

Rancang Bangun Omni Wheel Pada Forklift Automated Guided Vehicle

Encu Saefudin, Helsa Yuliyawati Yosman, Noviyanti Nugraha
 Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
 Jl. PH.H. Mustofa No.23 Bandung 40124
 e-mail: encu@itenas.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan Forklift saat ini dilengkapi dengan Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan suatu alat angkut otomatis yang dapat berjalan di sepanjang jalur yang telah ditentukan. AGV dikontrol oleh kombinasi perangkat lunak berbasis sensor, sebagai dampak dari revolusi industri 4.0. Secara umum, forklift Automated Guided Vehicle (AGV) menggunakan roda standar untuk bergerak secara non-holonmik. Pada jenis model ini, gerakannya terbatas dan hanya dapat bergerak dalam beberapa arah yang telah ditentukan sebelumnya. Meskipun dapat mencapai setiap lokasi di dalam ruangan, namun membutuhkan manuver dan perencanaan jalan yang kompleks, untuk mengatasi hal tersebut diperlukan Omni Wheels. Tujuan penelitian ini adalah merancang model Omni Wheel pada forklift AGV berdasarkan bentuk, pembebanan, gerak yang diterima, dan pola gerakan yang dihasilkan, merakit model Omni Wheel pada forklift AGV terhadap chassis dan komponen yang akan dipasang sesuai dengan rancangan serta menguji model Omni Wheel pada forklift AGV secara dimensional dan fungsional. Penelitian ini berhasil menghasilkan model roda Omni yang mampu bergerak dalam 10 arah dengan kapasitas menahan beban hingga 750 gram. Model ini membutuhkan torsi minimum sebesar 294,1995 N.mm dan memiliki dimensi chassis $P \times L \times T$: 200 mm×200 mm×30 mm.

Kata Kunci: Omni Wheel, Forklift AGV, Holonomic, Solid Works,

ABSTRACT

The development of forklift is currently equipped with an Automated Guided Vehicle (AGV) which is an automatic conveyance that can run along a predetermined path. AGV is controlled by a combination of sensor-based software, as a result of the industrial revolution 4.0. In general, Automated Guided Vehicle (AGV) forklifts use standard wheels to move non-holonomic ally. In this type of model, movement is limited and can only move in a few predetermined directions. Although it can reach every location in the room, it requires complex maneuvers and road planning, to overcome this, Omni Wheels are needed. The purpose of this research is to design the Omni Wheel model on the AGV forklift based on the shape, loading, motion received, and the resulting movement pattern, assemble the Omni Wheel model on the AGV forklift against the chassis and components to be installed in accordance with the design and test the Omni Wheel model on the AGV forklift dimensionally and functionally. This research successfully produced an Omni wheel model capable of moving in 10 directions with a load-bearing capacity of up to 750 grams. This model requires a minimum torque of 294.1995 N.mm and has chassis dimensions of $P \times L \times T$: 200 mm×200 mm×30 mm.

Keywords: Omni Wheel, Forklift AGV, Holonomic, Solid works.

1. Pendahuluan

Forklift adalah sebuah perangkat bantu untuk mengangkat material yang dilengkapi dengan dua garpu (*fork*) yang berguna untuk mengambil, memindahkan, dan menurunkan barang dari satu lokasi ke lokasi lainnya. *Forklift* umumnya digunakan untuk mengangkat barang-barang yang sulit diangkat oleh manusia, terutama jika jaraknya cukup jauh merupakan alat bantu *material handling* yang memiliki 2 garpu (*fork*) yang berfungsi untuk mengangkat, memindahkan dan menurunkan suatu benda dari suatu tempat ke tempat yang lain. Biasanya benda yang diangkat oleh *forklift* adalah benda yang sulit diangkat manusia, dengan jarak yang cukup jauh [1].

Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan suatu alat angkut otomatis yang dapat berjalan di sepanjang jalur yang telah ditentukan. AGV dikontrol oleh kombinasi perangkat lunak berbasis sensor, karena itu AGV bergerak di jalur yang dapat diprediksi dengan akselerasi dan perlambatan yang dikontrol secara presisi. Serta AGV juga memiliki pergerakan yang aman untuk melakukan proses *material handling* [2]-[5].

Penggunaan *Omni Wheel* memungkinkan model *forklift AGV* dapat bergerak *independent* ke segala arah dengan mudah (*holonomic*) [6][7], sehingga mampu melakukan manuver yang lebih tinggi dalam lingkungan yang dinamis. *Omni Wheel* adalah rancangan roda khusus yang tidak hanya memiliki roda tunggal, tetapi ada banyak roda (Sub-sub roda) dalam satu roda inti. Roda *omni* termasuk tipe *holonomic*, yaitu dapat bergerak bebas ke segala arah [8]-[11].

Tujuan penelitian ini adalah merancang model *Omni Wheel* pada *forklift AGV* berdasarkan bentuk, pembebanan, gerak yang diterima, dan pola gerakan yang dihasilkan, merakit model *Omni Wheel* pada *forklift AGV* terhadap *chassis* dan komponen yang akan dipasang sesuai dengan rancangan serta menguji model *Omni Wheel* pada *forklift AGV* secara dimensional dan fungsional.

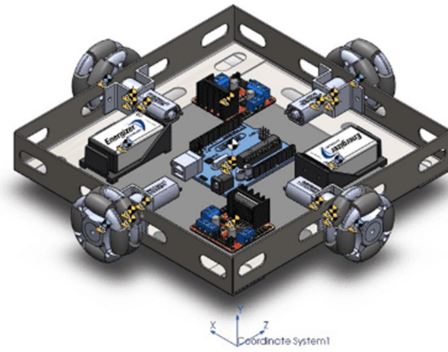
2. Metodologi

2.1. Langkah Penelitian

Proses penelitian diawali dengan mencari dan mempelajari teori-teori dasar model *Omni Wheel* pada *Forklift AGV* dari berbagai sumber yaitu dengan memahami prinsip kerja, macam-macam bentuk dan fungsinya. Lalu dilakukan pengumpulan data dengan cara menentukan berat dari setiap komponen yang akan terpasang pada *chassis* dimana kemudian untuk dilakukan penentuan titik pusat massa. Dilanjutkan dengan melakukan perancangan konsep dilakukan dengan cara membuat gambar perancangan, menentukan pemilihan dan jenis ukuran roda *Omni Wheel*, menentukan berat dan posisi setiap komponen model *Omni Wheel*, menentukan titik pusat massa, menentukan daya motor, analisis gaya dan pola gerakan, serta penentuan bentuk dan ukuran *chassis* dari model *Omni Wheel*. Setelah itu melakukan perancangan bentuk dilakukan dengan cara menentukan jenis/macam komponen model *Omni Wheel*, menentukan alat yang digunakan, menentukan proses pembuatan *chassis*, menentukan proses perakitan, dan menjabarkan hasil dari proses perakitan model *Omni Wheel*. Tahap terakhir pengujian model *Omni Wheel* dengan cara menentukan parameter pengujian, menentukan alat ukur yang digunakan, menentukan langkah-langkah pengujian, dan menjabarkan hasil dari proses pengujian tersebut.

2.2. Rencana Perancangan

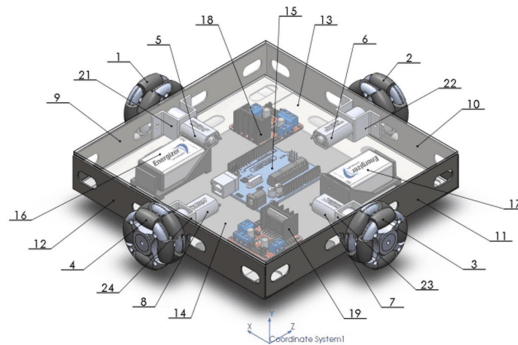
Perancangan model *Omni Wheel* diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar Perancangan Model *Omni Wheel*

2.3. Menentukan Titik Pusat Massa

Penentuan koordinat titik pusat massa pada model Omni Wheel bertujuan untuk mengatur posisi setiap komponen sehingga titik pusat massa komponen berada di tengah-tengah chassis, dengan tujuan untuk meningkatkan stabilitas saat model Omni Wheel bergerak. Posisi setiap komponen yang dipasang pada chassis ditunjukkan dalam Gambar 2, sedangkan koordinat masing-masing komponen tertera pada Tabel 1.



Gambar 2. Posisi Komponen Model *Omni Wheel*

Tabel 1. Titik Koordinat Pusat Massa

No.	Komponen	Massa (gr)	Posisi pada arah X (mm)	Posisi pada arah Y (mm)	Posisi pada arah Z (mm)
1	<i>Omni Wheel</i> 1	39	248	24	129
2	<i>Omni Wheel</i> 2	39	133	24	245
3	<i>Omni Wheel</i> 3	39	18	24	129
4	<i>Omni Wheel</i> 4	39	133	24	13
5	Motor Listrik 1	50	211,94	24	129
6	Motor Listrik 2	50	133	24	208,94
7	Motor Listrik 3	50	54,06	24	129
8	Motor Listrik 4	50	133	24	49,06
9	Rangka Siku 1	78	225,04	17,84	129
10	Rangka Siku 2	78	133	16,84	222,04
11	Rangka Siku 3	78	40,96	17,84	129
12	Rangka Siku 4	78	133	16,84	35,96

13	Akrilik 1	96	134	41	129
14	Akrilik 2	96	134	12	129
15	Arduino Uno	50	134	16,27	129
16	Baterai 9V 1	85	187,98	23,62	86,92
17	Baterai 9V 2	85	78,02	23,62	171,08
18	Motor Driver 1	50	182,98	18,53	176,52
19	Motor Driver 2	50	83,02	18,53	81,84
20	Dudukan Motor 1	4,75	224,77	24	129
21	Dudukan Motor 2	4,75	133	24	221,77
22	Dudukan Motor 3	4,75	41,23	24	129
23	Dudukan Motor 4	4,75	133	24	36,23
24	Beban	500	134	54,5	129
Jumlah		1699			

Dengan memanfaatkan data dari Tabel 1, maka dapat ditemukan titik koordinat pusat massa model Omni Wheel dengan menggunakan persamaan yang tertera di bawah ini. [10]:

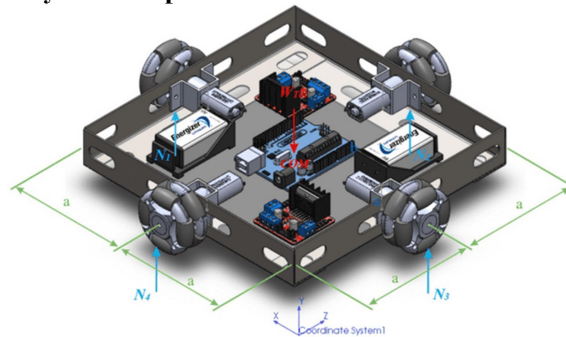
$$\bar{X} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{n=1}^N x_n m_n}{\sum_{n=1}^N m_n} \dots \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + \dots + y_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{n=1}^N y_n m_n}{\sum_{n=1}^N m_n} \dots \quad (2)$$

$$\bar{Z} = \frac{z_1 m_1 + z_2 m_2 + \dots + z_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{n=1}^N z_n m_n}{\sum_{n=1}^N m_n} \dots \quad (3)$$

2.4. Menentukan Daya Motor

a. Menentukan Gaya Reaksi pada Roda

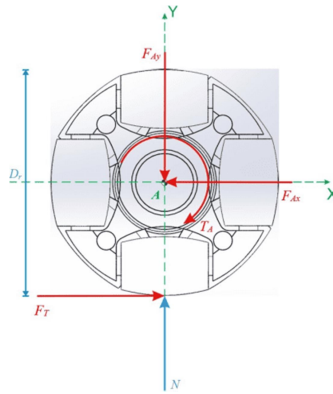


Gambar 3. DBB Gaya Normal

Dengan menerapkan persamaan momen pada gambar 3 diatas dan diasumsikan $N_1 = N_2$ dan $N_3 = N_4$ Dapat disimpulkan bahwa gaya reaksi dari setiap roda memiliki besaran yang sama dan beban yang diterima oleh masing-masing roda juga sama, sehingga dapat dituliskan bahwa $N_1 = N_2 = N_3 = N_4$, maka:

$$N = \frac{W_{tot}}{4} \dots \quad (4)$$

b. DBB Roda



Gambar 4. DBB Roda

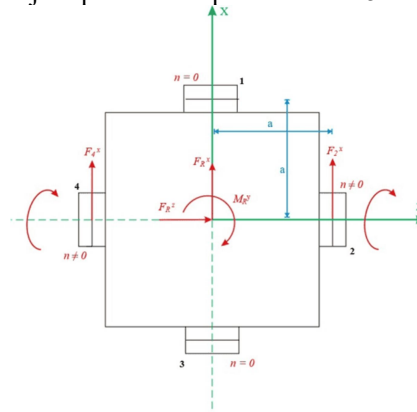
Pada perancangan ini model Omni Wheel direncanakan akan dipilih dari rubber dan permukaan yang digunakan adalah beton.

Gaya Aksial yang Diterima oleh Roda Searah Sumbu Y:	$F_{Ay} = 4,1667 \text{ N}$
Gaya Gesek Maksimum	$: F_{gmax} = 4,1667 \text{ N}$
Gaya Traksi	$: F_T = F_{gmax} = 4,1667 \text{ N}$
Torsi pada Setiap Motor	$: T_A = T_{motor} = 100,0008 \text{ N.mm}$
Daya Setiap Motor yang Diperoleh	$: N_{motor} = 5,863 \text{ Watt}$

2.5. Analisis Gaya dan Pola Gerakan

a. Analisis Gaya pada Setiap Roda

Contoh Pola Gerak Maju diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Contoh DBB Pola Gerak Maju

Karena $n_1 = n_3 = 0$, maka $F_1^x = F_3^x = F^x = 0$

$$F_1^z = F_3^z = F^z = 0$$

Karena $n_2 = n_4 \neq 0$, maka $F_2^x = F_4^x = F^x = F_T$

$$F_2^z = F_4^z = F^z = 0$$

$$\Sigma F_x = F_R^x = F_2^x + F_4^x$$

$$= F_T + F_T$$

$$= 2F_T$$

$$= 2 \times 4,1667 \text{ N}$$

$$= 8,3334 \text{ N}$$

$$\Sigma F_z = F_R^z = F_1^z + F_3^z$$

$$= F^z + F^z$$

$$= 2F^z$$

$$= 0$$

Pola gerak maju diperlihatkan pada Tabel 2.

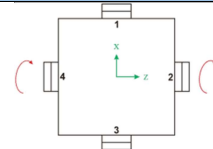
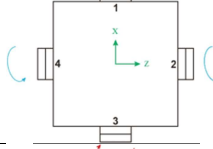
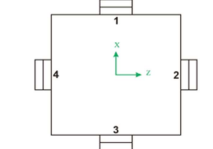
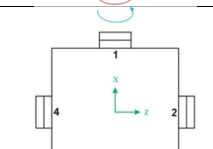
Tabel 2. Analisis Gaya pada Setiap Roda

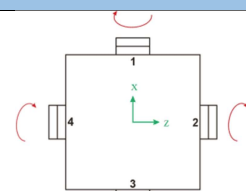
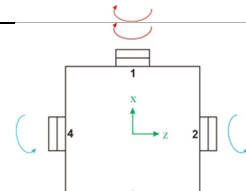
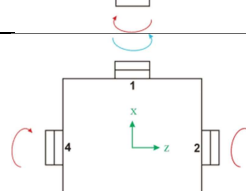
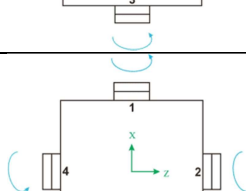
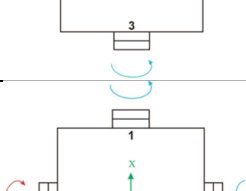
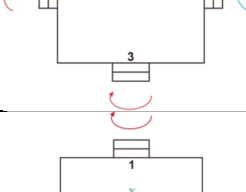
No.	Pola Gerak	F_R^x (N)	F_R^z (N)	M_R^y (N.mm)
1	Gerak Maju	8,3334	0	0
2	Gerak Mundur	8,3334	0	0
3	Gerak Geser Kiri	0	8,3334	0
4	Gerak Geser Kanan	0	8,3334	0
5	Gerak Serong Kiri Atas	8,3334	8,3334	0
6	Gerak Serong Kiri Bawah	8,3334	8,3334	0
7	Gerak Serong Kanan Atas	8,3334	8,3334	0
8	Gerak Serong Kanan Bawah	8,3334	8,3334	0
9	Gerak Putar Kanan (CW)	0	0	2016,683
10	Gerak Putar Kiri (CCW)	0	0	2016,6828

b. Pola Gerakan

Tabel 3 memperlihatkan Pola Gerakan *Omni Wheel*

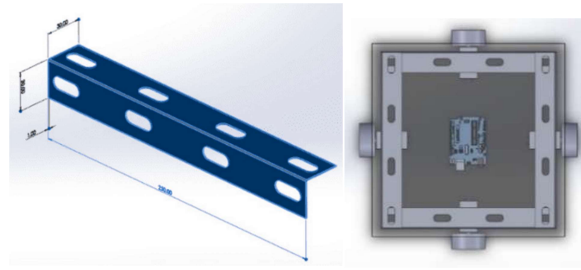
Tabel. 3 Pola Gerakan *Omni Wheel*

No.	Gambar	Pola Gerakan	W1	W2	W3	W4
1		Maju	0	CW	0	CW
2		Mundur	0	CCW	0	CCW
3		Bergeser ke kiri	CW	0	CW	0
4		Bergeser ke kanan	CCW	0	CCW	0

No.	Gambar	Pola Gerakan	W1	W2	W3	W4
5		Serong kiri atas	CW	CW	CW	CW
6		Serong kiri bawah	CW	CCW	CW	CCW
7		Serong kanan atas	CCW	CW	CCW	CW
8		Serong kanan bawah	CCW	CCW	CCW	CCW
9		Berputar ke kanan	CCW	CCW	CW	CW
10		Berputar ke kiri	CW	CW	CCW	CCW

2.6. Penentuan Bentuk Ukuran dan Chassis

Penentuan ukuran *chassis* berdasarkan ukuran palet, karena masih berbentuk model maka menggunakan skala 4:1. Lalu ditentukan dimensi *chassis* dengan ukuran panjang = 20 cm sebanyak 4 buah seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Chassis

2.7. Metode Pembuatan dan Perakitan Model *Omni Wheel*

Langkah-langkah pembuatan dan perakitan pada model *Omni Wheel* yaitu sebagai berikut:

- Pembuatan *chassis*, platform dan dudukan motor listrik.
- Pemasangan *chassis* dan *platform*
- Pemasangan *Omni Wheel*
- Pembuatan *coding* Program arduino
- Pemasangan komponen sistem kontrol

2.8. Metode Pengujian Model *Omni Wheel*

Metode Pengujian yang digunakan pada pengujian model *Omni Wheel* yaitu sebagai berikut:

- Pengujian komponen secara fungsional yaitu dengan mengamati apakah komponen tersebut berfungsi atau tidak berfungsi, untuk dapat mengetahui komponen tersebut dapat digunakan sebagaimana mestinya.
- Pengujian model *Omni Wheel* secara dimensional yaitu dengan mengukur ke 4 sisi chassis, mengukur diagonal chassis, serta mengukur posisi titik tumpu roda *Omni Wheel* kemudian dibandingkan apakah sudah sesuai dengan hasil rancangan.
- Pengujian fungsi pemrograman arduino pada model *Omni Wheel* dengan mengaktifkan dan mengamati putaran roda apakah sudah sesuai dengan pola gerakan yang telah dirancang.
- Pengujian kecepatan putaran motor yaitu dengan mengukur kecepatan putaran motor menggunakan tachometer pada setiap roda untuk mengetahui selisih kecepatan putaran yang dihasilkan dengan kecepatan putaran pada spesifikasi motor.

Pengujian sudut simpangan gerakan model *Omni Wheel* yaitu dengan cara menjalankan model pada suatu garis acuan dimana menggunakan variasi tanpa beban dan dengan beban 250 gr, 500 gr, dan 750 gr untuk mengetahui simpangan yang terjadi pada model *Omni Wheel* tersebut ketika bergerak pada setiap pola gerakan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Titik Pusat Massa

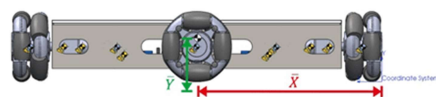
Berdasarkan daftar massa dan posisi setiap komponen model *omni wheel* yang telah ditentukan kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan titik berat gabungan menggunakan persamaan (1), (2) dan (3) diatas. Didapat berat total sistem *chassis* dan posisi titik berat gabungan sebagai berikut:

$$W_{tot} = 16,6671 \text{ N}$$

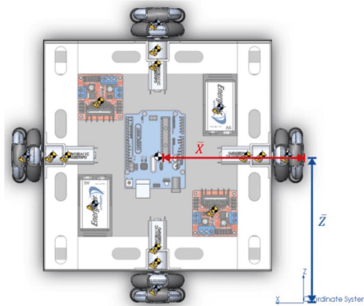
$$\bar{X} = 133,4632 \text{ mm}$$

$$\bar{Y} = 31,4478 \text{ mm}$$

$$\bar{Z} = 129,105 \text{ mm}$$



Gambar 7. Posisi Titik Koordinat Pusat Massa pada sumbu Y dan X

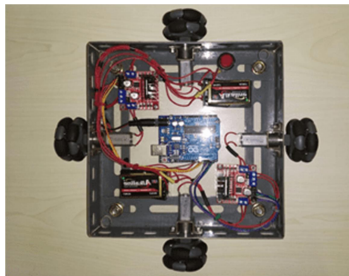


Gambar 8. Posisi Titik Koordinat Pusat Massa pada Sumbu X dan Z

Gambar 7 Posisi Titik Koordinat Pusat Massa pada sumbu Y dan X serta Gambar 8. Posisi Titik Koordinat Pusat Massa pada Sumbu X dan Z. Titik koordinat pusat massa tepat berada di tengah *chassis*. Hal ini membuktikan bahwa komponen-komponen yang terpasang pada perancangan model *Omni Wheel* dapat diaplikasikan pada tahap perakitan dengan posisi-posisi yang telah ditentukan.

3.2. Hasil Perakitan

Setelah dilakukan proses perakitan melalui tahap tertentu, berikut adalah hasil perakitan model *Omni Wheel* dimana semua komponen sudah terpasang pada *chassis*, seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Perakitan

3.3. Pengujian Komponen Secara Fungsional

Tabel 4 memperlihatkan data pengujian komponen secara fungsional dan Tabel 5 memperlihatkan data Pengamatan Pengujian *Omni Wheel* secara Dimensional

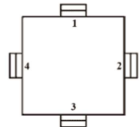
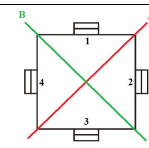
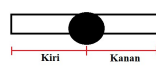
Tabel 4. Data Pengamatan Pengujian Komponen Secara Fungsional

No	Komponen	Berfungsi	Tidak Berfungsi
1	<i>Omni Wheel</i>	√	
2	Motor Listrik	√	
3	Motor Driver	√	
4	Arduino Uno	√	
5	Baterai 9v	√	
6	<i>Push Button On-Off</i>	√	

Berdasarkan pengujian komponen secara fungsional dapat diketahui bahwa komponen-komponen yang dipilih tersebut dapat berfungsi sebagaimana mestinya sesuai rancangan.

3.4. Pengujian Model *Omni Wheel* secara Dimensional

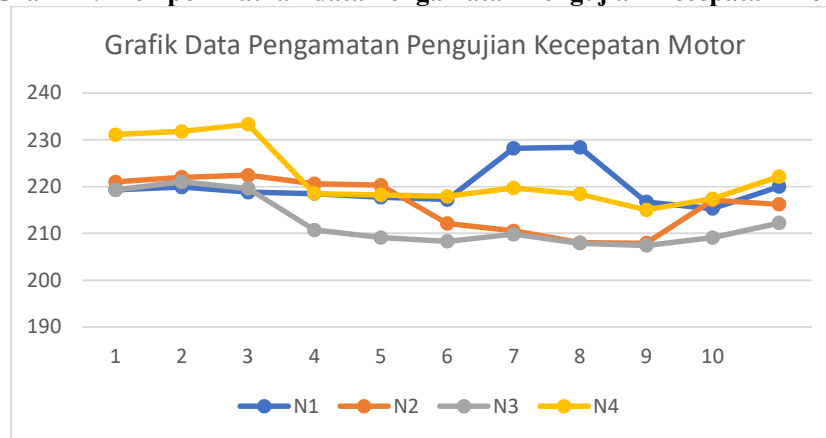
Tabel 5. Data Pengamatan Pengujian *Omni Wheel* secara Dimensional

No	Dimensional	Ukuran (mm)	Keterangan
1	Sisi Chassis 1	205	
2	Sisi Chassis 2	207	
3	Sisi Chassis 3	207	
4	Sisi Chassis 4	204	
5	Diagonal Chassis (a)	285	
6	Diagonal Chassis (b)	288	
7	Posisi Titik Tumpu Roda 1	Sisi kiri: 103 Sisi kanan: 102	
8	Posisi Titik Tumpu Roda 2	Sisi kiri: 104 Sisi kanan: 103	
9	Posisi Titik Tumpu Roda 3	Sisi kiri: 105 Sisi kanan: 102	
10	Posisi Titik Tumpu Roda 4	Sisi kiri: 105 Sisi kanan: 99	

Berdasarkan pengujian *Omni Wheel* secara dimensional dapat diamati bahwa ukuran *chassis* hasil perakitan tidak benar-benar presisi dan sesuai rancangan, hal ini disebabkan oleh batang siku yang tidak benar-benar memiliki sudut 90°, ukuran dan posisi lubang pada platform (akrilik) yang kurang presisi, pemasangan antara roda dan motor yang kurang baik, dan dudukan motor listrik yang merupakan hasil pembuatan.

3.5. Pengujian Kecepatan Motor

Grafik 1. Memperlihatkan data Pengamatan Pengujian Kecepatan Motor



Grafik 1. Data Pengamatan Pengujian Kecepatan Motor

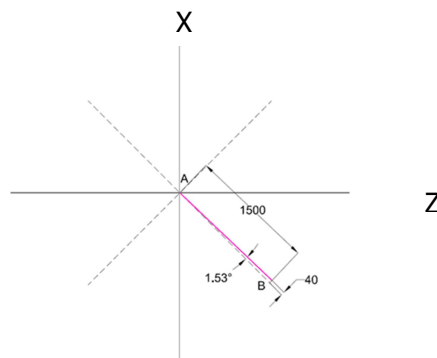
Berdasarkan pengujian Kecepatan motor dari keempat roda tersebut, dapat ditinjau bahwa kecepatan putarannya berbeda, dimana putaran maksimum yaitu sebesar 222,13 pada motor 4, dan putaran minimum yaitu sebesar 212,22 pada motor 3. Hal ini diakibatkan oleh daya yang

diberikan baterai ke motor tidak terbagi merata, yang dipengaruhi oleh hambatan pada setiap komponen dan juga panjang kabel sehingga tegangan dan arus yang diterima oleh setiap motor berbeda-beda.

3.6. Pengujian Model *Omni Wheel* Tanpa Beban

Tabel 7. Contoh Data Pengamatan Pengujian Sudut Simpangan Tanpa Beban

No.	Pola Gerakan	Jarak A-B L (mm)	Jarak Simpangan X (mm)	Sudut Simpangan (°)
1	Maju	1500	0	0
2	Mundur	1500	10	0,38
3	Geser Kiri	1300	15	0,66
4	Geser Kanan	1500	17	0,64
5	Serong Kiri Atas	1500	10	0,38
6	Serong Kiri Bawah	1500	10	0,38
7	Serong Kanan Atas	1500	15	0,57
8	Serong Kanan Bawah	1500	40	1,52



Gambar 7. Contoh Simpangan Serong Kanan Bawah

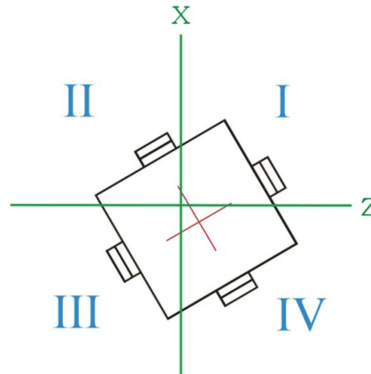
Berdasarkan data hasil pengujian sudut simpangan pada pola gerak tanpa beban dan dengan beban pada tabel 7, dapat dilihat bahwa model mengalami penyimpangan pada saat bergerak dengan membentuk sudut simpangan seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Sudut simpangan yang terjadi cenderung lebih kecil pada pengujian tanpa beban, dan cenderung semakin besar pada pengujian dengan beban, hal tersebut disebabkan oleh posisi dan penempatan beban yang tidak pas dan tidak merata sehingga membuat model kurang seimbang ketika bergerak.

3.7. Pengujian Model *Omni Wheel* Pengujian Jarak Simpangan

Tabel 8. Data Pengamatan Pengujian Jarak Simpangan pada Pola Gerak Putar

No	Beban (gr)	Arah Putaran	Jarak Simpangan (mm)	Kuadran
1	0	Berputar ke Kanan	17	IV
2	0	Berputar ke Kiri	15	IV
3	250	Berputar ke Kanan	13	IV
4	250	Berputar ke Kiri	6	IV
5	500	Berputar ke Kanan	12	IV

No	Beban (gr)	Arah Putaran	Jarak Simpangan (mm)	Kuadran
6	500	Berputar ke Kiri	15	IV
7	750	Berputar ke Kanan	14	IV
8	750	Berputar ke Kiri	15	IV



Gambar 8. Contoh Jarak Simpangan pada Pola Gerak Putar ke Kanan

Berdasarkan pengujian jarak simpangan pada pola gerak putar pada tabel 8, dapat ditinjau bahwa hal ini terjadi karena putaran pada setiap motor tidak benar-benar sama dan seragam seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Terbukti berdasarkan data pengamatan pengujian kecepatan motor dimana kecepatan putarannya berbeda-beda, hal ini mengakibatkan gaya dorong roda yang tidak seimbang serta pengaruh posisi komponen yang tidak benar-benar presisi pada titik koordinat pada rancangan sehingga model *Omni Wheel* cenderung berhenti ke arah posisi kuadran 4 dengan jarak simpangan yang bervariasi pada setiap beban.

4. Kesimpulan

Hasil perancangan, perakitan, dan pengujian menunjukkan bahwa terdapat 10 pola gerakan yang terjadi pada model *Omni Wheel* dimana diatur oleh kontrol arduino. Motor listrik yang dipilih yaitu tipe PPN13PB12C dimana dapat menghasilkan putaran sebesar 560 Rpm dan torsi sebesar 3 kg.cm atau setara dengan 249,1995 N.mm dimana sudah memenuhi dengan minimum torsi yang dibutuhkan model *Omni Wheel* yaitu sebesar 100,008 N.mm pada hasil rancangan, Roda *Omni Wheel* yang dipilih memiliki spesifikasi yaitu diameter roda sebesar 48 mm, diameter roller sebesar 13 mm, penyangga roller berbahan nilon, Roller berbahan rubber, dan mampu menahan beban 2 kg (satu *Omni Wheel*). Spesifikasi teknis *chassis* yang telah dirancang menggunakan material besi siku (30 mm × 1 mm) dengan dimensi P×L×T (200 mm × 200 mm × 30 mm), track 256 mm dan massa 1825 gr. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *Omni Wheel* yang telah dibuat menghasilkan pola gerakan yang sesuai serta memiliki bentuk dan ukuran yang mendekati rancangan walaupun pola gerakan yang dihasilkan masih mengalami penyimpangan yang diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu kecepatan motor yang berbeda-beda pada setiap roda, kendala pada proses pembuatan dan perakitan, serta titik pusat koordinat masa yang tidak benar-benar sesuai perancangan.

5. Notasi

F	Gaya	[N]
m	Massa	[kg]
W	Berat	[kg]
X	Pusat Massa arah sumbu x	[mm]
Y	Pusat Massa arah sumbu y	[mm]
Z	Pusat Massa arah sumbu z	[mm]

6. Daftar pustaka

- [1] George Swartz, 2012. “*Forklift Safety: A Practical Guide to Preventing Powered Industrial Truck Incidents and Injuries*”. Business and Legal Reports.
- [2] Günter Ullrich, 2015. *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications*. Springer-Verlag.
- [3] Richard L. Shell and Ernest L. Hall. 2000. *Handbook of Industrial Automation*. CRC Press. Chapter 13.
- [4] David W. Larson. 2017. “*Automated Guided Vehicles: Technologies and Trends*”. SAE International.
- [5] Spyros G. Tzafestas (editor). 2006. *Autonomous Mobile Robots: Sensing, Control, Decision Making and Applications*. CRC Press. Chapter 10.
- [6] Ignatiev K.V., Kopichev M.M., Putov A.V. *Autonomous Omni-Wheeled Mobile Robots*. 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
- [7] Azhar Dwi Rizqi Aljabar, Muhammad Rivai, Suwito. 2018. *Rancang Bangun Robot Omni Untuk Mencari Sumber Gas Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ARM-STM32*. Jurnal Teknik ITS Vol. 7, No. 1 ISSN: 2337-3520, Hal B 17-22.
- [8] Shinichi Hirai. 2015. “*Omni-Directional Mobile Robot: Design and Control for Indoor and Outdoor Environments*”. Springer.
- [9] Jinying Zhu dan Qixin Cao. 2015. “*Omni-Directional Wheels for Mobile Robots*”. Springer.
- [10] Alin Postecu, Editura. 2018. “*Omni Wheels: A Technology Overview*” . Universitara Craiova.
- [11] Rafiuddin, Irham, Widhi. 2012. *Rancang bangun omni wheels robot dengan roda penggerak independent*. Universitas Hasanuddin, Makassar. Jurnal Mekanikal Vol 3 no 1 ISSN: 2086-3403 Hal 213-230
- [12] Gustav. Nieman. 1978. *Machine Element Design and Calculation In Mechanical Engineering*. Springer-Verlag.