waktu pencatatan, nilai yang tersimpan pada tabel tetap sama. Selama marker ID 3 berada dalam bidang pandang kamera diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,910$ m, $Y = -1,978$ m, dan $Z = 2,852$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = 136,42^\circ$, $\theta_y = 7,37^\circ$, dan $\theta_z = 113,19^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan posisi dan arah hadap AGV terhadap marker telah sesuai. Setelah nilai orientasi berada dalam rentang tersebut, sistem mengenali bahwa marker tujuan pada Titik A telah tercapai sehingga AGV menjalankan logika navigasi menuju proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sistem kembali mendeteksi marker ID 2 sebagai marker transisi. Nilai *marker distance* berada pada kisaran 1,255-1,259 m dengan koordinat posisi relatif berubah dari $X = 0,120$ m, $Y = 0,107$ m, dan $Z = 1,245$ m menjadi $X = -0,282$ m, $Y = 0,110$ m, dan $Z = 1,222$ m. Perubahan koordinat tersebut menunjukkan bahwa posisi relatif AGV terhadap marker berubah selama perjalanan kembali menuju *homebase*. Nilai orientasi juga berubah dari $\theta_x = -174,30^\circ$, $\theta_y = -38,42^\circ$, dan $\theta_z = -65,00^\circ$ menjadi $\theta_x = -165,88^\circ$, $\theta_y = -39,17^\circ$, dan $\theta_z = -92,47^\circ$, yang menunjukkan perubahan arah hadap kamera terhadap marker. Berbeda dengan marker ID 3, marker ID 2 tidak digunakan sebagai *trigger* perubahan *state*, melainkan sebagai marker transisi yang berfungsi sebagai referensi visual untuk memperbarui posisi relatif AGV selama proses navigasi kembali menuju *homebase*.

Berdasarkan data marker, dihasilkan grafik Gambar 4.18 mengenai posisi Z marker terhadap waktu.



Gambar 4. 18 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Percobaan Titik A ke-2

Berdasarkan Grafik Gambar 4.18, posisi Z menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera selama proses navigasi AGV pada pengujian Titik A. Pada detik ke-0 hingga detik ke-4, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-5, marker mulai terdeteksi dengan nilai posisi Z sebesar 2,852 m. Nilai tersebut kemudian relatif tetap hingga detik ke-47, yang menunjukkan bahwa marker yang terdeteksi masih berada pada jarak yang relatif konstan selama proses navigasi menuju Titik A dan *parking*. Pada detik ke-48, nilai posisi Z berubah menjadi 1,245 m yang menunjukkan adanya perubahan jarak terhadap marker yang terdeteksi setelah AGV mulai bergerak kembali menuju *homebase*. Pada detik ke-49, nilai posisi Z kembali berubah menjadi 1,222 m dan selanjutnya tetap hingga detik ke-62. Perubahan nilai posisi Z dari 2,852 m menjadi 1,245 m dan kemudian 1,222 m menunjukkan adanya perubahan jarak AGV terhadap marker selama pergerakan kembali menuju *homebase*.

4.1.5.3 Pengujian Titik A ke-3

Telah dilakukan percobaan ke-3 dan diperoleh data yang tertuang pada Tabel 4.18 di bawah.

Tabel 4. 18 Pengujian Titik A ke-3

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destinat ion	Pha se
2026-07-11 13:10:16.530	0.00	0.0	67.4	44.9	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-11 13:10:34.701	0.00	9.0	65.3	44.9	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-11 13:10:47.703	2.82	50.1	63.6	44.0	111	clear	IDLE	A	DONE
2026-07-11 13:10:48.703	2.82	50.1	36.3	44.1	111	clear	MOVING	A	DONE
2026-07-11 13:10:56.704	2.76	50.1	78.9	146.2	111	clear	TURN_1 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11 13:10:59.705	2.86	52.2	90.6	140.0	000	clear	PARKING	A	DONE
2026-07-11 13:11:02.705	2.77	83.2	80.0	140.0	000	clear	WAITING	A	DONE
2026-07-11 13:11:07.706	0.00	105.1	81.5	140.0	111	clear	REVERSING	A	DONE
2026-07-11 13:11:08.706	0.00	74.3	35.1	140.0	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11 13:11:10.706	0.00	71.0	64.3	61.6	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destinat ion	Pha se
2026-07-11 13:11:11.706	0.00	71.0	63.2	60.4	111	clear	RETURNING	A	DO NE
2026-07-11 13:11:22.708	0.00	77.7	18.4	105.0	111	clear	TURN_3 (180)	A	DO NE

Berdasarkan Tabel 4.18, AGV berhasil menjalankan seluruh tahapan navigasi menuju Titik A, yaitu *idle*, *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3*. Setelah memilih tujuan A, sistem mulai menjalankan proses navigasi hingga mencapai titik tujuan. Selama proses *moving*, sensor ultrasonik tidak mendeteksi *obstacle* sehingga status tetap *clear*. Saat memasuki proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor tengah mendeteksi garis hitam sebagai acuan parkir, sedangkan sensor kiri dan kanan masih berada di luar garis. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing*, *turn_2*, *returning*, hingga *turn_3*.

Kemudian diperoleh Tabel 4.19 data marker.

Tabel 4. 19 Data Marker Titik A Percobaan ke-3

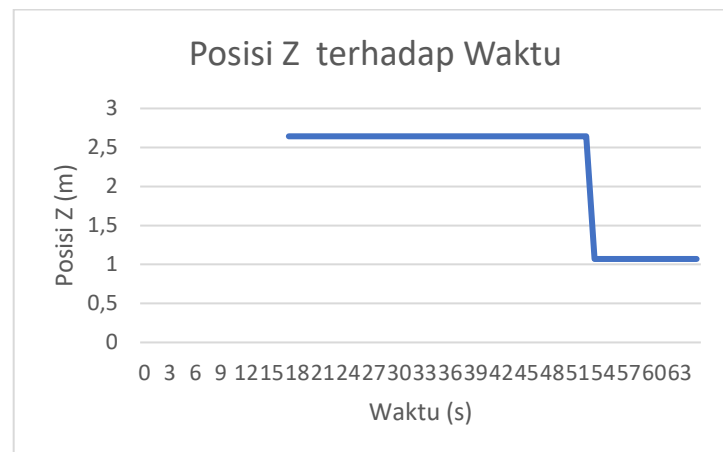
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 13:10:16.530	-1	999.000	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.00	0.00	0.00
2026-07-11 13:10:34.701	3	2.935	1.14 6	- 1.80 1	2.64 3	- 165.3 8	137.3 6	- 91.3 2
2026-07-11 13:10:47.703	3	2.935	1.14 6	- 1.80 1	2.64 3	- 165.3 8	137.3 6	- 91.3 2

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 13:10:48.703	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:10:56.704	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:10:59.705	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:11:02.705	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:11:07.706	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:11:08.706	3	2.935	1.146	-1.801	2.643	-165.38	137.36	-91.32
2026-07-11 13:11:10.706	2	1.117	-0.307	0.092	1.070	137.74	32.84	86.51
2026-07-11 13:11:11.706	2	1.117	-0.307	0.092	1.070	137.74	32.84	86.51
2026-07-11 13:11:22.708	2	1.117	-0.307	0.092	1.070	137.74	32.84	86.51

Berdasarkan Tabel 4.19, pada awal pengujian marker belum terdeteksi sehingga marker ID bernilai -1 dengan *marker distance* sebesar 999 m. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kamera belum memperoleh marker sebagai referensi visual karena marker masih berada di luar jangkauan deteksi. Setelah AGV memasuki area deteksi, sistem mengenali marker ID 3 dengan *marker distance*

sebesar 2,935 m. Nilai tersebut tetap selama beberapa detik karena program memperbarui hasil deteksi marker setiap tiga *frame*, sedangkan data pengujian dicatat setiap satu detik. Akibatnya, apabila tidak terjadi perubahan hasil deteksi pada selang waktu pencatatan, nilai yang tersimpan pada tabel tetap sama. Selama marker ID 3 berada dalam bidang pandang kamera diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = 1,146$ m, $Y = -1,801$ m, dan $Z = 2,643$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = -165,38^\circ$, $\theta_y = 137,36^\circ$, dan $\theta_z = -91,32^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan posisi dan arah hadap AGV terhadap marker telah sesuai. Setelah nilai orientasi berada dalam rentang tersebut, sistem mengenali bahwa marker tujuan pada Titik A telah tercapai sehingga AGV menjalankan logika navigasi menuju proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sistem kembali mendeteksi marker ID 2 sebagai marker transisi dengan *marker distance* sebesar 1,117 m. Pada kondisi ini diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,307$ m, $Y = 0,092$ m, dan $Z = 1,070$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = 137,74^\circ$, $\theta_y = 32,84^\circ$, dan $\theta_z = 86,51^\circ$. Perubahan nilai koordinat dan orientasi dibandingkan dengan marker ID 3 menunjukkan bahwa posisi serta arah hadap AGV terhadap marker telah berubah selama perjalanan kembali menuju *homebase*. Berbeda dengan marker ID 3, marker ID 2 tidak digunakan sebagai *trigger* perubahan *state*, melainkan sebagai marker transisi yang berfungsi sebagai referensi visual untuk memperbarui posisi relatif AGV selama marker masih berada dalam bidang pandang kamera.

Kemudian didapatkan grafik posisi Z marker pada Gambar 4.19 di bawah.



Gambar 4. 19 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Titik A Percobaan ke-3

Berdasarkan Grafik Gambar 4.19, posisi Z menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera selama proses navigasi AGV. Pada detik ke-0 hingga detik ke-17, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-18, marker mulai terdeteksi dengan nilai posisi Z sebesar 2,643 m. Nilai tersebut kemudian relatif tetap hingga detik ke-53, yang menunjukkan bahwa jarak marker terhadap kamera berada pada nilai yang relatif konstan selama proses navigasi menuju Titik A dan *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, pada detik ke-54 nilai posisi Z berubah menjadi 1,070 m. Nilai tersebut kemudian tetap hingga akhir pengujian pada detik ke-65. Perubahan nilai posisi Z dari 2,643 m menjadi 1,070 m menunjukkan adanya perubahan jarak AGV terhadap marker yang terdeteksi selama pergerakan kembali menuju *homebase*.

4.1.6 Pengujian Titik A dengan *Obstacle*

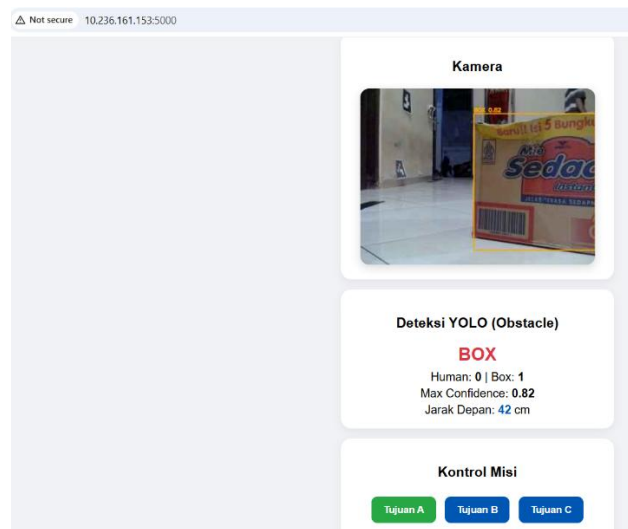
Berikut adalah data pengujian ke titik A dengan adanya rintangan pada proses navigasi.

4.1.6.1 Pengujian ke-1 *Obstacle box*

Berikut Gambar 4.20 merupakan pengujian titik A dengan *obstacle box*.



(a)



(b)

Gambar 4. 20 Pengujian Deteksi *Obstacle Box* pada Titik A: (a) Kondisi *Obstacle Box* pada Lingkungan Nyata; (b) Hasil Deteksi YOLOv8n dan Monitoring AGV pada Web

Berdasarkan Gambar 4.20, pengujian dilakukan dengan menempatkan *obstacle box* pada lintasan AGV saat bernavigasi menuju Titik A. Gambar 4.20(a) menunjukkan kondisi *obstacle box* pada lingkungan pengujian, sedangkan Gambar 4.20(b) menunjukkan hasil deteksi objek menggunakan YOLOv8n pada web monitoring. Objek *box* yang terdeteksi ditampilkan dalam bentuk *bounding box* beserta informasi *confidence* dan jarak objek. Data hasil pengujian selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Pengujian Titik A dengan *Obstacle Box*

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-11 09:26:50.355	0.00	83.3	23.5	45.3	11 1	clear	IDLE	-	IDLE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-11 09:27:12.361	2.90	83.2	31.5	45.3	111	clear	IDLE	A	IDLE
2026-07-11 09:27:14.361	2.90	82.8	50.7	45.3	111	clear	MOVING	A	DONE
2026-07-11 09:27:17.361	2.86	22.2	33.9	43.0	111	box	OBSTACLE_WAIT	A	DONE
2026-07-11 09:27:19.362	2.87	145.8	36.6	45.3	111	clear	MOVING	A	DONE
2026-07-11 09:27:25.363	2.83	116.5	72.8	47.2	111	clear	TURN_1 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11 09:27:28.363	2.94	48.6	93.7	72.3	000	clear	PARKING	A	DONE
2026-07-11 09:27:31.364	2.85	19.0	61.8	50.0	000	clear	WAITING	A	DONE
2026-07-11 09:27:35.364	0.00	19.0	49.2	48.8	111	clear	REVERSING	A	DONE
2026-07-11 09:27:37.364	0.00	55.1	39.2	61.8	111	clear	TURN_2 (Right 85)	A	DONE
2026-07-11 09:27:40.365	0.00	80.1	57.7	46.3	111	clear	RETURNING	A	DONE
2026-07-11	0.00	150.1	27.4	296.7	111	clear	TURN_3 (180)	A	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
09:27:51.367									

Berdasarkan Tabel 4.20, AGV berhasil menjalankan proses navigasi menuju Titik A meskipun terdapat *obstacle* berupa *box* pada lintasan. Setelah memilih tujuan A, AGV memasuki kondisi *moving*. Pada pukul 09:27:17, status berubah menjadi *obstacle_wait* dengan nilai *Obs* = *box* dan jarak sensor ultrasonik depan (*DistF*) sebesar 22,2 cm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa *obstacle* berhasil dideteksi oleh sistem sehingga AGV menghentikan pergerakan untuk menghindari potensi tabrakan. Setelah *obstacle* tidak lagi terdeteksi, status kembali menjadi *moving* dan AGV melanjutkan navigasi hingga mencapai area parkir. Nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 saat proses *parking*, yang menunjukkan bahwa ketiga sensor telah mendeteksi garis hitam sebagai penanda parkir. Setelah beban dilepas, AGV melanjutkan proses *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3* hingga kembali ke posisi awal.

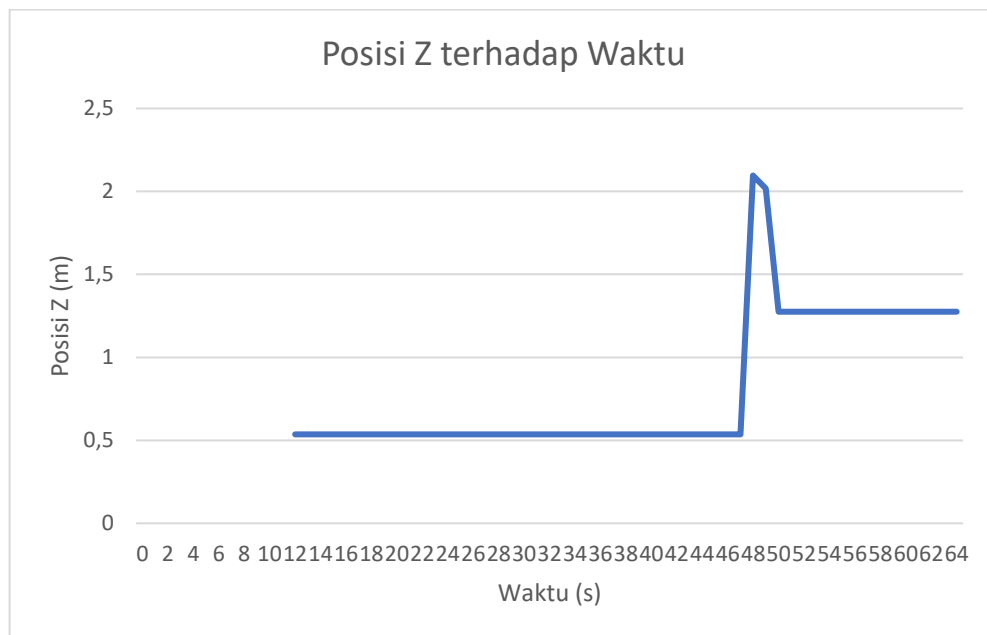
Berikut terdapat juga data marker pada Tabel 4.21 di bawah.

Tabel 4. 21 Data Marker Pengujian Titik A dengan <i>Obstacle Box</i>								
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 09:27:03.360	3	0.601	-0.229	-0.143	0.536	101.52	17.03	66.77
2026-07-11 09:27:39.365	2	1.103	-0.088	0.084	2.096	-167.82	-37.68	-88.71
2026-07-11 09:27:40.365	2	1.058	0.839	-0.219	2.018	-158.52	1.88	30.78
2026-07-11	1	1.246	-0.507	0.109	1.276	133.05	2.76	108.16

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
09:27:41.3								
65								

Berdasarkan Tabel 4.21, marker pertama yang terdeteksi adalah marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 0,601 m. Pada kondisi ini diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,229$ m, $Y = -0,143$ m, dan $Z = 0,536$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = 101,52^\circ$, $\theta_y = 17,03^\circ$, dan $\theta_z = 66,77^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan logika navigasi berikutnya. Selama AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sensor ultrasonik depan mendeteksi *obstacle box*. Ketika jarak rintangan mencapai 25 cm, AGV berhenti untuk menghindari tabrakan. Setelah *obstacle box* dipindahkan hingga jarak yang terdeteksi melebihi 35 cm, sistem menganggap lintasan telah bebas sehingga AGV melanjutkan navigasi. Kamera kemudian mendeteksi marker ID 2 sebagai marker transisi dengan *marker distance* sebesar 1,103 m dan selanjutnya 1,058 m. Pada kondisi tersebut diperoleh perubahan koordinat dari $X = -0,088$ m, $Y = 0,084$ m, $Z = 1,096$ m menjadi $X = 0,839$ m, $Y = -0,219$ m, $Z = 2,018$ m. Nilai orientasi juga berubah dari $\theta_x = -167,82^\circ$, $\theta_y = -37,68^\circ$, dan $\theta_z = -88,71^\circ$ menjadi $\theta_x = -158,52^\circ$, $\theta_y = 1,88^\circ$, dan $\theta_z = 30,78^\circ$. Perubahan nilai posisi dan orientasi menunjukkan bahwa AGV telah berpindah posisi dan arah hadap setelah melanjutkan perjalanan. Karena marker ID 2 merupakan marker transisi, nilai θ_x dan θ_y tidak digunakan sebagai *trigger* perubahan *state*, melainkan sebagai referensi visual selama proses navigasi. Selanjutnya sistem mendeteksi marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 1,246 m, koordinat $X = -0,507$ m, $Y = 0,109$ m, dan $Z = 1,276$ m serta nilai orientasi $\theta_x = 133,05^\circ$, $\theta_y = 2,76^\circ$, dan $\theta_z = 108,16^\circ$, yang menunjukkan bahwa AGV telah mencapai area *homebase*.

Didapatkan Grafik pada Gambar 4.21 di bawah.



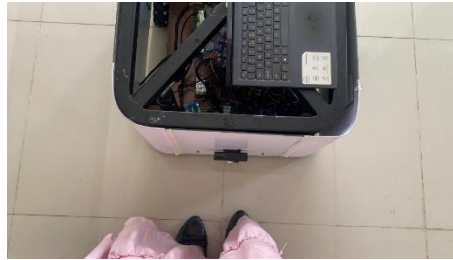
Gambar 4. 21 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik A dengan *Obstacle Box*

Berdasarkan Grafik Gambar 4.21, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik A dengan *obstacle box*. Pada detik ke-0 hingga detik ke-12, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-13, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 0,536 m dan nilainya tetap hingga detik ke-48. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa marker ID 3 telah terdeteksi selama interval tersebut. Setelah AGV bergerak kembali menuju *homebase*, YOLOv8 mendeteksi *obstacle box*. Ketika jarak *obstacle* mencapai 25 cm, AGV berhenti dan melanjutkan navigasi setelah jarak rintangan kembali lebih dari 35 cm. Setelah lintasan kembali bebas, posisi Z berubah menjadi 2,096 m pada detik ke-49. Pada detik ke-50, posisi Z berubah menjadi 2,018 m, kemudian pada detik ke-51 berubah menjadi 1,276 m dan tetap hingga akhir pengujian. Perubahan posisi Z tersebut menunjukkan adanya perubahan marker yang terdeteksi selama AGV bergerak kembali menuju *homebase*, dari marker sebelumnya menuju marker yang menjadi acuan pada perjalanan kembali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa selama terjadi penghentian akibat *obstacle box*, sistem dapat melanjutkan proses navigasi setelah

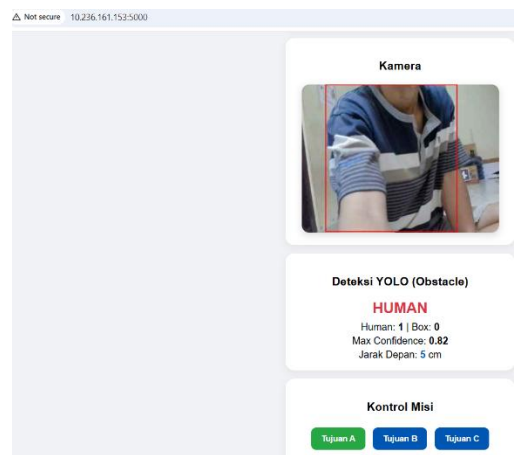
kondisi rintangan kembali aman dan tetap memperoleh data posisi dari marker ArUco yang terdeteksi.

4.1.6.2 Pengujian Titik A dengan *obstacle human*

Telah dilakukan pengujian ke titik A dengan *obstacle human* pada Gambar 4.22 berikut.



(a)



(b)

Gambar 4. 22 Pengujian Deteksi *Obstacle Human* pada Titik A: (a) Kondisi *Obstacle Human* pada Lingkungan Nyata; (b) Hasil Deteksi YOLOv8n dan Monitoring AGV pada Web

Berdasarkan Gambar 4.22, pengujian dilakukan dengan menempatkan *obstacle human* pada lintasan AGV menuju Titik A. Gambar 4.22(a) menunjukkan kondisi *obstacle human* pada lingkungan nyata, sedangkan Gambar 4.22(b) menunjukkan hasil deteksi YOLOv8n dan monitoring AGV pada web. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Pengujian Titik A dengan *Obstacle Human*

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-11	0.00	53.3	7.4	44.9	111	clear	IDLE	-	IDLE

Berdasarkan Tabel 4.22, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik A meskipun terdapat *obstacle* berupa manusia pada lintasan. Setelah AGV bergerak menuju tujuan, pada pukul 10:46:32 status berubah menjadi *obstacle_wait* dengan nilai *Obs* = *human* dan jarak sensor ultrasonik depan (*DistF*) sebesar 21,3 cm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem berhasil mendeteksi keberadaan manusia sehingga AGV menghentikan pergerakan sebagai tindakan pencegahan tabrakan. Setelah *obstacle* tidak lagi terdeteksi, AGV kembali melanjutkan navigasi hingga memasuki proses *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3*. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor telah mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir.

Kemudian diperoleh data marker pada Tabel 4.23 berikut.

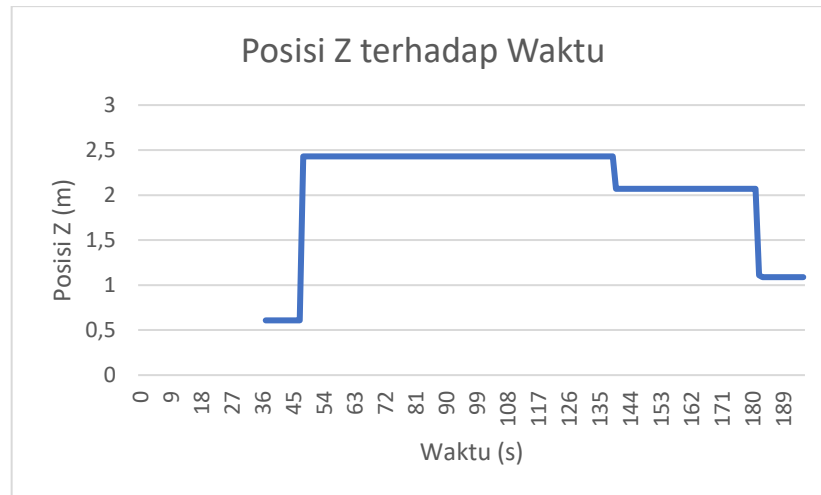
Tabel 4. 23 Data Marker Pengujian Titik A dengan <i>Obstacle Human</i>								
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 10:46:15.762	3	0.684	-0.272	-0.159	0.608	101.01	-81.58	115.97
2026-07-11 10:46:26.763	3	2.623	-0.867	-0.477	2.430	164.83	71.94	-92.89
2026-07-11 10:47:58.779	3	2.147	0.990	-1.069	2.071	137.42	-105.90	-90.56
2026-07-11	2	1.113	-0.019	0.097	1.108	-168.57	-37.77	-87.82

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
10:48:40.786								
2026-07-11 10:48:41.786	2	1.114	-0.217	0.100	1.088	-161.15	-37.01	-102.14

Berdasarkan Tabel 4.23, marker pertama yang terdeteksi adalah marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 0,684 m. Pada kondisi ini diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,272$ m, $Y = -0,159$ m, dan $Z = 0,608$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = 101,01^\circ$, $\theta_y = -81,58^\circ$, dan $\theta_z = 115,97^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan logika navigasi berikutnya. Selama AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sensor ultrasonik depan mendeteksi keberadaan manusia. Ketika jarak manusia mencapai 25 cm, AGV berhenti untuk menghindari tabrakan. Setelah manusia berpindah sehingga jarak yang terdeteksi melebihi 35 cm, AGV melanjutkan navigasi. Selama AGV kembali bergerak, marker ID 3 masih terdeteksi dengan *marker distance* berubah dari 2,623 m menjadi 2,147 m. Perubahan tersebut disertai perubahan koordinat dan orientasi, yaitu dari $X = -0,867$ m, $Y = -0,477$ m, $Z = 2,430$ m, $\theta_x = 164,83^\circ$, $\theta_y = 71,94^\circ$, dan $\theta_z = -92,89^\circ$ menjadi $X = 0,990$ m, $Y = -1,069$ m, $Z = 2,071$ m, $\theta_x = 137,42^\circ$, $\theta_y = -105,90^\circ$, dan $\theta_z = -90,56^\circ$. Perubahan nilai tersebut menunjukkan bahwa posisi dan arah hadap AGV terhadap marker berubah setelah melanjutkan perjalanan. Selanjutnya sistem mendeteksi marker ID 2 sebagai marker transisi dengan *marker distance* sebesar 1,113 m dan 1,114 m. Pada kondisi ini diperoleh koordinat posisi relatif sebesar $X = -0,019$ m hingga $-0,217$ m, $Y = 0,097$ m hingga $0,100$ m, dan $Z = 1,108$ m hingga $1,088$ m dengan nilai orientasi $\theta_x = -168,57^\circ$ hingga $-161,15^\circ$, $\theta_y = -37,77^\circ$ hingga $-37,01^\circ$, dan $\theta_z = -87,82^\circ$ hingga $-102,14^\circ$. Karena marker ID 2 merupakan marker transisi, nilai θ_x dan θ_y

tidak digunakan sebagai *trigger* perubahan *state*, melainkan sebagai referensi visual selama AGV kembali menuju *homebase*.

Dari data marker didapatkan grafik pada Gambar 4.23 berikut.



Gambar 4. 23 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik A dengan *Obstacle Human*

Berdasarkan Grafik Gambar 4.23, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik A dengan *obstacle human*. Pada detik ke-0 hingga detik ke-37, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-38, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 0,608 m yang menunjukkan bahwa marker ID 3 telah terdeteksi saat AGV mencapai Titik A. Pada detik ke-49, nilai posisi Z berubah menjadi 2,430 m dan tetap hingga detik ke-140. Perubahan tersebut terjadi ketika AGV berhenti karena YOLOv8 mendeteksi *human* dan sensor ultrasonik mendeteksi *obstacle* pada jarak 25 cm. AGV kemudian melanjutkan navigasi setelah jarak *obstacle* melebihi 35 cm. Setelah AGV kembali bergerak, marker ID 3 masih berada dalam bidang pandang kamera sehingga nilai posisi Z berubah menjadi 2,071 m pada detik ke-141 dan bertahan hingga detik ke-182. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan jarak antara kamera dan marker ID 3 selama AGV bergerak meninggalkan Titik A. Pada detik ke-183, posisi Z berubah menjadi 1,108 m, kemudian menjadi 1,088 m mulai detik ke-184 hingga akhir pengujian. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kamera kemudian mendeteksi marker ID 2 sebagai marker transisi pada perjalanan AGV menuju *homebase*.

4.1.7 Pengujian Titik B

Pengujian navigasi menuju Titik B dilakukan dengan mengacu pada urutan marker yang telah dirancang pada Tabel 3.2. Berdasarkan Tabel 3.2, marker ID 1 merupakan *homebase* atau titik awal AGV, marker ID 2 merupakan *waypoint* menuju Titik A, marker ID 3 merupakan marker tujuan sekaligus penanda area parkir Titik A, marker ID 4 merupakan *waypoint* menuju Titik B, sedangkan marker ID 5 merupakan marker tujuan sekaligus penanda area parkir Titik B. Navigasi menuju Titik B dilakukan dengan melewati marker ID 2, ID 3, ID 4, dan berakhir pada marker ID 5. Identitas dan fungsi masing-masing marker tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisis data marker, posisi, serta keberhasilan navigasi pada pengujian Titik B.

Berikut Gambar 4.24 AGV sedang terparkir pada titik tujuan B atau Marker ID 5.



Gambar 4. 24 Pengujian Titik B

4.1.7.1 Pengujian Titik B ke-1

Telah dilakukan pengujian ke-1 pada titik B, dan diperoleh data sebagaimana Tabel 4.24 di bawah.

Tabel 4. 24 Pengujian Titik B ke-1									
Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-11 23:31:04.266	0.00	71.9	16.8	38.8	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-11	6.27	71.9	33.8	39.3	111	clear	MOVING	B	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
23:31:30.270									
2026-07-11 23:31:48.273	6.27	71.9	89.2	58.2	111	clear	TURN_1 (Right 92)	B	DONE
2026-07-11 23:31:51.273	6.29	74.0	159.1	59.4	000	clear	PARKING	B	DONE
2026-07-11 23:31:54.273	6.26	11.4	150.4	59.4	000	clear	WAITING	B	DONE
2026-07-11 23:32:05.274	0.00	19.0	133.1	59.4	111	box	REVERSING	B	DONE
2026-07-11 23:32:08.275	0.00	62.8	127.6	59.4	111	clear	TURN_2 (Right 92)	B	DONE
2026-07-11 23:32:22.275	0.02	73.0	151.0	59.4	111	clear	RETURNING	B	DONE
2026-07-11 23:32:28.279	0.00	91.4	112.2	6.5	111	clear	TURN_3 (180)	B	DONE
2026-07-11 23:32:29.279	0.00	93.9	112.3	7.1	111	clear	IDLE	B	DONE

Berdasarkan Tabel 4.24, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik B sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Beban sebesar sekitar 6,27 kg sesuai dengan kategori tujuan Titik B sehingga AGV bergerak menuju lokasi yang ditentukan. Selama proses *moving* hingga *parking*, status

obstacle tetap *clear* sehingga AGV dapat bergerak tanpa melakukan penghentian. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing* hingga kembali ke kondisi *idle*.

Berikut data marker pada Tabel 4.25 di bawah.

Tabel 4. 25 Data Marker Pengujian Titik B ke-1

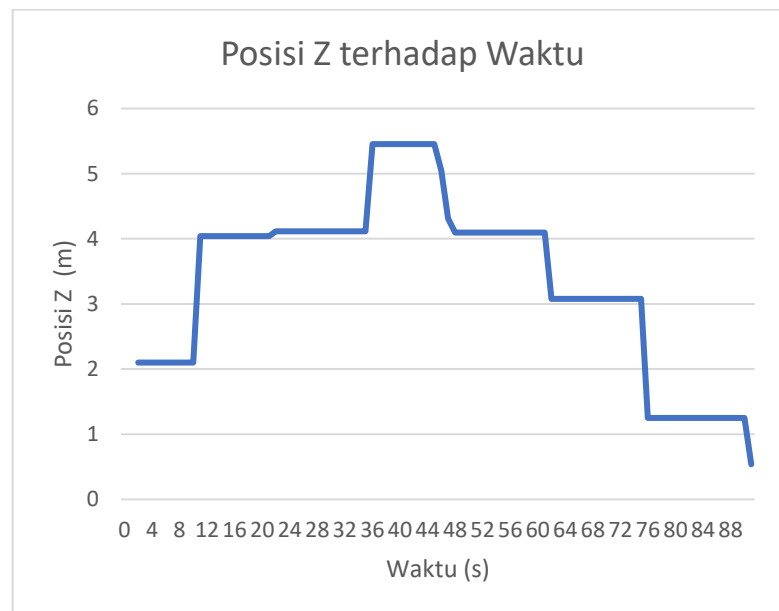
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 23:31:07.267	3	2.234	0.763	-0.046	2.099	147.10	52.70	59.60
2026-07-11 23:31:32.271	4	4.196	1.091	-0.045	4.004	140.20	35.80	78.10
2026-07-11 23:31:33.271	4	4.641	1.060	-0.043	4.114	141.00	36.50	79.20
2026-07-11 23:31:34.271	5	5.687	1.072	-0.045	5.454	136.60	36.90	84.00
2026-07-11 23:31:36.271	5	5.886	1.025	-0.041	5.004	137.20	36.50	83.70
2026-07-11 23:31:39.272	5	2.293	1.010	-0.046	4.312	137.60	27.00	-137.20
2026-07-11 23:31:42.272	4	2.207	0.970	-0.038	4.112	-116.80	-23.90	113.50
2026-07-11 23:31:48.273	4	2.080	-0.195	-1.856	4.094	-2.34	-152.30	96.53

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-11 23:31:51.273	3	2.082	0.086	-0.029	3.078	-170.43	-49.58	-9.20
2026-07-11 23:32:06.276	2	3.426	-1.086	-0.031	1.249	109.60	21.90	117.80
2026-07-11 23:32:07.276	1	0.604	0.129	-0.239	0.539	98.74	-25.89	-71.30

Berdasarkan Tabel 4.25, selama AGV bergerak menuju Titik B, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, dan marker ID 5 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,234 m, koordinat X = 0,763 m, Y = -0,046 m, Z = 2,099 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 147,10^\circ$, $\theta_y = 52,70^\circ$, dan $\theta_z = 59,60^\circ$. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 4,196 m dan 4,641 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 4,004 m dan 4,114 m. Perubahan koordinat posisi dan orientasi pada marker ID 4 menunjukkan bahwa AGV terus bergerak menuju Titik B. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 5,687 m dan 5,886 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 5,454 m dan 5,004 m. Pada marker ini diperoleh nilai orientasi θ_x sebesar $136,60^\circ$ dan $137,20^\circ$, serta θ_y sebesar $36,90^\circ$ dan $36,50^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, kamera sempat mendeteksi marker ID 6 dengan *marker distance* sebesar 2,293 m dan 2,207 m, dengan nilai Z sebesar 4,312 m dan 4,112 m. Namun, marker tersebut tidak digunakan sebagai acuan navigasi pada lintasan kembali sehingga tidak memengaruhi proses navigasi AGV. Selanjutnya kamera kembali mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 2,080 m dan 2,082 m, dengan nilai Z sebesar 4,094 m dan 3,078 m akibat perubahan posisi dan arah hadap AGV selama

perjalanan kembali. Setelah melewati marker ID 2 sebagai marker transisi dengan *marker distance* sebesar 3,426 m dan nilai Z sebesar 1,249 m, sistem mendeteksi marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 0,604 m dan nilai Z sebesar 0,539 m yang menandakan bahwa AGV telah mencapai area *homebase*.

Kemudian didapatkan Gambar 4.25 grafik posisi Z di bawah ini.



Gambar 4. 25 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik B ke-1

Berdasarkan Grafik Gambar 4.25, posisi Z menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera selama pengujian Titik B. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,10 m dan nilainya tetap hingga detik ke-11. Pada detik ke-12, posisi Z berubah menjadi 4,04 m dan bertahan hingga detik ke-22. Selanjutnya, pada detik ke-23, posisi Z berubah menjadi 4,11 m dan tetap hingga detik ke-36. Pada detik ke-37, posisi Z meningkat menjadi 5,45 m dan bertahan hingga detik ke-46. Perubahan nilai tersebut terjadi selama AGV bergerak menuju Titik B dengan marker yang terdeteksi sebagai acuan visual selama proses navigasi. Setelah mencapai area tujuan dan menyelesaikan proses *parking*, posisi Z mulai menurun menjadi 5,04 m pada detik ke-47, kemudian 4,31 m pada detik ke-48. Pada detik ke-49, posisi Z berubah menjadi 4,09 m dan tetap hingga detik ke-62. Selanjutnya, pada detik ke-63, posisi Z berubah menjadi 3,08 m dan bertahan

hingga detik ke-76. Pada detik ke-77, posisi Z kembali menurun menjadi 1,25 m dan tetap hingga detik ke-91. Pada detik ke-92, posisi Z berubah menjadi 0,54 m. Penurunan nilai posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker selama perjalanan kembali menuju *homebase*, dengan jarak terhadap marker yang terdeteksi semakin dekat hingga mencapai 0,54 m pada akhir pengujian.

4.1.7.2 Pengujian Titik B ke-2

Telah dilakukan pengujian ke-2 pada titik B dan datanya terdapat pada Tabel 4.26 di bawah.

Tabel 4. 26 Pengujian Titik B ke-2									
Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 08:41:27.885	0.00	9.7	9.2	42.5	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-12 08:41:58.890	6.29	9.7	33.3	42.5	111	clear	OBSTACLE_WAIT	B	DONE
2026-07-12 08:42:01.890	6.29	56.7	34.9	42.5	111	clear	MOVING	B	DONE
2026-07-12 08:42:20.893	6.24	53.9	31.1	53.6	111	clear	TURN_1 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 08:42:23.894	6.29	57.4	31.1	54.8	000	clear	PARKING	B	DONE
2026-07-12 08:42:27.894	6.24	17.1	31.1	54.8	000	clear	WAITING	B	DONE
2026-07-12 08:42:31.895	0.00	15.8	31.1	54.8	111	clear	REVERSING	B	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 08:42:33.895	0.00	58.2	31.1	54.8	111	clear	TURN_2 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 08:42:37.896	0.00	71.3	80.1	54.8	111	clear	RETURNING	B	DONE
2026-07-12 08:43:00.899	0.00	82.9	50.2	106.5	111	clear	TURN_3 (180)	B	DONE

Berdasarkan Tabel 4.26, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik B sesuai urutan *state* yang telah dirancang. Pada awal pengujian, AGV berada pada kondisi *obstacle_wait* karena jarak sensor ultrasonik depan (*DistF*) hanya 9,7 cm, sehingga sistem menunda pergerakan hingga kondisi lintasan dinyatakan aman. Setelah jarak depan meningkat menjadi 56,7 cm, AGV melanjutkan proses *moving*, kemudian memasuki *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, dan *turn_3*. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV kembali menuju posisi awal.

Kemudian diperoleh data marker pada Tabel 4.27 sebagai berikut.

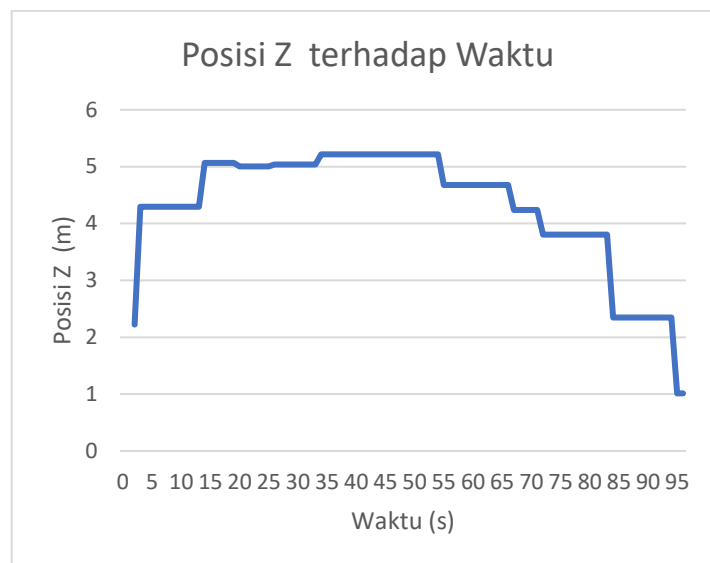
Tabel 4. 27 Data Marker Percobaan Titik B ke-2

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 08:41:30.886	3	2.351	0.761	-0.057	2.224	149.57	50.53	62.01
2026-07-12 08:42:02.890	4	4.512	1.021	-0.045	4.296	143.11	37.82	79.54
2026-07-12 08:42:04.891	5	5.054	1.049	-0.043	5.068	138.26	37.45	83.16

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 08:42:06.89 1	5	5.076	1.083	-0.041	5.003	137.21	36.95	83.82
2026-07-12 08:42:10.89 2	5	3.204	1.016	-0.040	5.038	137.53	26.92	-137.44
2026-07-12 08:42:14.89 2	5	2.398	0.916	-0.036	5.216	-117.03	-23.45	113.54
2026-07-12 08:42:23.89 4	4	0.694	-0.140	-0.029	4.679	-170.74	-51.00	4.23
2026-07-12 08:42:37.89 6	4	1.262	-0.233	-0.034	4.240	147.62	39.27	73.63
2026-07-12 08:42:38.89 6	2	3.976	-1.162	-0.036	3.802	109.38	21.95	118.42
2026-07-12 08:42:50.89 8	1	13.371	0.036	0.810	2.347	-107.69	105.98	-20.12
2026-07-12 08:43:02.89 9	1	1.657	0.214	-0.314	1.013	-153.52	-4.82	47.36

Berdasarkan Tabel 4.27, selama AGV bergerak menuju Titik B, kamera mendeteksi marker ID 3, ID 4, dan ID 5 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,351 m dan nilai $Z = 2,224$ m, dengan koordinat $X = 0,761$ m dan $Y = -0,057$ m. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 4,512 m dan nilai $Z = 4,296$ m. Setelah itu, sistem mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 5,054 m dan 5,076 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 5,068 m dan 5,003 m. Nilai θ_x dan θ_y pada marker ID 5 digunakan sebagai acuan untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai, AGV bergerak kembali menuju *homebase*. Pada perjalanan kembali, kamera kembali mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 0,694 m dan 1,262 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 4,679 m dan 4,240 m. Selanjutnya, marker

ID 2 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,976 m dan 13,371 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 3,802 m dan 2,347 m. Pada bagian akhir pengujian, sistem mendeteksi marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 1,657 m dan nilai Z sebesar 1,013 m. Perubahan nilai *marker distance* dan Z menunjukkan perubahan posisi AGV selama bergerak dari Titik B kembali menuju *homebase*. Kemudian diperoleh grafik posisi Z sebagaimana Gambar 4.26 di bawah.



Gambar 4. 26 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian ke-2

Berdasarkan Grafik Gambar 4.26, posisi Z menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera selama pengujian Titik B ke-2. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,224 m. Pada detik ke-4, posisi Z berubah menjadi 4,296 m dan bertahan hingga detik ke-14. Selanjutnya, pada detik ke-15, posisi Z berubah menjadi 5,068 m dan bertahan hingga detik ke-20. Pada detik ke-21, posisi Z berubah menjadi 5,003 m dan bertahan hingga detik ke-26. Nilai tersebut kemudian berubah menjadi 5,038 m pada detik ke-27 dan bertahan hingga detik ke-34. Pada detik ke-35, posisi Z berubah menjadi 5,216 m dan bertahan hingga detik ke-55. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, posisi Z menurun menjadi 4,679 m pada detik ke-56 dan bertahan hingga detik ke-67. Pada detik ke-68, posisi Z berubah menjadi 4,240 m dan bertahan hingga detik ke-72. Selanjutnya, pada

detik ke-73, posisi Z berubah menjadi 3,802 m dan bertahan hingga detik ke-84. Pada detik ke-85, posisi Z kembali menurun menjadi 2,347 m dan bertahan hingga detik ke-95. Pada detik ke-96, posisi Z berubah menjadi 1,013 m hingga akhir pengujian. Perubahan nilai posisi Z selama perjalanan menuju Titik B menunjukkan adanya perubahan jarak AGV terhadap marker yang terdeteksi pada lintasan. Setelah proses *parking*, penurunan nilai posisi Z menunjukkan bahwa AGV bergerak kembali menuju *homebase* dan jaraknya terhadap marker yang terdeteksi semakin dekat hingga mencapai 1,013 m pada akhir pengujian.

4.1.7.3 Pengujian Titik B ke-3

Berikut Tabel 4.28 data pengujian ke-3 pada titik B.

Tabel 4. 28 Pengujian Titik B ke-3									
Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 08:48:43.235	0.00	5.8	6.7	41.9	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-12 08:49:18.244	6.28	56.9	22.2	41.9	111	clear	MOVING	B	DONE
2026-07-12 08:49:36.247	6.28	56.9	105.7	53.6	111	clear	TURN_1 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 08:49:39.247	6.27	69.5	121.4	53.8	000	clear	PARKING	B	DONE
2026-07-12 08:49:43.248	6.28	28.4	119.4	53.8	000	clear	WAITING	B	DONE
2026-07-12 08:49:47.249	0.00	22.6	90.4	53.8	111	clear	REVERSING	B	DONE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 08:49:249	0.00	61.7	89.7	53.8	111	clear	TURN_2 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 08:49:53.250	0.00	74.3	71.0	53.8	111	clear	RETURNING	B	DONE
2026-07-12 08:50:18.256	0.00	82.8	58.2	108.7	111	clear	TURN_3 (180)	B	DONE
2026-07-12 08:50:22.257	0.00	134.8	32.4	78.5	111	clear	IDLE	B	DONE

Berdasarkan Tabel 4.28, AGV berhasil menyelesaikan navigasi menuju Titik B sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Selama proses navigasi, status *obstacle* tetap *clear* sehingga AGV dapat bergerak tanpa penghentian. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor kanan mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir, sedangkan sensor kiri dan tengah belum berada tepat di atas garis. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan navigasi kembali menuju titik awal.

Berikut diperoleh data marker pada Tabel 4.29 di bawah.

Tabel 4. 29 Data Marker Pengujian B ke-3

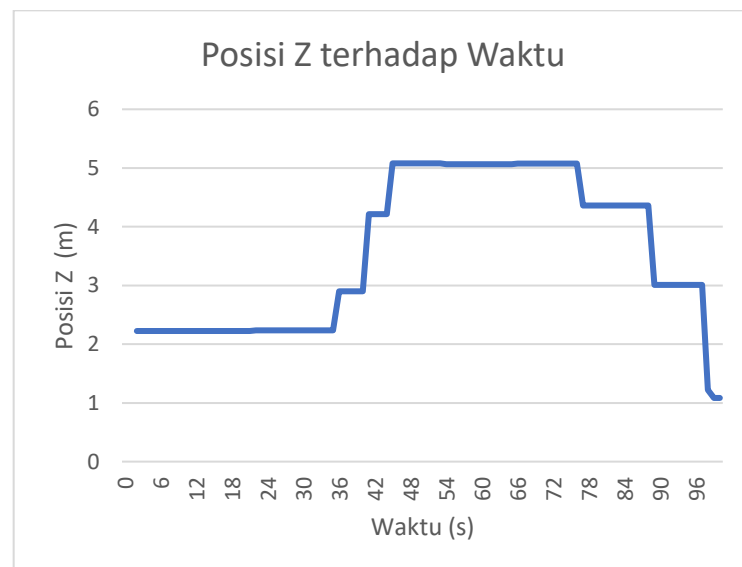
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 08:48:46.239	3	2.353	0.761	-0.056	2.226	149.5	50.7	62.0
2026-07-12	4	3.389	1.082	-0.045	4.212	141.3	36.8	78.4

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
08:49:19.244								
2026-07-12	5	4.033	1.103	-0.043	5.079	137.8	37.2	83.6
08:49:21.244								
2026-07-12	5	4.104	1.065	-0.044	5.063	136.9	27.1	-137.5
08:49:25.245								
2026-07-12	5	0.980	-0.086	-0.028	5.076	-171.2	-50.8	-5.4
08:49:38.247								
2026-07-12	4	1.382	-0.241	-0.033	4.361	148.2	39.4	73.6
08:49:52.249								
2026-07-12	2	3.182	-1.028	-0.036	3.011	110.8	21.8	117.6
08:49:53.250								
2026-07-12	1	4.395	-1.226	-0.004	1.220	121.5	0.8	131.8
08:49:56.250								
2026-07-12	1	3.651	1.094	-0.041	1.084	140.6	35.9	78.2
08:50:22.257								

Berdasarkan Tabel 4.29, selama AGV bergerak menuju Titik B, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, dan marker ID 5 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,353 m, koordinat X = 0,761 m, Y = -0,056 m, Z = 2,226 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 149,5^\circ$, $\theta_y = 50,7^\circ$, dan $\theta_z = 62,0^\circ$. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,389 m, koordinat X = 1,082 m, Y = -0,045 m, Z = 4,212 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 141,3^\circ$, $\theta_y = 36,8^\circ$, dan $\theta_z = 78,4^\circ$. Perubahan koordinat posisi dan orientasi menunjukkan bahwa AGV terus bergerak menuju Titik B. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 5 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* sebesar

4,033 m dan 4,104 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 5,079 m dan 5,063 m. Pada marker ini diperoleh nilai orientasi $\theta_x = 137,8^\circ$ dan $136,9^\circ$, serta $\theta_y = 37,2^\circ$ dan $27,1^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, kamera kembali mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 0,980 m dan nilai Z sebesar 5,076 m. Selanjutnya kamera mendeteksi marker ID 4 dengan *marker distance* sebesar 1,382 m dan nilai Z sebesar 4,361 m, kemudian marker ID 2 sebagai marker transisi dengan *marker distance* sebesar 3,182 m dan nilai Z sebesar 3,011 m. Pada akhir pengujian, sistem mendeteksi marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 4,395 m dan 3,651 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 1,220 m dan 1,084 m.

Berdasarkan data posisi Z marker, diperoleh grafik seperti Gambar 4.27 di bawah.



Gambar 4. 27 Grafik Data Marker Pengujian Titik B ke-3

Berdasarkan Gambar 4.27, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik B ke-3. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,226 m dan bertahan hingga detik ke-22. Pada detik ke-23, posisi Z berubah menjadi 2,233 m dan bertahan

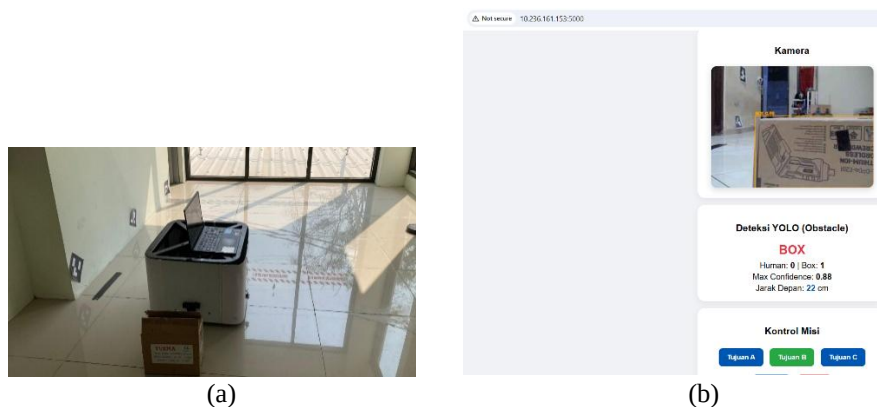
hingga detik ke-36. Selanjutnya, pada detik ke-37 posisi Z meningkat menjadi 2,899 m dan bertahan hingga detik ke-41. Pada detik ke-42, posisi Z berubah menjadi 4,212 m dan bertahan hingga detik ke-45. Kemudian, pada detik ke-46 posisi Z meningkat menjadi 5,079 m dan bertahan hingga detik ke-54. Pada detik ke-55, posisi Z berubah menjadi 5,063 m dan bertahan hingga detik ke-66. Perubahan nilai tersebut terjadi selama AGV bergerak menuju Titik B dan memperoleh data posisi dari marker yang terdeteksi pada lintasan. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, pada detik ke-67 posisi Z berubah menjadi 5,076 m dan bertahan hingga detik ke-77. Pada detik ke-78, posisi Z menurun menjadi 4,361 m dan bertahan hingga detik ke-89. Selanjutnya, pada detik ke-90 posisi Z kembali menurun menjadi 3,011 m dan bertahan hingga detik ke-98. Pada detik ke-99, posisi Z berubah menjadi 1,220 m, kemudian menjadi 1,084 m pada detik ke-100. Penurunan nilai posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker selama perjalanan kembali menuju *homebase*, dengan jarak terhadap marker yang terdeteksi semakin dekat hingga mencapai 1,084 m pada akhir pengujian.

4.1.8 Pengujian B dengan *Obstacle*

Berikut adalah pengujian titik B dengan *obstacle*.

4.1.8.1 Pengujian Titik B dengan *Obstacle Box*

Berikut Gambar 4.28 pengujian titik B dengan *obstacle box*.



Gambar 4. 28 Pengujian Deteksi *Obstacle Box* pada Titik B: (a) Kondisi *Obstacle Box* pada Lingkungan Nyata; (b) Hasil Deteksi YOLOv8n dan Monitoring AGV pada Web

Data hasil pengujian dengan *obstacle box* pada Titik B ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Pengujian Titik B dengan *Obstacle Box*

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 09:58:20.830	0.00	0.0	43.1	41.7	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-12 09:58:53.836	6.12	163.4	82.8	41.7	111	clear	MOVING	B	DONE
2026-07-12 09:59:11.839	6.06	163.4	154.1	58.8	111	clear	TURN_1 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 09:59:14.839	6.12	163.4	181.6	57.1	000	clear	PARKING	B	DONE
2026-07-12 09:59:18.840	6.06	163.4	171.9	57.1	000	clear	WAITING	B	DONE
2026-07-12 09:59:22.840	0.00	163.4	171.9	57.1	111	clear	REVERSING	B	DONE
2026-07-12 09:59:24.841	0.00	163.4	183.8	57.1	111	clear	TURN_2 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 09:59:27.841	0.00	163.4	160.8	57.1	111	box	RETURNING	B	DONE
2026-07-12 09:59:31.843	0.00	23.3	154.0	57.1	111	box	OBSTACLE_WAIT	B	DONE
2026-07-12	0.00	50.1	154.0	57.1	111	clear	RETURNING	B	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
09:59:40.843									
2026-07-12 09:59:52.845	0.00	59.7	154.0	55.5	111	clear	TURN_3 (180)	B	DONE

Berdasarkan Tabel 4.30, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik B sesuai urutan state yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *obstacle_wait*, kemudian melanjutkan *returning*, *turn_3*, hingga menyelesaikan proses navigasi. Beban yang terbaca berkisar antara 6,06-6,12 kg sehingga sesuai dengan kategori tujuan Titik B. Selama proses menuju area parkir, status *obstacle* tetap *clear* sehingga AGV dapat bergerak tanpa hambatan. Pada saat memasuki area parkir, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing*.

Pada proses *returning*, sistem mendeteksi *obstacle* berupa *box*. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh perubahan status *obstacle* dari *clear* menjadi *box* ketika jarak sensor ultrasonik depan menurun hingga 23,3 cm. Akibatnya AGV berpindah ke state *obstacle_wait* dan menghentikan pergerakan sementara hingga rintangan tidak lagi terdeteksi. Setelah *obstacle* hilang dan jarak depan meningkat menjadi 50,1 cm, status kembali menjadi *clear* sehingga AGV melanjutkan proses *returning* dan menyelesaikan navigasi dengan memasuki state *turn_3*.

Kemudian terdapat data marker pada Tabel 4.31 berikut.

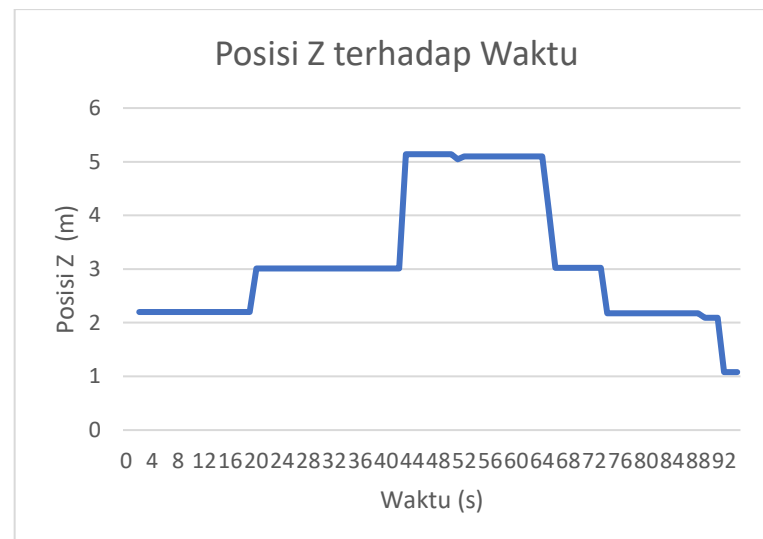
Tabel 4. 31 Data Marker Pengujian Titik B dengan *Obstacle Box*

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 09:58:23.831	3	2.319	0.739	-0.016	2.198	143.43	49.05	68.16

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 09:58:55.83 6	4	3.187	1.04 4	0.00 7	3.01 1	145.1 4	38.0 8	70.90
2026-07-12 09:58:58.83 7	5	5.495	1.03 1	0.01 4	5.14 0	143.0 3	39.4 8	74.42
2026-07-12 09:59:02.83 7	5	5.594	1.02 4	0.00 7	5.04 5	- 164.9 8	- 30.4 8	-90.36
2026-07-12 09:59:13.83 9	5	5.699	0.05 8	- 0.01 1	5.09 6	- 170.9 4	- 50.7 4	23.91
2026-07-12 09:59:26.84 1	4	5.134	- 0.19 9	- 0.00 9	4.11 6	149.5 7	39.3 4	66.00
2026-07-12 09:59:27.84 1	2	3.041	- 0.36 3	0.01 6	3.02 0	120.4 0	25.9 0	106.6 8
2026-07-12 09:59:29.84 1	2	2.309	- 1.06 2	0.07 1	2.17 5	- 151.3 8	2.82	94.77
2026-07-12 09:59:30.84 1	2	2.854	- 0.95 5	0.02 5	2.09 0	109.2 8	21.3 3	115.1 1
2026-07-12 09:59:31.84 2	1	1.920	- 1.03 6	0.07 3	1.08 0	122.7 6	0.56	129.8 5

Berdasarkan Tabel 4.31, selama AGV bergerak menuju Titik B, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, dan marker ID 5 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,319 m, koordinat X = 0,739 m, Y = 0,016 m, Z = 2,198 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 143,43^\circ$, $\theta_y = 49,05^\circ$, dan $\theta_z = 68,16^\circ$. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,187 m, koordinat X = 1,047 m, Y = 0,007 m, Z = 3,011 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 145,14^\circ$, $\theta_y = 38,08^\circ$, dan $\theta_z = 70,90^\circ$. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 5 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* sebesar 5,495 m, dengan nilai Z = 5,140 m, 5,594 m dengan nilai Z = 5,045 m, dan 5,699 m dengan nilai Z = 5,069 m. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan

sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sensor ultrasonik depan mendeteksi *obstacle box*. Ketika jarak rintangan mencapai 25 cm, AGV berhenti untuk menghindari tabrakan. Setelah *obstacle box* dipindahkan sehingga jarak yang terdeteksi melebihi 35 cm, AGV melanjutkan navigasi. Selama perjalanan kembali, kamera sempat mendeteksi marker ID 4 dengan *marker distance* sebesar 5,134 m dan nilai $Z = 4,116$ m, namun marker tersebut tidak digunakan sebagai acuan navigasi sehingga tidak memengaruhi proses navigasi AGV. Selanjutnya kamera mendeteksi marker ID 2 dengan *marker distance* sebesar 3,041 m dan nilai $Z = 3,020$ m, 2,309 m dengan nilai $Z = 2,175$ m, dan 2,854 m dengan nilai $Z = 2,090$ m, serta marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 1,920 m dan nilai $Z = 1,080$ m.



Gambar 4. 29 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik B dengan *Obstacle Box*

Berdasarkan Grafik Gambar 4.29, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik B dengan *obstacle box*. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik B dengan *obstacle box*. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,198 m dan bertahan hingga detik ke-20. Pada detik ke-21, posisi Z berubah menjadi 3,011 m

dan bertahan hingga detik ke-43. Selanjutnya, pada detik ke-44 posisi Z meningkat menjadi 5,140 m dan bertahan hingga detik ke-51. Pada detik ke-52, posisi Z berubah menjadi 5,045 m, kemudian menjadi 5,096 m pada detik ke-53 dan bertahan hingga detik ke-65. Perubahan nilai tersebut terjadi selama AGV bergerak menuju Titik B dan memperoleh data jarak dari marker yang terdeteksi pada lintasan. Setelah proses *parking* selesai, pada detik ke-66 posisi Z berubah menjadi 4,116 m ketika AGV mulai bergerak kembali menuju *homebase*. Pada perjalanan tersebut, AGV berhenti ketika YOLOv8 mendeteksi *obstacle box* dan sensor ultrasonik mendeteksi jarak rintangan sebesar 25 cm. AGV kembali melanjutkan navigasi setelah jarak rintangan melebihi 35 cm. Setelah lintasan kembali bebas, pada detik ke-67 posisi Z berubah menjadi 3,020 m dan bertahan hingga detik ke-74. Pada detik ke-75, posisi Z menurun menjadi 2,175 m dan bertahan hingga detik ke-89. Selanjutnya, pada detik ke-90 posisi Z berubah menjadi 2,090 m dan bertahan hingga detik ke-92. Pada detik ke-93, posisi Z kembali menurun menjadi 1,080 m dan bertahan hingga akhir pengujian. Penurunan nilai posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker selama perjalanan kembali menuju *homebase*. Nilai Z yang semakin kecil menunjukkan bahwa AGV semakin mendekati marker yang terdeteksi hingga mencapai 1,080 m pada akhir pengujian.

4.1.8.2 Pengujian Titik B dengan *Obstacle Human*

Berikut Gambar 4.30 merupakan data percobaan titik B dengan *obstacle human*



Gambar 4. 30 Pengujian Deteksi *Obstacle Human* pada Titik B: (a) Kondisi *Obstacle Human* pada Lingkungan Nyata; (b) Hasil Deteksi YOLOv8n dan Monitoring AGV pada Web

Data hasil pengujian dengan *obstacle human* pada Titik B ditunjukkan pada Tabel 4.32.

Tabel 4. 32 Pengujian Titik B dengan *Obstacle Human*

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 10:01:38.053	0.00	0.0	41.7	41.4	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-12 10:02:26.060	5.93	132.2	71.5	41.3	111	clear	MOVING	B	DONE
2026-07-12 10:02:45.063	5.88	132.2	203.9	54.3	111	clear	TURN_1 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 10:02:48.063	5.94	132.2	180.9	54.1	000	clear	PARKING	B	DONE
2026-07-12 10:02:52.064	5.90	132.2	173.6	54.1	000	clear	WAITING	B	DONE
2026-07-12 10:02:56.065	0.00	132.2	173.7	25.9	111	clear	REVERSING	B	DONE
2026-07-12 10:02:58.065	0.00	132.2	188.5	25.9	111	clear	TURN_2 (Right 92)	B	DONE
2026-07-12 10:03:01.066	0.00	124.7	188.0	25.9	111	clear	RETURNING	B	DONE
2026-07-12	0.00	20.0	188.2	25.9	111	human	OBSTACLE_WAIT	B	DONE

Time	Load (kg)	Dist F (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
10:03:07.066									
2026-07-12	0.00	54.3	188.2	25.9	111	clear	RETURNING	B	DONE
10:03:08.067									
2026-07-12	0.00	27.5	188.2	26.2	111	box	TURN_3 (180)	B	DONE
10:03:26.069									
2026-07-12	0.00	20.3	188.2	36.4	111	clear	IDLE	B	DONE
10:03:30.070									

Berdasarkan Tabel 4.32, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik B sesuai urutan state yang telah dirancang, yaitu moving, turn_1, parking, waiting, reversing, turn_2, returning, *obstacle_wait*, kembali ke returning, turn_3, dan berakhir pada kondisi idle. Beban yang terbaca berkisar antara 5,88-5,94 kg sehingga sesuai dengan kategori tujuan Titik B. Selama proses menuju area parkir, status *obstacle* tetap clear sehingga AGV dapat bergerak tanpa hambatan. Pada saat memasuki area parkir, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa ketiga sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses reversing.

Pada proses returning, sensor ultrasonik mendeteksi adanya *obstacle* berupa *human*. Hal tersebut ditunjukkan oleh perubahan status *obstacle* menjadi *human* ketika jarak sensor ultrasonik depan menurun hingga 20,0 cm. Akibatnya AGV berpindah ke state *obstacle_wait* dan menghentikan pergerakan sementara hingga jalur kembali aman. Setelah *obstacle* tidak lagi terdeteksi dan jarak depan meningkat menjadi 54,3 cm, status kembali menjadi clear sehingga AGV melanjutkan proses returning. Menjelang akhir navigasi, status *obstacle* sempat berubah menjadi *box* ketika AGV berada pada state turn_3 dengan jarak depan 27,5

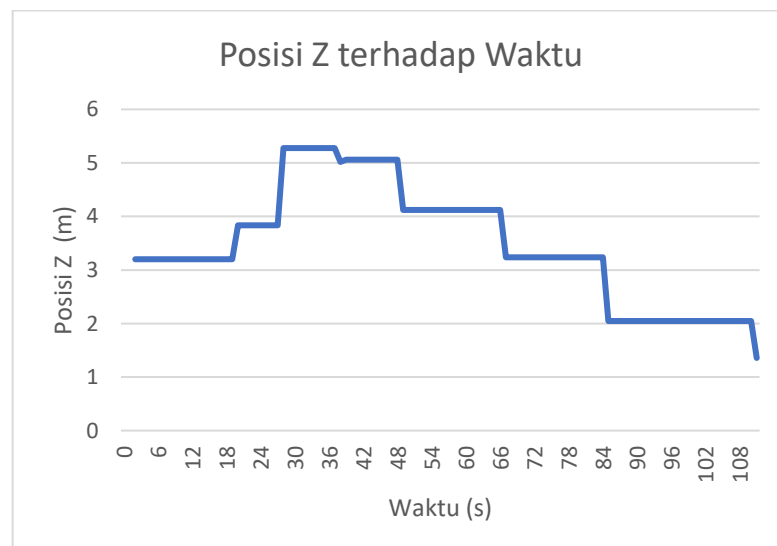
cm. Namun kondisi tersebut tidak menyebabkan perpindahan state karena AGV sedang menyelesaikan manuver putar terakhir sebelum memasuki kondisi idle.

Kemudian diperoleh Tabel 4.33 data marker

Tabel 4. 33 Data Marker Titik B dengan <i>Obstacle Human</i>								
Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 10:01:41.05 3	3	3.321	0.733	-0.016	3.202	143.22	49.30	66.42
2026-07-12 10:02:29.06 0	4	3.007	1.008	0.009	3.833	-110.14	-26.74	111.38
2026-07-12 10:02:32.06 1	5	5.378	0.998	0.021	5.227	141.84	40.57	71.95
2026-07-12 10:02:37.06 2	5	5.154	0.925	-0.003	5.016	136.60	25.16	-136.30
2026-07-12 10:02:47.06 3	5	5.661	-0.053	-0.016	5.059	-172.33	-51.92	12.27
2026-07-12 10:02:59.06 5	4	4.119	-0.026	-0.013	4.119	154.54	41.56	61.74
2026-07-12 10:03:00.06 5	4	3.242	-0.185	0.017	3.237	123.90	24.49	104.72
2026-07-12 10:03:04.06 6	2	2.215	-1.180	0.062	2.046	119.98	0.93	129.50
2026-07-12 10:03:30.07 0	1	1.541	0.949	-0.016	1.357	-170.22	-58.43	-53.19

Berdasarkan Tabel 4.33, selama AGV bergerak menuju Titik B, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, dan marker ID 5 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,321 m, koordinat X = 0,733 m, Y = -0,016 m, Z = 3,202 m, serta nilai orientasi $\theta_x = 143,22^\circ$, $\theta_y = 49,30^\circ$, dan $\theta_z = 66,42^\circ$. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,007 m, koordinat X = 1,008 m, Y = 0,009 m, Z = 3,833 m, serta nilai orientasi $\theta_x = -110,14^\circ$, $\theta_y = -26,74^\circ$, dan $\theta_z = 111,38^\circ$. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID

5 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* sebesar 5,378 m, koordinat $X = 0,998$ m, $Y = 0,021$ m, $Z = 5,227$ m, serta nilai orientasi $\theta_x = 141,84^\circ$ dan $\theta_y = 40,57^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, sensor ultrasonik depan mendeteksi keberadaan manusia. Ketika jarak manusia mencapai 25 cm, AGV berhenti untuk menghindari tabrakan. Setelah manusia berpindah sehingga jarak yang terdeteksi melebihi 35 cm, AGV melanjutkan navigasi. Selama perjalanan kembali, kamera sempat mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 5,154 m dan nilai Z sebesar 5,016 m, kemudian marker ID 5 kembali terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 5,661 m dan nilai Z sebesar 5,059 m. Selanjutnya kamera mendeteksi marker ID 4 dengan *marker distance* sebesar 4,119 m dan nilai Z sebesar 4,119 m, kemudian marker ID 4 kembali terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 3,242 m dan nilai Z sebesar 3,237 m, marker ID 2 dengan *marker distance* sebesar 2,215 m dan nilai Z sebesar 2,046 m, dan marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 1,541 m dan nilai Z sebesar 1,357 m yang menandakan AGV telah mencapai area *homebase*.



Gambar 4. 31 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik B dengan *Obstacle Human*

Berdasarkan Gambar 4.31, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik B dengan *obstacle human*. Pada detik

ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 3,202 m dan bertahan hingga detik ke-20. Pada detik ke-21, posisi Z berubah menjadi 3,833 m dan bertahan hingga detik ke-28. Selanjutnya, pada detik ke-29, posisi Z meningkat menjadi 5,277 m dan bertahan hingga detik ke-38. Pada detik ke-39, posisi Z berubah menjadi 5,016 m, kemudian menjadi 5,059 m mulai detik ke-40 hingga detik ke-49. Perubahan nilai tersebut terjadi selama AGV bergerak menuju Titik B dan memperoleh data jarak dari marker yang terdeteksi pada lintasan. Setelah proses *parking* selesai, AGV bergerak kembali menuju *homebase*. Pada detik ke-50, posisi Z berubah menjadi 4,119 m dan bertahan hingga detik ke-67. Selanjutnya, pada detik ke-68 posisi Z menurun menjadi 3,237 m dan bertahan hingga detik ke-85. Pada detik ke-86, posisi Z kembali menurun menjadi 2,046 m dan bertahan hingga detik ke-110. Pada detik ke-111, posisi Z berubah menjadi 1,357 m hingga akhir pengujian. Penurunan nilai posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker selama perjalanan kembali menuju *homebase*, dengan jarak terhadap marker yang terdeteksi semakin dekat hingga mencapai 1,357 m pada akhir pengujian. Pada pengujian ini, AGV juga memberikan respons penghentian ketika sensor ultrasonik mendeteksi *obstacle human* pada jarak 25 cm. AGV kemudian melanjutkan navigasi setelah jarak rintangan terdeteksi lebih dari 35 cm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem tetap dapat melanjutkan navigasi setelah kondisi rintangan kembali aman.

4.1.9 Pengujian Titik C

Pengujian navigasi menuju Titik C dilakukan dengan mengacu pada urutan marker yang telah dirancang pada Tabel 3.2. Berdasarkan Tabel 3.2, marker ID 1 merupakan *homebase* atau titik awal AGV, marker ID 2 merupakan *waypoint* menuju Titik A, marker ID 3 merupakan marker tujuan sekaligus penanda area parkir Titik A, marker ID 4 merupakan *waypoint* menuju Titik B, marker ID 5 merupakan marker tujuan sekaligus penanda area parkir Titik B, marker ID 6 merupakan *waypoint* menuju Titik C, sedangkan marker ID 7 merupakan marker

tujuan sekaligus penanda area parkir Titik C. Navigasi menuju Titik C dilakukan dengan melewati marker ID 2, ID 3, ID 4, ID 5, ID 6, dan berakhir pada marker ID 7. Identitas dan fungsi masing-masing marker tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisis data marker, posisi, serta keberhasilan navigasi pada pengujian Titik C.

Berikut Gambar 4.32 AGV sedang terparkir pada titik tujuan C atau Marker ID 7.



Gambar 4. 32 Pengujian Titik C

4.1.9.1 Pengujian Titik C ke-1

Berikut data Tabel 4.34 pengujian titik c ke-1.

Time	Lo ad (kg)	Dis tF (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Ob s	State	Destinat ion	Pha se
2026-07-12 11:49:48. 179	0.0 0	50. 0	178. 6	40.8	111	cle ar	IDLE	-	IDL E
2026-07-12 11:50:57. 190	10. 87	76. 6	161. 5	41.3	111	cle ar	MOVING	C	DO NE
2026-07-12 11:51:25. 194	10. 90	76. 6	177. 4	45.1	111	cle ar	TURN_1 (Right 92)	C	DO NE
2026-07-12 11:51:28. 195	10. 87	44. 9	232. 7	71.7	000	cle ar	PARKIN G	C	DO NE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 11:51:31.195	10.88	7.7	226.2	71.7	000	clear	WAITING	C	DONE
2026-07-12 11:51:41.197	0.01	24.6	226.2	71.7	111	clear	REVERSING	C	DONE
2026-07-12 11:51:43.197	0.00	86.3	226.2	71.7	111	clear	TURN_2 (Right 92)	C	DONE
2026-07-12 11:51:46.198	0.00	86.3	226.2	71.7	111	clear	RETURNING	C	DONE
2026-07-12 11:52:20.203	0.00	61.2	226.2	31.1	111	clear	TURN_3 (180)	C	DONE
2026-07-12 11:52:25.203	0.00	40.1	226.2	41.7	111	clear	IDLE	C	DONE

Berdasarkan Tabel 4.34, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik C sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Beban sekitar 10,87-10,90 kg sesuai dengan kategori tujuan Titik C sehingga AGV memilih tujuan C. Selama proses navigasi, status *obstacle* tetap *clear* sehingga AGV dapat bergerak tanpa penghentian. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor mendeteksi garis hitam sebagai penanda area parkir. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell turun menjadi sekitar 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing* hingga kembali ke posisi awal.

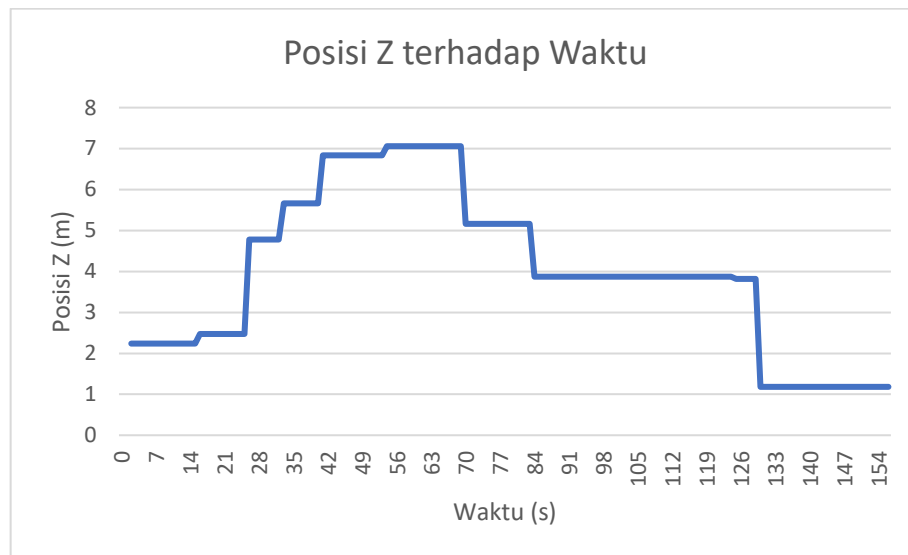
Kemudian didapatkan Tabel 4.35 data marker.

Tabel 4. 35 Data Marker Pengujian Titik C ke-1

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 11:49:51.18 0	3	2.404	0.86 7	0.09 9	2.24 0	144.0 0	51.8 7	61.38
2026-07-12 11:51:00.19 0	4	4.032	1.20 1	0.14 3	4.78 0	148.3 2	39.9 5	61.90
2026-07-12 11:51:01.19 1	5	5.869	1.22 8	0.18 8	5.66 5	- 165.4 3	- 49.9 4	-89.15
2026-07-12 11:51:05.19 1	6	6.039	1.26 4	0.20 2	6.83 1	- 115.2 7	- 18.4 7	119.1 0
2026-07-12 11:51:11.19 2	7	7.305	0.95 4	0.19 0	7.05 8	- 116.5 9	- 16.3 0	126.8 8
2026-07-12 11:51:44.19 7	5	6.173	- 0.21 2	0.09 5	5.16 0	132.8 9	40.6 3	84.36
2026-07-12 11:51:48.19 8	3	4.069	- 1.22 9	0.16 2	3.87 6	97.28	39.3 3	100.7 4
2026-07-12 11:51:54.19 9	2	4.052	- 1.33 6	0.17 3	1.82 1	110.0 2	21.9 9	117.1 7

Berdasarkan Tabel 4.35, selama AGV bergerak menuju Titik C, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, marker ID 5, dan marker ID 7 sebagai marker tujuan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,404 m, koordinat $X = 0,860$ m, $Y = 0,099$ m, $Z = 2,240$ m, serta nilai orientasi $\theta_x = 144,00^\circ$, $\theta_y = 51,87^\circ$, dan $\theta_z = 61,38^\circ$. Selanjutnya, marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 4,032 m, koordinat $X = 1,202$ m, $Y = 0,143$ m, $Z = 4,780$ m, serta nilai orientasi $\theta_x = 148,33^\circ$, $\theta_y = 39,92^\circ$, dan $\theta_z = 61,90^\circ$. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 5,869 m, koordinat $X = 1,228$ m, $Y = 0,018$ m, $Z = 5,665$ m, serta nilai orientasi $\theta_x = -165,43^\circ$ dan $\theta_y = -49,94^\circ$. Kamera kemudian sempat mendeteksi marker ID 6 dengan *marker distance* sebesar 6,039 m dan nilai $Z = 6,830$ m. Namun, marker tersebut tidak digunakan sebagai acuan navigasi sehingga tidak memengaruhi proses navigasi AGV.

Selanjutnya sistem mendeteksi marker ID 7 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* sebesar 7,305 m, koordinat $X = 0,954$ m, $Y = 0,199$ m, $Z = 7,050$ m, serta nilai orientasi $\theta_x = -116,57^\circ$ dan $\theta_y = -16,30^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, kamera kembali mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 6,173 m dan nilai $Z = 5,160$ m, kemudian marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 4,069 m dan nilai $Z = 3,870$ m, dan marker ID 2 dengan *marker distance* sebesar 4,052 m dan nilai $Z = 1,821$ m.



Gambar 4. 33 Grafik Posisi terhadap Waktu Pengujian Titik C ke-1

Berdasarkan Gambar 4.33, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik C ke-1. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,24 m dan bertahan hingga detik ke-16. Pada detik ke-17, posisi Z berubah menjadi 2,47 m dan bertahan hingga detik ke-26. Selanjutnya, pada detik ke-27, posisi Z meningkat menjadi 4,78 m dan bertahan hingga detik ke-33. Pada detik ke-34, posisi Z meningkat menjadi 5,665 m dan bertahan hingga detik ke-41. Kemudian, pada detik ke-42, posisi Z berubah menjadi 6,831 m dan bertahan hingga detik ke-54. Pada detik ke-55, posisi Z

meningkat menjadi 7,058 m dan bertahan hingga detik ke-70. Perubahan nilai tersebut terjadi selama AGV bergerak menuju Titik C dan memperoleh data jarak dari marker yang terdeteksi pada lintasan. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, pada detik ke-71 posisi Z menurun menjadi 5,16 m dan bertahan hingga detik ke-84. Pada detik ke-85, posisi Z kembali menurun menjadi 3,876 m dan bertahan hingga detik ke-121. Pada detik ke-122, posisi Z berubah menjadi 3,455 m dan bertahan hingga detik ke-125. Pada detik ke-126, posisi Z meningkat menjadi 3,821 m dan bertahan hingga detik ke-130. Kemudian, pada detik ke-131, posisi Z menurun menjadi 1,182 m dan bertahan hingga akhir pengujian pada detik ke-156. Perubahan nilai posisi Z menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker yang terdeteksi selama perjalanan menuju Titik C dan perjalanan kembali menuju *homebase*. Setelah proses *parking*, nilai Z secara umum menurun dari 7,058 m hingga 1,182 m, yang menunjukkan bahwa AGV bergerak menuju area *homebase* dengan jarak terhadap marker yang terdeteksi semakin dekat.

4.1.9.2 Pengujian Titik C ke-2

Berikut Tabel 4.36 pengujian titik C ke-2.

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 11:55:33.368	10.74	184.7	118.5	41.1	111	clear	MOVING	C	DONE
2026-07-12 11:56:00.372	10.81	184.7	135.0	51.9	111	clear	TURN_1 (Right 92)	C	DONE
2026-07-12 11:56:03.372	10.69	184.7	194.8	51.5	000	clear	PARKING	C	DONE
2026-07-12	10.76	184.7	220.0	51.5	000	clear	WAITING	C	DONE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	Dist L (cm)	Dist R (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
11:56:07.373									
2026-07-12 11:56:19.375	0.00	184.7	220.0	51.5	011	clear	REVERSING	C	DONE
2026-07-12 11:56:21.375	0.00	184.7	220.0	51.5	111	clear	TURN_2 (Right 92)	C	DONE
2026-07-12 11:56:29.376	0.00	184.7	220.0	51.5	111	clear	RETURNING	C	DONE
2026-07-12 11:57:03.382	0.00	58.8	220.0	72.3	111	clear	TURN_3 (180)	C	DONE

Berdasarkan Tabel 4.36, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik C sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Beban yang terbaca berkisar antara 10,69-10,81 kg sehingga AGV memilih tujuan C sesuai logika sistem. Selama proses navigasi, status *obstacle* tetap *clear* sehingga AGV dapat bergerak tanpa penghentian. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor mendeteksi garis hitam sebagai acuan parkir. Setelah beban dilepas pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell turun menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing* hingga kembali ke posisi awal.

Kemudian diperoleh data marker pada Tabel 4.37 di bawah.

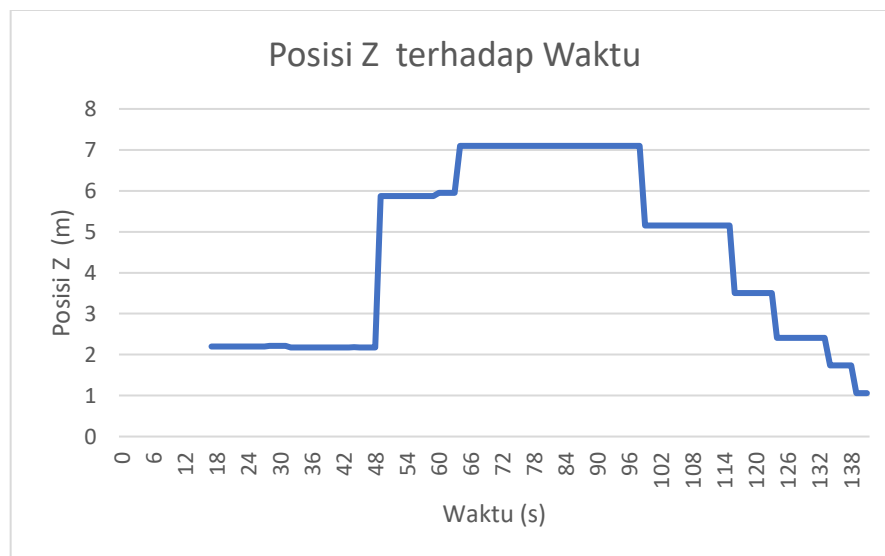
Tabel 4. 37 Data Marker Pengujian Titik C ke-2

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 11:55:01.249	3	2.366	0.863	0.098	2.201	144.00	51.87	61.38

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 11:55:33.36 8	3	2.303	0.85 1	0.08 9	2.13 8	145.4 3	50.0 2	62.91
2026-07-12 11:55:36.36 8	5	4.092	1.30 3	0.19 7	5.87 4	143.8 4	41.1 2	74.21
2026-07-12 11:55:40.36 9	6	4.169	1.31 4	0.20 6	5.95 1	147.6 2	28.9 4	76.54
2026-07-12 11:55:45.36 9	7	3.707	1.01 1	0.20 3	7.06 1	- 116.5 9	- 16.3 0	126.8 8
2026-07-12 11:55:50.37 0	7	2.493	0.95 9	0.11 9	7.09 8	- 118.8 4	- 18.4 2	124.5 3
2026-07-12 11:56:05.37 3	7	0.554	- 0.10 1	0.01 7	7.04 4	175.2 6	29.9 2	-5.91
2026-07-12 11:56:23.37 5	5	2.255	- 0.66 5	0.08 5	5.15 3	121.5 3	39.9 6	92.97
2026-07-12 11:56:33.37 7	3	3.622	- 0.90 4	0.17 7	3.50 2	98.74	38.5 2	101.1 6
2026-07-12 11:56:38.37 8	2	4.545	- 1.09 2	0.22 0	2.40 6	110.0 2	21.9 9	117.1 7
2026-07-12 11:56:42.37 8	2	2.899	- 0.93 4	0.13 1	1.74 1	108.3 1	20.8 7	116.0 2
2026-07-12 11:56:48.37 9	1	3.034	- 1.00 3	0.15 4	1.06 0	127.8 0	4.42	119.6 3

Berdasarkan Tabel 4.37, selama AGV bergerak menuju Titik C, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 5, dan marker ID 7 sebagai marker tujuan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* sebesar 2,366 m dan 2,303 m, dengan koordinat Z masing-masing sebesar 2,201 m dan 2,138 m. Selanjutnya sistem mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 4,092 m dan nilai Z sebesar 3,874 m. Kamera kemudian sempat mendeteksi marker ID 6 dengan

marker distance sebesar 4,169 m dan nilai Z sebesar 5,951 m. Namun, marker tersebut tidak digunakan sebagai acuan navigasi sehingga tidak memengaruhi proses navigasi AGV. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 7 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* sebesar 3,707 m, 2,493 m, dan 0,554 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 7,061 m, 7,098 m, dan 7,047 m. Pada marker ini diperoleh nilai orientasi θ_x sebesar $-116,59^\circ$, $-118,84^\circ$, dan $175,26^\circ$, serta θ_y sebesar $16,30^\circ$, $18,42^\circ$, dan $29,92^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, kamera kembali mendeteksi marker ID 5 dengan *marker distance* sebesar 2,255 m dan nilai Z sebesar 5,153 m, kemudian marker ID 3 dengan *marker distance* sebesar 3,622 m dan nilai Z sebesar 3,502 m. Selanjutnya kamera mendeteksi marker ID 2 dengan *marker distance* sebesar 4,545 m dan 2,899 m, dengan nilai Z masing-masing sebesar 2,406 m dan 1,741 m, serta marker ID 1 dengan *marker distance* sebesar 3,034 m dan nilai Z sebesar 1,060 m yang menandakan AGV telah mencapai area *homebase*.



Gambar 4. 34 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik C ke-2

Berdasarkan Grafik Gambar 4.34, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik C ke-2. Pada detik ke-0 hingga detik ke-17, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*)

karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-18, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,201 m saat marker ID 3 terdeteksi dan kemudian berada pada kisaran 2,179–2,214 m hingga detik ke-49. Pada detik ke-50, posisi Z meningkat menjadi 5,870 m saat marker ID 5 terdeteksi, kemudian menjadi 5,951 m pada detik ke-61 saat marker ID 6 terdeteksi. Selanjutnya, pada detik ke-65, posisi Z meningkat menjadi 7,098 m saat marker ID 7 terdeteksi sebagai marker tujuan dan bertahan hingga detik ke-99. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, pada detik ke-100 posisi Z menurun menjadi 5,153 m saat marker ID 5 kembali terdeteksi. Pada detik ke-117, posisi Z kembali menurun menjadi 3,502 m saat marker pada lintasan kembali terdeteksi. Selanjutnya, posisi Z berubah menjadi 2,406 m pada detik ke-125 dan 1,741 m pada detik ke-135. Pada detik ke-140, posisi Z menurun menjadi 1,060 m saat marker ID 1 terdeteksi sebagai penanda area *homebase* hingga akhir pengujian. Perubahan nilai posisi Z menunjukkan perpindahan acuan marker selama AGV bergerak menuju Titik C dan kembali menuju *homebase*. Setelah proses *parking*, penurunan posisi Z dari 7,098 m hingga 1,060 m menunjukkan bahwa AGV bergerak mendekati area *homebase* berdasarkan jarak terhadap marker yang terdeteksi.

4.1.9.3 Pengujian Titik C ke-3

Berikut data pengujian ke-3 terdapat pada Tabel 4.38 di bawah.

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12 11:58:57.958	0.00	0.0	46.3	42.5	111	clear	IDLE	-	IDLE
2026-07-12 11:59:53.968	10.80	68.8	115.8	42.9	111	clear	MOVING	C	DONE
2026-07-12	10.83	68.8	133.1	52.4	111	clear	TURN_1 (Right 92)	C	DONE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
12:00:20. 972									
2026-07-12	10.84	49.3	106.1	50.8	000	clear	PARKING	C	DONE
12:00:23. 973									
2026-07-12	10.83	9.7	147.0	50.8	000	clear	WAITING	C	DONE
12:00:27. 973									
2026-07-12	0.00	21.6	147.0	77.5	111	box	REVERSING	C	DONE
12:00:41. 975									
2026-07-12	0.00	90.6	170.7	77.5	111	clear	TURN_2 (Right 92)	C	DONE
12:00:43. 976									
2026-07-12	0.00	90.6	170.7	77.5	111	clear	RETURNING	C	DONE
12:00:46. 976									
2026-07-12	0.00	57.8	145.1	35.1	111	clear	TURN_3 (180)	C	DONE
12:01:20. 981									
2026-07-12	0.00	121.7	98.6	121.7	111	clear	IDLE	C	DONE
12:01:25. 982									

Berdasarkan Tabel 4.38, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik C sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Beban yang terbaca berkisar antara 10,80-10,84 kg sehingga AGV memilih tujuan C sesuai logika sistem. Selama proses *moving* hingga *waiting*, status *obstacle* tetap *clear*. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor mendeteksi garis hitam sebagai acuan parkir. Setelah beban dilepas

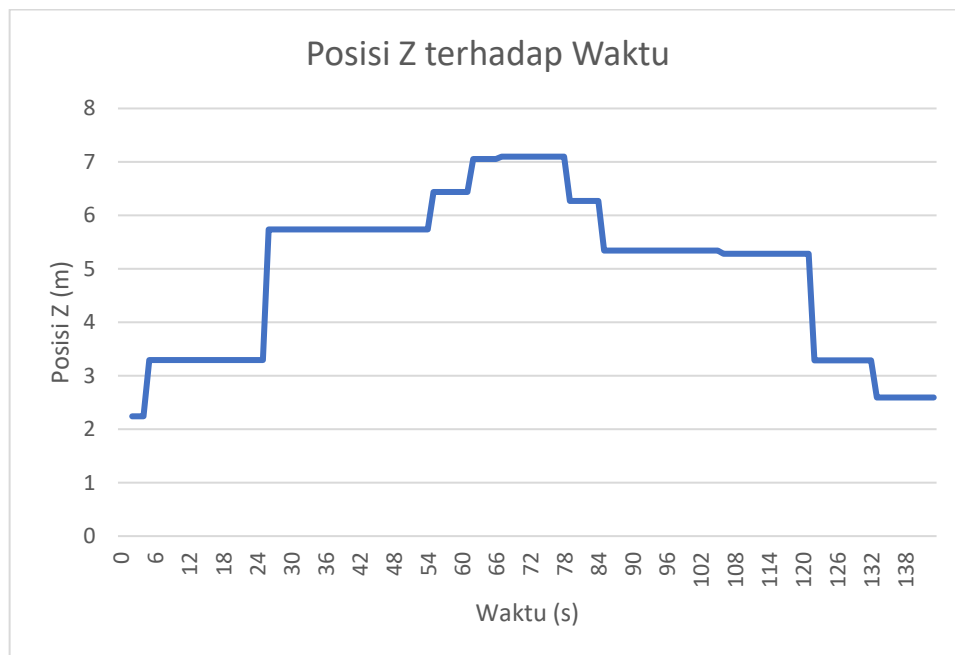
pada kondisi *waiting*, pembacaan load cell turun menjadi 0 kg, lalu AGV akan proses *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*.

Kemudian diperoleh Tabel 4.39 data marker.

Tabel 4. 39 Data Marker Pengujian Titik C ke-3

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 11:59:00.958	3	2.411	0.883	0.096	2.241	144.26	50.83	61.96
2026-07-12 11:59:54.968	4	3.527	1.244	0.174	3.295	142.78	41.61	69.56
2026-07-12 11:59:56.969	5	3.960	1.288	0.190	5.739	139.84	39.84	74.73
2026-07-12 12:00:02.970	6	3.663	1.247	0.175	6.440	-114.96	-20.11	118.43
2026-07-12 12:00:05.970	7	3.806	1.043	0.198	7.055	-116.37	-16.94	124.73
2026-07-12 12:00:23.973	7	0.610	-0.114	0.021	7.099	175.14	29.94	-9.01
2026-07-12 12:00:44.976	6	1.327	0.382	0.058	6.269	-169.88	-35.71	41.63
2026-07-12 12:00:45.976	5	5.239	-0.648	0.086	5.341	121.36	40.15	92.85
2026-07-12 12:00:46.976	4	5.429	-1.236	0.264	5.280	-132.64	-31.05	-143.73
2026-07-12 12:00:47.976	3	4.431	-1.089	0.216	3.289	95.42	38.71	101.84
2026-07-12 12:00:56.977	2	4.833	-1.487	0.252	2.592	120.61	1.85	130.52
2026-07-12 12:01:25.982	1	5.006	1.527	0.251	1.061	-117.56	-28.77	108.88

Berdasarkan Tabel 4.39, selama AGV bergerak menuju Titik C, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, marker ID 5, marker ID 6, dan marker ID 7 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan *marker distance* 2,411 m, koordinat $X = 0,883$ m, $Y = 0,096$ m, $Z = 2,241$ m, serta orientasi $\theta_x = 144,20^\circ$, $\theta_y = 50,80^\circ$, dan $\theta_z = 61,96^\circ$. Selanjutnya marker ID 4 terdeteksi dengan *marker distance* 3,527 m sebagai marker transisi, dengan nilai $Z = 3,295$ m, diikuti marker ID 5 dengan *marker distance* 3,960 m dan $Z = 5,739$ m, marker ID 6 dengan *marker distance* 3,663 m dan $Z = 6,440$ m, serta marker ID 7 sebagai marker tujuan dengan *marker distance* 3,806 m dan $Z = 7,055$ m. Perubahan koordinat dan orientasi pada setiap marker menunjukkan perubahan pose relatif marker terhadap kamera selama AGV bergerak menuju Titik C. Nilai θ_x dan θ_y pada marker ID 7 dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses *parking*. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, kamera mendeteksi kembali marker ID 7 dengan *marker distance* 0,610 m dan $Z = 7,099$ m, kemudian marker ID 6 dengan *marker distance* 1,327 m dan $Z = 6,269$ m, marker ID 5 dengan *marker distance* 5,239 m dan $Z = 5,341$ m, marker ID 4 dengan *marker distance* 5,429 m dan $Z = 5,280$ m, marker ID 3 dengan *marker distance* 4,431 m dan $Z = 3,289$ m, marker ID 2 dengan *marker distance* 4,833 m dan $Z = 2,592$ m sebagai marker transisi, dan akhirnya marker ID 1 dengan *marker distance* 5,006 m dan $Z = 1,061$ m yang menandakan AGV telah mencapai area *homebase*.



Gambar 4. 35 Grafik Data Marker Pengujian Titik C ke-3

Berdasarkan Gambar 4.35, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik C ke-3. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,241 m saat marker ID 3 terdeteksi. Pada detik ke-6, posisi Z meningkat menjadi 3,295 m saat marker ID 4 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-26. Selanjutnya, pada detik ke-27, posisi Z meningkat menjadi 5,739 m saat marker ID 5 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-55. Pada detik ke-56, posisi Z kembali meningkat menjadi 6,440 m saat marker ID 6 terdeteksi. Kemudian, pada detik ke-63, posisi Z menjadi 7,055 m dan meningkat menjadi 7,099 m pada detik ke-68 saat marker ID 7 terdeteksi sebagai marker tujuan. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, posisi Z menurun menjadi 6,269 m pada detik ke-80 saat marker ID 6 kembali terdeteksi. Selanjutnya, pada detik ke-86 posisi Z menurun menjadi 5,341 m saat marker ID 5 terdeteksi dan kemudian menjadi 5,280 m pada detik ke-107 saat marker ID 4 terdeteksi. Pada detik ke-123, posisi Z kembali menurun menjadi 3,289 m saat marker ID 3 terdeteksi. Selanjutnya, pada detik ke-134, posisi Z berubah menjadi 2,592 m dan bertahan hingga detik ke-146. Pada detik ke-147,

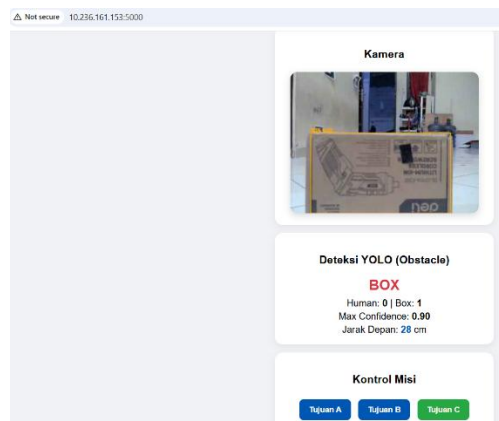
posisi Z menurun menjadi 1,061 m saat marker ID 1 terdeteksi sebagai penanda area *homebase*. Perubahan nilai posisi Z tersebut menunjukkan perpindahan acuan marker selama AGV bergerak menuju Titik C dan kembali menuju *homebase*. Penurunan posisi Z setelah proses *parking* dari 7,099 m hingga 1,061 m menunjukkan bahwa AGV bergerak melewati marker pada lintasan kembali hingga mendekati area *homebase*.

4.1.10 Titik C dengan *Obstacle*

Berikut Gambar 4.36 merupakan pengujian titik C dengan *obstacle*.



(a)



(b)

Gambar 4. 36 Pengujian Deteksi *Obstacle* pada Titik C: (a) Kondisi *Obstacle* pada Lingkungan Nyata; (b) Hasil Deteksi YOLOv8n dan Monitoring AGV pada Web

4.1.10.1 Pengujian Titik C ke-1

Berikut data 4.40 pengujian titik C dengan *Obstacle*

Tabel 4. 40 Pengujian Titik C ke-1 dengan *Obstacle*

Time	Load (kg)	Dis tF (cm)	Dis tL (cm)	Dis tR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
2026-07-12	0.00	0.0	4.0	34.5	111	clear	IDLE	-	IDLE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obs	State	Destination	Phase
13:13:54 .227									
2026-07-12	10.20	116.8	24.1	34.5	111	clear	MOVING	C	DONE
13:14:28 .240									
2026-07-12	10.18	19.7	24.1	35.9	111	box	OBSTACLE_WAIT	C	DONE
13:14:33 .241									
2026-07-12	10.20	80.8	24.1	35.7	111	clear	MOVING	C	DONE
13:14:41 .243									
2026-07-12	10.18	89.3	108.2	75.2	111	clear	TURN_1 (Right 92)	C	DONE
13:15:04 .246									
2026-07-12	10.19	72.0	153.5	71.9	000	clear	PARKING	C	DONE
13:15:07 .247									
2026-07-12	10.24	29.3	242.3	71.9	000	clear	WAITING	C	DONE
13:15:11 .247									
2026-07-12	0.00	35.6	192.9	71.9	111	clear	REVERSING	C	DONE
13:15:14 .248									
2026-07-12	0.00	73.7	228.6	71.9	111	clear	TURN_2 (Right 92)	C	DONE
13:15:16 .248									
2026-07-12	0.00	79.9	193.0	71.9	111	clear	RETURNING	C	DONE
13:15:24 .249									
2026-07-12	0.00	54.4	193.0	21.8	111	box	TURN_3 (180)	C	DONE

Time	Load (kg)	DistF (cm)	DistL (cm)	DistR (cm)	TC RT	Obstacles	State	Destination	Phase
13:15:58.254									
2026-07-12 13:16:03.255	0.0	59.6	169.0	1.9	111	clear	IDLE	C	DONE

Berdasarkan tabel 4.40, AGV menjalankan navigasi menuju Titik C sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *obstacle_wait*, *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, *turn_3*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Selama proses *moving*, yolo mendeteksi *obstacle* berupa *box* pada jarak depan (*DistF*) 19,7 cm sehingga status berubah menjadi *obstacle_wait* dan AGV menghentikan pergerakan sementara. Setelah *obstacle* tidak lagi terdeteksi, AGV kembali melanjutkan navigasi menuju tujuan. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor TCRT mendeteksi garis hitam sebagai acuan parkir. Setelah beban dilepas, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing* hingga kembali ke posisi awal. Pada proses *turn_3*, *obstacle box* kembali terdeteksi, namun AGV tetap dapat menyelesaikan seluruh tahapan navigasi hingga kembali ke kondisi *idle*.

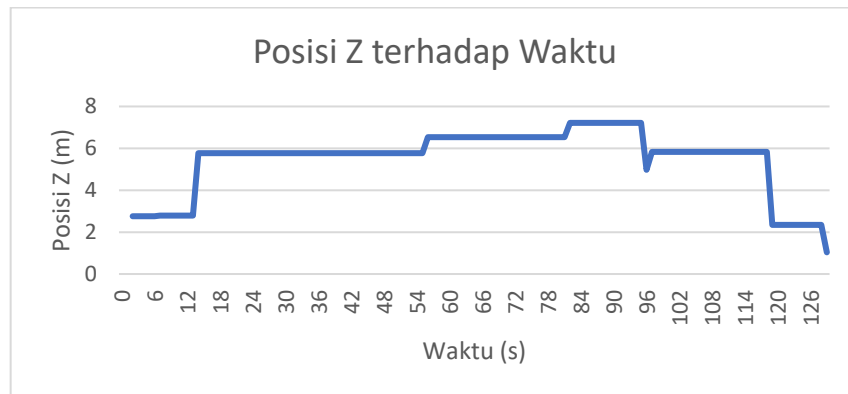
Data Marker ArUco

Tabel 4. 41 Data Marker Pengujian Titik C dengan *Obstacle* ke-1

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 13:13:57.235	4	2.918	0.932	0.095	2.763	137.39	28.48	-141.21
2026-07-12 13:14:35.242	5	5.937	0.969	0.101	5.770	-111.94	-27.17	109.02
2026-07-12 13:14:43.243	6	6.689	1.047	0.133	6.535	138.14	24.18	-139.05
2026-07-12 13:14:48.244	7	7.298	0.702	0.174	7.217	-120.06	-16.67	119.62

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 13:15:18.24 8	5	5.907	-0.66 0	0.17 9	5.82 6	117.5 3	34.8 6	96.72
2026-07-12 13:15:33.25 0	2	4.615	-1.51 6	0.30 7	2.34 8	104.9 1	23.6 3	115.4 1
2026-07-12 13:16:03.25 5	1	1.235	1.27 3	0.15 7	1.03 6	- 173.8 8	- 48.2 6	-72.17

Berdasarkan Tabel 4.41, selama AGV bergerak menuju Titik C dengan adanya *obstacle box*, kamera mendeteksi marker ID 4, marker ID 5, marker ID 6, dan marker ID 7 secara berurutan. Marker ID 4 sebagai marker transisi pertama terdeteksi dengan marker distance sebesar 2,918 m, koordinat X = 0,932 m, Y = 0,095 m, Z = 2,763 m, serta orientasi $\theta_x = 137,39^\circ$, $\theta_y = 28,48^\circ$, dan $\theta_z = -141,21^\circ$. Selanjutnya marker ID 5 terdeteksi dengan marker distance sebesar 5,937 m dan koordinat Z sebesar 5,770 m, kemudian marker ID 6 terdeteksi dengan marker distance sebesar 6,689 m dan koordinat Z sebesar 6,535 m. Setelah melewati marker transisi, sistem mendeteksi marker ID 7 sebagai marker tujuan dengan marker distance sebesar 7,298 m dan koordinat Z sebesar 7,214 m, serta orientasi $\theta_x = 120,06^\circ$, $\theta_y = 16,67^\circ$, dan $\theta_z = -119,62^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses parking. Setelah proses parking selesai, AGV bergerak kembali menuju homebase sehingga marker ID 5 kembali terdeteksi dengan marker distance sebesar 5,907 m dan Z = 5,826 m. Selanjutnya marker ID 2 terdeteksi dengan marker distance sebesar 4,615 m dan Z = 2,348 m sebagai marker transisi pada lintasan kembali, kemudian marker ID 1 terdeteksi dengan marker distance sebesar 1,235 m dan Z = 1,036 m.



Gambar 4. 37 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik C dengan *Obstacle* ke-1

Berdasarkan Gambar 4.37, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik C. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A* (*marker tidak terdeteksi*) karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 2,763 m saat marker ID 4 terdeteksi dan kemudian berubah menjadi 2,790 m pada detik ke-8 hingga detik ke-14. Pada detik ke-15, posisi Z meningkat menjadi 5,770 m saat marker ID 5 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-56. Selanjutnya, pada detik ke-57, posisi Z meningkat menjadi 6,535 m saat marker ID 6 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-82. Pada detik ke-83, posisi Z kembali meningkat menjadi 7,217 m saat marker ID 7 terdeteksi sebagai marker tujuan dan bertahan hingga detik ke-96. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, posisi Z berubah menjadi 4,969 m pada detik ke-97. Pada detik ke-98, posisi Z berubah menjadi 5,826 m dan bertahan hingga detik ke-119 saat marker ID 5 kembali terdeteksi. Pada detik ke-120, posisi Z menurun menjadi 2,348 m dan bertahan hingga detik ke-128 saat AGV melanjutkan perjalanan menuju *homebase*. Pada detik ke-129, posisi Z berubah menjadi 1,036 m saat marker ID 1 terdeteksi sebagai penanda area *homebase*. Perubahan posisi Z tersebut menunjukkan perpindahan acuan marker selama AGV bergerak menuju Titik C, menyelesaikan proses *parking*, dan kembali menuju *homebase*. Penurunan posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker yang terdeteksi selama perjalanan kembali menuju area *homebase*.

4.1.10.2 Pengujian Titik C dengan *Obstacle* ke-2

Berikut Tabel 4.42 pengujian titik C dengan *obstacle*.

Tabel 4. 42 Pengujian Titik C dengan *Obstacle* ke-2

Timesta mp	Lo ad (kg)	Dis tF (c m)	Dis tL (cm)	Dis tR (cm)	TC RT	Ob s	State	Destina tion	Pha se
2026- 07-12 13:51:54 .982	0.0 0	0.0	91. 2	33. 9	111	cle ar	IDLE	-	IDL E
2026- 07-12 13:52:17 .985	10. 30	0.0	33. 4	34. 4	111	cle ar	MOVING	C	DO NE
2026- 07-12 13:52:44 .990	10. 30	0.0	33. 3	90. 0	111	cle ar	TURN_1 (Right 92)	C	DO NE
2026- 07-12 13:52:47 .990	10. 31	57. 1	33. 3	84. 8	000	cle ar	PARKING	C	DO NE
2026- 07-12 13:52:51 .991	10. 29	38. 9	33. 3	84. 8	000	cle ar	WAITING	C	DO NE
2026- 07-12 13:52:55 .991	0.0 0	56. 3	33. 3	84. 8	111	cle ar	REVERSIN G	C	DO NE
2026- 07-12 13:52:57 .992	0.0 0	66. 0	33. 3	84. 8	111	cle ar	TURN_2 (Right 92)	C	DO NE
2026- 07-12 13:53:00 .992	0.0 0	66. 0	70. 3	115 .5	111	cle ar	RETURNIN G	C	DO NE
2026- 07-12 13:53:10 .994	0.0 0	20. 3	111 .6	115 .7	111	bo x	OBSTACLE_ WAIT	C	DO NE
2026- 07-12	0.0 0	64. 1	112 .3	115 .7	111	cle ar	RETURNIN G	C	DO NE

Time Stamp	Load (kg)	Dis tF (cm)	Dis tL (cm)	Dis tR (cm)	TC RT	Ob s	State	Destina tion	Pha se
13:53:13 .994									
2026- 07-12 13:53:42 .000	0.0 0	59. 7	169 .2	1.9	111	clear	IDLE	C	DO NE

Berdasarkan Tabel 4.42, AGV berhasil menjalankan navigasi menuju Titik C sesuai urutan *state* yang telah dirancang, yaitu *moving*, *turn_1*, *parking*, *waiting*, *reversing*, *turn_2*, *returning*, hingga kembali ke kondisi *idle*. Beban yang terbaca berkisar antara 10,29-10,31 kg sehingga AGV memilih tujuan C sesuai logika sistem. Selama proses navigasi, status *obstacle* tetap *clear*. Pada proses *parking*, nilai TCRT berubah dari 111 menjadi 000 yang menunjukkan bahwa sensor TCRT mendeteksi garis hitam sebagai acuan parkir. Setelah beban dilepas, pembacaan load cell menjadi 0 kg dan AGV melanjutkan proses *reversing*. Saat proses *returning*, AGV sempat memasuki kondisi *obstacle_wait*. Setelah kondisi kembali aman, AGV melanjutkan navigasi hingga kembali ke kondisi *idle*.

Data Marker

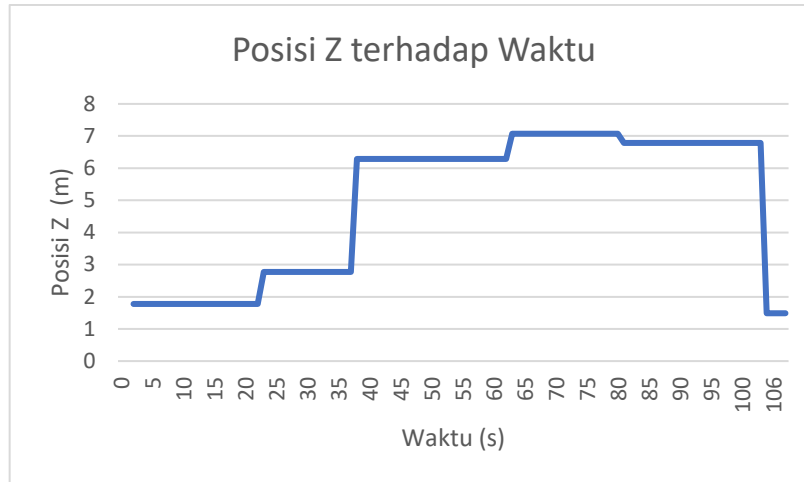
Tabel 4. 43 Data Marker Pengujian Titik C ke-2 dengan *Obstacle*

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 13:51:57.982	3	1.858	0.60 4	0.04 0	1.75 7	147.9 4	48.7 8	57.21
2026-07-12 13:52:18.986	4	2.925	0.93 0	0.09 3	2.77 2	144.6 3	35.2 0	69.48
2026-07-12 13:52:20.986	5	6.459	1.08 1	0.12 6	6.28 3	- 111.4 8	- 26.3 3	108.5 4
2026-07-12 13:52:24.987	6	6.607	1.11 6	0.12 3	6.42 8	- 116.5 4	- 17.8 7	116.0 4
2026-07-12 13:52:30.987	7	7.025	0.75 4	0.12 8	7.02 7	133.4 2	15.8 9	- 132.8 4

Time	Marker ID	Marker Dist (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	θ_x (°)	θ_y (°)	θ_z (°)
2026-07-12 13:52:58.99 2	6	6.827	- 0.39 8	0.05 3	6.78 2	157.8 6	39.7 4	70.63
2026-07-12 13:53:16.99 5	1	1.768	- 1.58 2	0.31 0	1.48 8	121.7 3	2.46	125.1 7

Berdasarkan Tabel 4.43, selama AGV bergerak menuju Titik C dengan adanya *obstacle box*, kamera mendeteksi marker ID 3, marker ID 4, marker ID 5, marker ID 6, dan marker ID 7 secara berurutan. Marker ID 3 terdeteksi dengan marker distance sebesar 1,858 m, koordinat X = 0,604 m, Y = 0,040 m, Z = 1,757 m, serta orientasi $\theta_x = 147,94^\circ$, $\theta_y = 48,78^\circ$, dan $\theta_z = 57,21^\circ$. Selanjutnya marker ID 4 sebagai marker transisi terdeteksi dengan marker distance sebesar 2,925 m dan koordinat Z sebesar 2,772 m. Setelah itu sistem mendeteksi marker ID 5 dengan marker distance sebesar 6,459 m dan koordinat Z sebesar 6,283 m, kemudian marker ID 6 dengan marker distance sebesar 6,607 m dan koordinat Z sebesar 6,482 m. Perubahan koordinat dan orientasi pada kedua marker tersebut menunjukkan perpindahan posisi AGV selama melanjutkan perjalanan menuju Titik C. Marker ID 7 sebagai marker tujuan kemudian terdeteksi dengan marker distance sebesar 7,025 m, koordinat Z sebesar 7,027 m, serta orientasi $\theta_x = 133,42^\circ$, $\theta_y = 15,89^\circ$, dan $\theta_z = -132,84^\circ$. Nilai θ_x dan θ_y dibandingkan dengan rentang orientasi yang telah ditentukan sebagai batas toleransi untuk memastikan AGV telah mencapai marker tujuan sebelum menjalankan proses parking. Setelah proses parking selesai, AGV bergerak kembali menuju homebase sehingga marker ID 6 kembali terdeteksi dengan marker distance sebesar 6,827 m dan Z = 6,782 m. Selanjutnya sistem mendeteksi marker ID 1 dengan marker distance sebesar 1,768 m dan Z = 1,488 m yang menunjukkan bahwa AGV telah memasuki area homebase. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun terdapat *obstacle box* yang menyebabkan AGV berhenti sementara ketika sensor ultrasonik depan mendeteksi jarak ≤ 25 cm dan kembali bergerak setelah jarak aman ≥ 35 cm, sistem tetap mampu mendeteksi

marker-marker pada lintasan menuju Titik C serta mempertahankan navigasi hingga kembali menuju homebase.



Gambar 4. 38 Grafik Posisi Z terhadap Waktu Pengujian Titik C ke-2 dengan *Obstacle*

Berdasarkan Gambar 4.39, posisi Z menunjukkan jarak marker terhadap kamera pada sumbu Z selama pengujian Titik C. Pada detik ke-0 hingga detik ke-2, posisi Z ditampilkan sebagai *N/A (marker tidak terdeteksi)* karena kamera belum mendeteksi marker sehingga tidak terdapat data jarak yang dapat digunakan. Pada detik ke-3, posisi Z mulai terdeteksi sebesar 1,775 m saat marker ID 3 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-23. Pada detik ke-24, posisi Z meningkat menjadi 2,772 m saat marker ID 4 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-38. Selanjutnya, pada detik ke-39, posisi Z meningkat menjadi 6,283 m saat marker ID 5 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-63. Pada detik ke-64, posisi Z kembali meningkat menjadi 7,072 m saat marker ID 7 terdeteksi sebagai marker tujuan dan bertahan hingga detik ke-81. Setelah proses *parking* selesai dan AGV bergerak kembali menuju *homebase*, posisi Z menurun menjadi 6,782 m pada detik ke-82 saat marker ID 6 terdeteksi dan bertahan hingga detik ke-105. Pada detik ke-106, posisi Z berubah menjadi 1,488 m saat marker ID 1 terdeteksi sebagai penanda area *homebase* hingga akhir pengujian. Perubahan posisi Z menunjukkan perpindahan acuan marker selama AGV bergerak menuju Titik C, menyelesaikan proses *parking*, kemudian kembali menuju *homebase*. Penurunan posisi Z setelah proses *parking* menunjukkan perubahan jarak AGV terhadap marker yang terdeteksi selama perjalanan kembali menuju area *homebase*.

Setelah dilakukan pengujian terhadap masing-masing sensor dan sistem navigasi, selanjutnya dilakukan rekapitulasi hasil pengujian navigasi AGV pada setiap titik tujuan. Pengujian dilakukan pada tiga titik tujuan, yaitu Titik A, Titik B, dan Titik C, baik pada kondisi tanpa *obstacle* maupun dengan adanya *obstacle*. Pada sistem navigasi, Titik A dicapai melalui marker ID 2 dan ID 3, sedangkan Titik B dicapai melalui marker ID 2, ID 3, ID 4, dan ID 5. Untuk mencapai Titik C, AGV melewati marker ID 2, ID 3, ID 4, ID 5, ID 6, hingga marker ID 7 sebagai marker tujuan. Setelah marker tujuan terdeteksi, AGV melakukan proses parkir menggunakan sensor TCRT5000. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data hasil pengujian navigasi yang digunakan untuk mengetahui kemampuan AGV dalam mencapai titik tujuan, melakukan proses parkir, serta menangani *obstacle* selama perjalanan. Pada pengujian ini, keberhasilan navigasi didefinisikan berdasarkan kemampuan AGV menyelesaikan rangkaian navigasi dari posisi awal hingga titik tujuan yang ditentukan dan melanjutkan proses *parking* tanpa mengalami kegagalan navigasi. Nilai n/N menunjukkan jumlah pengujian yang berhasil (n) terhadap jumlah seluruh pengujian (N). Kegagalan navigasi dihitung ketika AGV tidak dapat menyelesaikan perjalanan menuju titik tujuan sesuai rangkaian navigasi yang telah dirancang. Keberhasilan proses *parking* ditunjukkan ketika sensor TCRT5000 bernilai 000 atau mendeteksi permukaan hitam. Pada pengujian dengan *obstacle*, keberhasilan penanganan rintangan ditunjukkan ketika AGV memberikan respons berhenti saat *obstacle* terdeteksi dan dapat melanjutkan navigasi setelah kondisi kembali aman.

Hasil validasi pose ArUco yang telah dilakukan sebelumnya digunakan untuk mengetahui kemampuan estimasi posisi pada rentang jarak 0,3-1,0 m. Sementara itu, nilai posisi Z yang diperoleh selama pengujian navigasi pada jarak di luar rentang tersebut, termasuk nilai beberapa meter hingga sekitar 7 m, digunakan sebagai informasi observasi perpindahan dan pergantian acuan marker selama navigasi. Nilai tersebut tidak digunakan untuk menyatakan bahwa tingkat akurasi estimasi pose pada jarak jauh sama dengan tingkat akurasi yang telah divalidasi pada rentang 0,3-1,0 m

Rekapitulasi hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.44

Tabel 4. 44 Rekapitulasi Hasil Pengujian AGV

Titik Tujuan	Kondisi Pengujian	Keberhasilan Navigasi (n/N)	Waktu Pengujian	Kegagalan Parkir	Obstacle Stop	Kegagalan Navigasi
A	Tanpa obstacle	10/10 (100%)	58,0-68,0 s; rata-rata 62,5 s	0/10	-	0/10
A	Dengan obstacle	10/10 (100%)	61,0-195,0 s; rata-rata 104,2 s	0/10	10/10 terhen ti	0/10
B	Tanpa obstacle	10/10 (100%)	60,0-111,0 s; rata-rata 88,6 s	0/10	-	0/10
B	Dengan obstacle	10/10 (100%)	73,1-112,0 s; Rata-rata 95,8 s	0/10	10/10 terhen ti	0/10
C	Tanpa obstacle	10/10 (100%)	90,0-157,0 s; Rata-rata 114,8 s	0/10	-	0/10
C	Dengan obstacle	10/10 (100%)	102,0-129,0 s; rata-rata 114,7 s	0/10	10/10 terhen ti	0/10
Total Seluruh Pengujian		60/60 (100%)	-	0/60	30/30 terhen ti	0/60

Berdasarkan Tabel 4.44, seluruh pengujian pada Titik A, Titik B, dan Titik C menunjukkan bahwa AGV berhasil menyelesaikan navigasi hingga tujuan dan melakukan proses parkir. Berdasarkan rekapitulasi seluruh data, diperoleh 60 keberhasilan dari 60 pengujian atau sebesar 100%, sehingga tidak terdapat kegagalan navigasi pada ketiga titik tujuan. Keberhasilan proses parkir juga mencapai 60/60 atau 100%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu berpindah dari proses navigasi menuju proses *parking* setelah marker tujuan terdeteksi. Hal tersebut sesuai dengan rancangan sistem, yaitu ketika marker tujuan teridentifikasi, AGV menghentikan navigasi dan menjalankan proses *docking and parking*.

Pada pengujian tanpa obstacle, waktu pengujian menunjukkan kecenderungan meningkat dari Titik A menuju Titik C. Rata-rata waktu pengujian pada Titik A sebesar 62,5 detik, Titik B sebesar 88,6 detik, dan Titik C sebesar

114,8 detik. Peningkatan waktu tersebut sesuai dengan kondisi lintasan, karena Titik B berada setelah Titik A, sedangkan Titik C harus melewati rangkaian marker A dan B sebelum mencapai marker tujuan C. Sistem memang dirancang agar AGV menuju Titik C setelah melewati Titik A dan Titik B.

Pada pengujian dengan *obstacle*, waktu tempuh cenderung lebih besar dan memiliki variasi yang lebih tinggi dibandingkan kondisi tanpa *obstacle*. Hal tersebut disebabkan oleh adanya kondisi *waiting* ketika *obstacle* berada pada jarak yang memicu penghentian AGV. Pada pengujian *obstacle* Titik A, misalnya, sistem berhasil mendeteksi *obstacle* dan mengubah kondisi menjadi *obstacle_wait*, kemudian melanjutkan navigasi setelah kondisi kembali aman. Keberadaan *obstacle* tidak menyebabkan kegagalan navigasi, tetapi menyebabkan tambahan waktu akibat proses penghentian sementara. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV berhasil mencapai seluruh titik tujuan, seluruh proses parkir berhasil dilakukan, dan seluruh pengujian *obstacle* dapat ditangani tanpa menyebabkan kegagalan navigasi. Metode penghentian sementara ketika *obstacle* berada pada jarak ≤ 25 cm dan melanjutkan navigasi setelah jarak kembali melebihi 35 cm. Penghentian sementara menyebabkan tambahan waktu perjalanan, tetapi tidak menyebabkan kegagalan navigasi pada seluruh pengujian.

Hasil pengujian navigasi juga menunjukkan bahwa sistem mampu berpindah antar-marker hingga mencapai titik tujuan dan kembali menuju *homebase*. Data posisi Z pada grafik digunakan untuk menunjukkan perubahan jarak marker terhadap kamera dan perpindahan acuan marker selama perjalanan. Namun, validasi akurasi pose ArUco hanya dilakukan pada rentang 0,3-1,0 m. Oleh karena itu, nilai posisi Z yang berada di luar rentang tersebut, termasuk nilai beberapa meter yang muncul selama navigasi, diperlakukan sebagai data observasi navigasi dan tidak digunakan untuk menyatakan tingkat akurasi pose pada jarak tersebut.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV berhasil mencapai seluruh titik tujuan, seluruh proses *parking* berhasil dilakukan, dan seluruh pengujian *obstacle* menghasilkan respons penghentian

sesuai kondisi yang dirancang tanpa menyebabkan kegagalan navigasi. Tingkat keberhasilan navigasi mencapai 60/60 atau 100%, kegagalan navigasi sebesar 0/60, keberhasilan *parking* mencapai 60/60 atau 100%, dan respons penghentian terhadap *obstacle* mencapai 30/30. Hasil tersebut menunjukkan keberhasilan sistem dalam menjalankan rangkaian navigasi, proses *parking*, serta respons terhadap *obstacle* pada skenario pengujian yang dilakukan.