

## BAB III

### PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

#### 3.1 Kedudukan dan Koordinasi

Penulis merupakan bagian dari proyek independen MBKM yang mengikuti perlombaan Kompetisi Robot Sepak Bola Indonesia Beroda (KRSBI Beroda). Dalam proyek ini, penulis berperan sebagai *Mechanical Designer* yang bertanggung jawab dalam perancangan bagian mekanikal khususnya bagian pergerakan dan desain robot keseluruhan. Pada bagian pergerakan, penulis bertanggung jawab dalam pengembangan model matematika kinematika robot. Model ini mencakup *inverse kinematics* untuk roda *omni* yang digunakan pada robot KRSBI Beroda, yang menjadi dasar bagi sistem navigasi dan pengendalian robot. Dengan memahami hubungan antara gerak, kecepatan, serta konfigurasi roda, model matematika ini digunakan untuk memastikan bahwa desain mekanik yang dikembangkan mampu mendukung gerakan robot di lapangan pertandingan.

Struktur kedudukan dalam pelaksanaan proyek independen ini melibatkan dua pembimbing utama:

- *Advisor* (Pembimbing Laporan) yang bertugas memberikan arahan dan supervisi terhadap penyusunan laporan akhir proyek, termasuk tinjauan akademik dan sistematika laporan.
- *Supervisor* (Pembimbing Teknis) yang bertanggung jawab terhadap aspek teknis proyek di lapangan, termasuk memberikan bimbingan terhadap perancangan mekanik, pengujian sistem dan validasi model pergerakan robot.

#### 3.2 Desain Robot

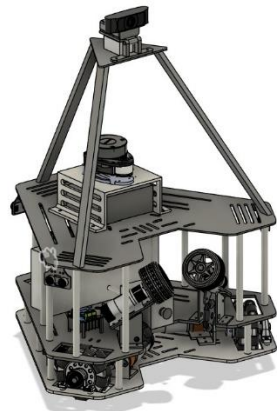
Desain robot Bison memiliki bentuk segitiga sama sisi dengan 3 buah roda *omni* yang didesain dengan menggunakan aplikasi Fusion 360. Desain mekanikal robot dibagi menjadi 2 bagian besar yaitu bagian roda penggerak dan bagian penangkap yang berfungsi sebagai penggiring dan penendang bola. Berdasarkan

penelitian, beda sudut 120 derajat memberikan pergerakan yang paling stabil[11]. Roda *omni* dipilih karena memungkinkan robot bergerak ke segala arah secara langsung dan responsif, tanpa perlu mengubah orientasi.

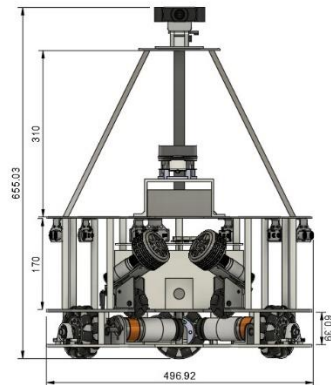
Konfigurasi tiga roda *omni* dipilih dalam perancangan robot Bison karena menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan konfigurasi empat roda, khususnya untuk kebutuhan kompetisi robot sepak bola. Secara struktural, sistem tiga roda dengan susunan 120 derajat memiliki desain yang lebih sederhana, bobot total yang lebih ringan, serta biaya manufaktur dan pemeliharaan yang lebih rendah [11][12]. Konfigurasi tiga roda juga unggul karena menggunakan jumlah komponen yang lebih sedikit, sehingga semakin menurunkan kompleksitas perakitan, biaya produksi, dan perawatan secara keseluruhan[13]. Selain itu, sistem kendali kinematiknya relatif lebih mudah diterapkan, sehingga mempercepat proses pengembangan dan *tuning* algoritma navigasi serta manuver.

Dalam konteks permainan sepak bola yang menuntut respons cepat dan fleksibilitas gerak, konfigurasi tiga roda memberikan efisiensi tinggi dalam penggunaan ruang dan manuver bebas di bidang datar. Meskipun konfigurasi empat roda menawarkan distribusi beban dan stabilitas dinamis yang lebih baik, sistem tersebut memerlukan kontrol yang lebih kompleks serta cenderung lebih berat secara keseluruhan [14]. Berdasarkan keseimbangan antara kebutuhan kelincahan, efisiensi sistem, dan kemudahan implementasi, konfigurasi tiga roda dianggap lebih sesuai untuk diterapkan pada robot sepak bola beroda seperti robot Bison. Robot Bison memiliki dimensi 49,4 cm x 44,7 cm x 65,5 cm dalam kondisi *idle* seperti gambar berikut.

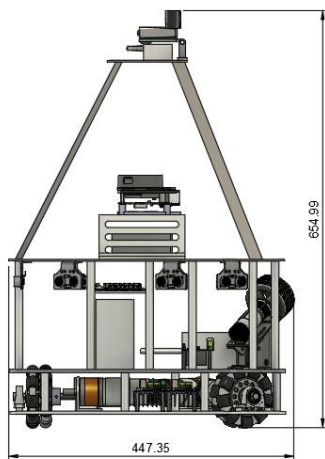
U N I V E R S I T A S  
M U L T I M E D I A  
N U S A N T A R A



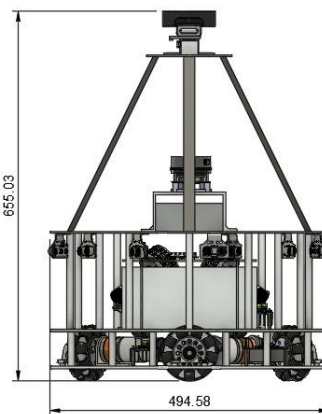
a. Desain Robot



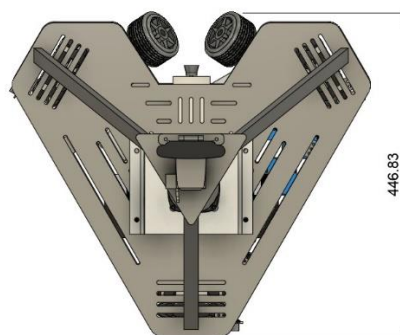
b. Tampak Depan



c. Tampak Samping



d. Tampak Belakang



e. Tampak Atas

Gambar 3.1 Gambar berikut adalah desain 3 dimensi robot Bison yang

didesain menggunakan Fusion 360.

Robot memiliki bobot total 18 kg dengan seluruh komponen terpasang. Bahan yang digunakan untuk kerangka dan dudukan komponen adalah aluminium, *stainless steel*, dan 3D *print* dengan bahan PLA+. Robot Bison terdiri dari 3 tingkat menggunakan plat aluminium dengan jarak *base* pertama dan kedua 6 cm. Jarak ini menyesuaikan dengan ukuran motor penggerak roda utama. Tujuan pemasangan base kedua dengan jarak dekat dengan motor agar pusat massa terfokus pada bagian bawah robot. Kemudian, untuk *base* kedua dan ketiga jarak yang digunakan adalah 17 cm. Jarak ini mempertimbangkan posisi komponen seperti baterai, PCB (*Printed Circuit Board*), dan penendang.

### 3.3 Material

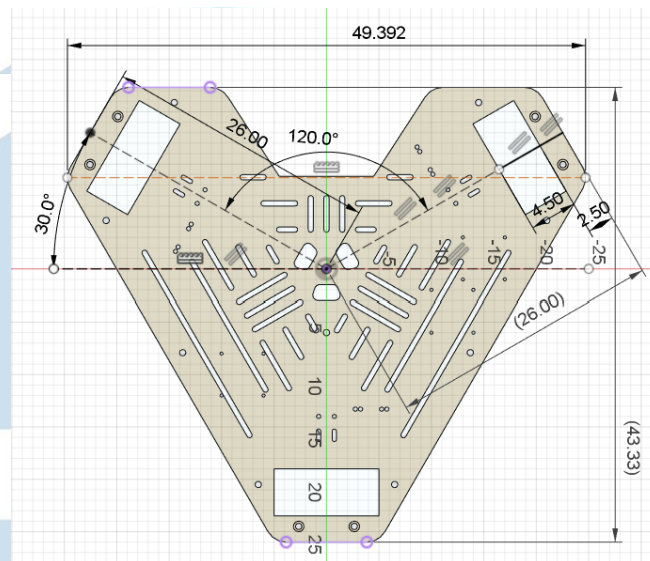
#### 1. Plat Aluminium

Perancangan struktur mekanik robot Bison menggunakan plat aluminium sebagai salah satu material utama dalam membangun kerangka dan dudukan komponen. Plat aluminium dipilih berdasarkan karakteristiknya yang ringan, kuat, tahan korosi dan mudah dibentuk atau diproses. Hal ini membuat robot Bison memiliki kerangka yang kokoh namun tetap memiliki bobot yang efisien, sehingga robot lincah dan cepat dalam bergerak di lapangan.

Plat aluminium pada robot ini digunakan pada bagian *base plat*, penopang motor, dudukan penendang dan penopang roda di bagian dasar. Berikut ini adalah gambar penggunaan plat aluminium di robot.

- *Base 1*

U N I V E R S I T A S  
M U L T I M E D I A  
N U S A N T A R A



Gambar 3.2 Base 1 Robot

Plat Aluminium yang digunakan pada *base 1* adalah plat aluminium dengan tebal 5 mm dengan bentuk segitiga dengan lubang yang digunakan untuk baut dudukan komponen, roda dan aliran udara untuk menjaga suhu motor. Plat ini akan menjadi penopang utama roda robot dan motor penggerak. Tiang vertikal untuk kerangka menggunakan 9 buah pipa *stainless steel* dengan diameter dalam 8 mm dan diameter luar 12 mm. 8 buah tiang diletakkan di sekeliling robot sedangkan satu buah tiang diletakkan pada bagian tengah untuk menopang baterai yang letaknya di bagian tengah. Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk pemilihan material.

Jumlah Pipa = 9 Batang

$$\text{Beban tiap pipa} = \frac{\text{Beban diatas Base 1}}{\text{Jumlah pipa}} \quad (1)$$

$$\text{Beban tiap pipa} = \frac{12,5 \times 9,8}{9} = 13,61 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang Pipa} \\ = \frac{\pi}{4} (D_{outer}^2 - D_{inner}^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{Luas Penampang Pipa} = \frac{\pi}{4} (12^2 - 8^2) = \frac{\pi}{4} (144 - 64)$$

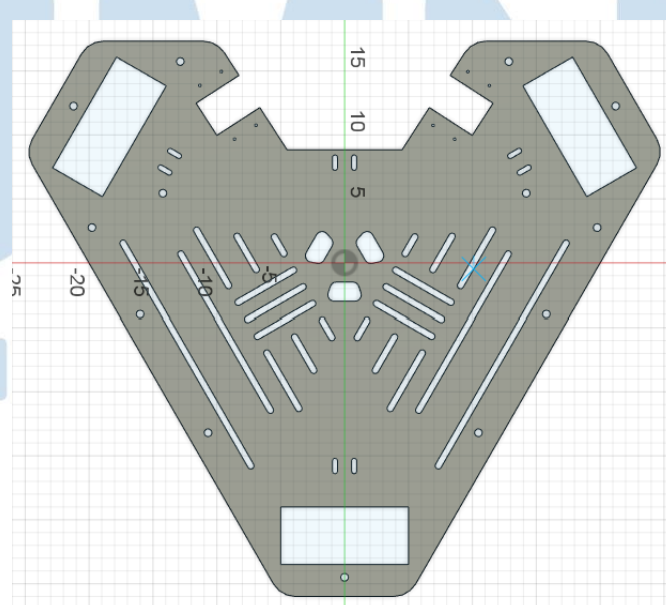
$$\text{Luas Penampang Pipa} = \frac{\pi}{4} (80) = 62,83 \text{ mm}^2$$

$$\text{Stress}(\sigma) = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$$\text{Stress}(\sigma) = \frac{13,61}{62,83} = 0,2166 \frac{N}{\text{mm}^2} = 0,2166 \text{ MPa}$$

Nilai *stress* yang dihasilkan oleh tekanan pipa jauh lebih kecil dibandingkan dengan kemampuan aluminum yaitu 276 MPa. Hal ini menunjukkan plat aluminium memiliki kemampuan yang jauh melebihi kebutuhan *stress*. Pemilihan ketebalan ini diharapkan dapat menjaga kestabilan robot saat bergerak. Plat dengan ketebalan ini membuat bobot robot bertambah dan terpusat di bagian bawah sehingga robot tidak mudah terguling. Dalam kompetisi, robot mengalami getaran, tumbukan, akselerasi tinggi dan benturan antar robot sehingga plat dengan ketebalan tersebut diharapkan dapat menyerap getaran dan benturan lebih baik.

- Base 2

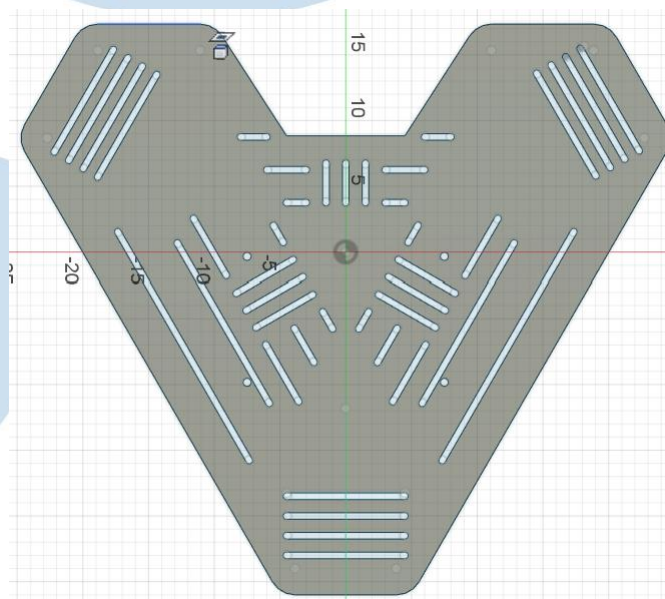


Gambar 3.3 Base 2 Robot

Base kedua dirancang menggunakan plat aluminium dengan ketebalan 5 mm agar struktur tetap kaku dan memberikan kestabilan bagi komponen yang dipasang di tingkat atas, seperti penendang, baterai, dan komponen elektronik seperti *step down*, sensor IR, PCB dan *driver*. *Stress* yang diterima oleh plat ini lebih kecil dibandingkan dengan *base 1* karena beban dari *base 3* hanya mini PC dan kamera yang memiliki total bobot 2 kg.

Baterai, penangkap bola dan *solenoid* memiliki luas penampang yang jauh lebih luas daripada pipa *stainless steel* sehingga plat tetap kaku. Selain itu, ketebalan ini juga dapat memberikan pusat massa yang terfokus pada bagian dasar robot. Dengan pusat massa yang fokus pada bagian dasar, robot tidak mudah terguling dan tetap tegak dalam bermanuver maupun bersinggungan dengan lawan.

- *Base 3*

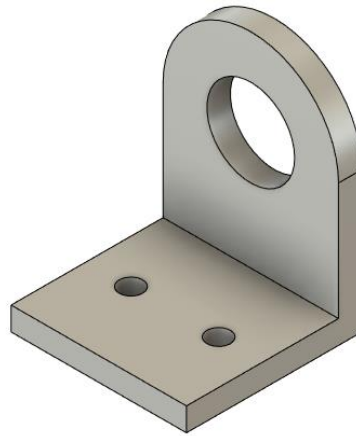


Gambar 3.4 *Base 3* Robot

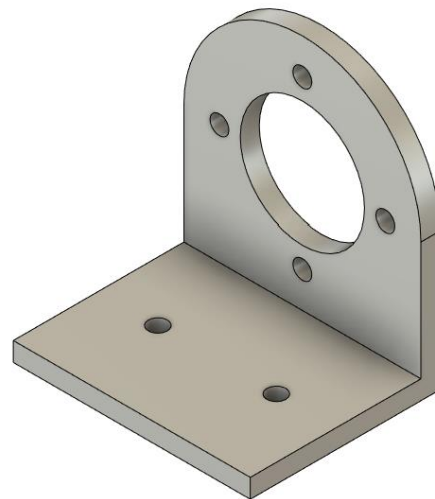
Base ketiga pada struktur robot berfungsi sebagaiudukan tambahan untuk mini *PC*, LiDAR, tiang kamera, dan sensor ultrasonik. Base ini memiliki ketebalan 3 mm. Pemilihan ketebalan ini mempertimbangkan fungsinya yang tidak menopang beban berat atau

torsi besar, tetapi tetap memiliki tingkat kekakuan dan kestabilan yang cukup untuk menjaga posisi dan kestabilan komponen yang terpasang. Penggunaan ketebalan yang lebih tipis dibandingkan base 1 dan 2 berfungsi untuk mengurangi akumulasi beban total robot, agar robot tidak terlalu berat dan pusat massa tetap terfokus di bagian dasar.

- Dudukan Motor dan Roda



Gambar 3.5 Dudukan Roda



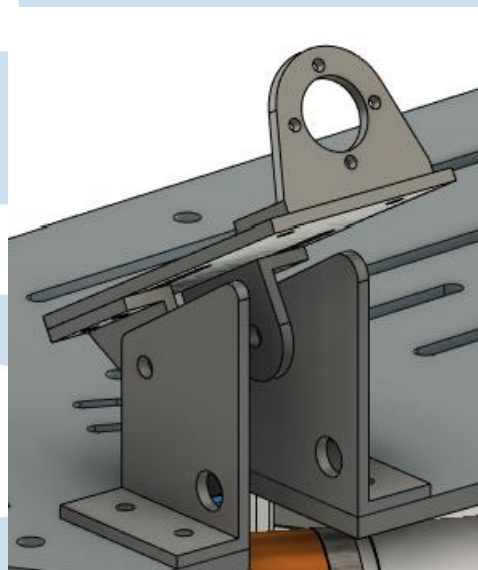
Gambar 3.6 Dudukan Motor

Kedua *bracket* ini merupakan bagian struktur yang menanggung beban paling besar dan menghubungkan motor dan roda. *Bracket* motor menahan bobot motor dan torsi yang dihasilkan motor untuk menggerakkan roda



sedangkan *bracket* roda menahan bobot langsung roda ke kerangka robot. Oleh karena itu, *bracket* ini memiliki ketebalan 4 mm untuk memastikan *bracket* memiliki kekuatan yang cukup agar motor dan roda tetap pada posisi yang seharusnya tanpa tergeser atau rusak. Motor penggerak pada robot Bison menghasilkan gaya putar yang cukup besar terutama saat akselerasi cepat, pengereman mendadak atau robot mengalami tabrakan dengan lawan.

- Penggiring dan Penendang Bola



Gambar 3.7 Penangkap

Bracket ini berfungsi sebagaiudukan mekanis bagi motor dan roda penangkap bola, yang bekerja dengan gaya berulang selama operasi. Oleh karena itu, plat aluminium dengan tebal 3 mm dipilih untuk memberikan kekakuan dan daya tahan yang tinggi terhadap getaran yang terjadi saat bola ditahan. Ketebalan ini memberikan kekuatan struktural yang cukup untuk menahan reaksi gaya dari pegas dan bola yang masuk. Ketebalan ini optimal karena ringan namun kokoh serta memberikan ketahanan mekanik, presisi dan efisiensi bobot untuk performa yang stabil dan akurat.

## **2. Baut M6 dan Pipa *Stainless Steel* (Diameter Dalam 8 mm & Diameter Luar 12 mm)**



Gambar 3.8 Pipa *Stainless*

Komponen ini digunakan sebagai tiang penyangga yang menghubungkan antar *base*. Pipa ini memberikan struktur yang kokoh, tahan korosi, dan stabil secara mekanis. *Stainless Steel* dipilih karena memiliki kekuatan tarik tinggi serta daya tahan terhadap deformasi dan getaran, yang sangat penting ketika robot bergerak secara agresif. Tiap *base* menggunakan baut panjang M6 sebagai pengikat untuk memastikan kerangka tidak bergeser.

### 3. Roda *Omnidirectional* 100 mm



Gambar 3.9 Roda *Omnidirectional*

Roda *omniwheel* dipilih karena mampu memberikan pergerakan ke segala arah tanpa memutar arah robot. Hal ini sangat penting dalam permainan sepak bola yang memerlukan manuver cepat, responsif dan fleksibel. Ukuran 100 mm disesuaikan dengan ukuran *base*. Bagian ujung segitiga masih memiliki tempat untuk meletakkan kerangka vertikal dan bagian dalam segitiga masih cukup untuk meletakkan komponen seperti motor dan *driver*.

#### 4. *Pulley 24T dan Belt HTD3M*



Gambar 3.10 *Pulley 24T HTD3M*



Gambar 3.11 *Belt HTD3M*

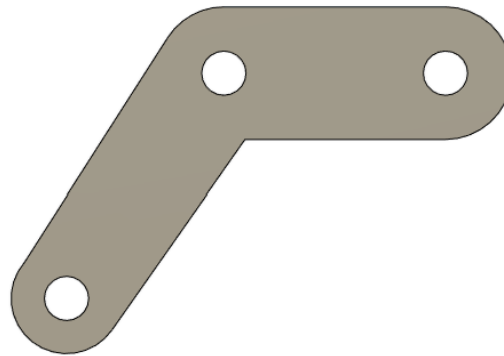
Sistem transmisi daya pada robot Bison menggunakan mekanisme *pulley* dan *belt* tipe HTD3M. *Pulley* yang digunakan memiliki lebar 10 mm dengan jumlah 24 gigi dan diameter luar 26 mm. *Pulley* ini dihubungkan langsung

antara poros motor dan poros roda, dengan rasio gigi 1:1. Artinya, kecepatan dan torsi yang ditransmisikan dari motor ke roda tidak mengalami perubahan. Pemilihan rasio ini ditujukan agar karakteristik gerak yang dihasilkan tetap sesuai dengan *output* motor, sekaligus menjaga kestabilan kendali kecepatan robot.

Penggunaan mekanisme *pulley* dan *belt* juga ditujukan agar motor tidak secara langsung menopang beban mekanik dari struktur robot. Dengan demikian, beban kerja motor berkurang dan masa pakai motor dapat diperpanjang. *Belt* yang digunakan adalah tipe HTD3M dengan spesifikasi *pitch* 3 mm dan lebar 10 mm. Material utama belt ini adalah Neoprene sebagai *body material*, serta diperkuat dengan *tensile cord* dari *fiberglass* untuk ketahanan terhadap tegangan. *Belt* ini mampu menahan gaya tarik hingga 300 N, nilai yang jauh melebihi gaya operasional aktual pada sistem, sehingga menjamin belt dapat beroperasi dengan aman tanpa mengalami *slip* atau deformasi yang berlebihan.

Temuan dari Liang et al. [15] mendukung pendekatan ini, di mana penggunaan sabuk sinkron (*synchronous belt*) pada sistem penggerak robot skid-steer terbukti dapat meningkatkan efisiensi transmisi torsi serta menyerap getaran mekanik secara efektif. Sistem sabuk ini bekerja dengan cara menjaga sinkronisasi antara komponen yang digerakkan, meminimalkan *slip*, dan mengurangi keausan komponen. Walaupun studi tersebut diterapkan pada robot tipe *non-holonomic*, prinsip kerjanya tetap relevan untuk sistem transmisi pada robot beroda *omni*, terutama dalam hal peningkatan keandalan mekanik, efisiensi jangka panjang, dan peredaman getaran saat robot melakukan akselerasi atau manuver cepat.

U N I V E R S I T A S  
M U L T I M E D I A  
N U S A N T A R A



Gambar 3.12 *Bracket Tensioner Belt*



Gambar 3.13 *Roda CNC V Slot*

*Tensioner* dengan roda CNC V-SLOT digunakan untuk memastikan tidak terjadi *backlash* pada *belt* yang dapat menyebabkan transmisi gerak yang tidak sesuai. Tuas *tensioner* menggunakan bahan PLA+ dengan 3D *Print* dengan sudut yang disesuaikan dengan tingkat kekencangan *belt*.

#### 5. *Pillowblock KP000*

U N I V E R S I T A S  
M U L T I M E D I A  
N U S A N T A R A



Gambar 3.14 *Pillowblock* KP000

*Pillowblock* merupakan komponen yang digunakan sebagai komponen penahan bagian luar roda *omni*. Komponen ini merupakan *bearing* yang berbasis *ball bearing* yang terintegrasi dengan *housing* berbahan aluminium dan memiliki lubang poros dengan diameter 10 mm. Komponen ini dipilih karena kemudahan dalam perakitan, dapat menahan beban radial dan aksial dengan stabil serta rotasi poros yang stabil. Ukuran dari *bearing* juga disesuaikan dengan *pulley* dan *belt*.

#### 6. *Shaft Stainless 10 mm*



Gambar 3.15 *Shaft Stainless Steel*

Penggunaan poros *stainless steel* dengan diameter 10 mm pada sistem roda robot Bison memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan, ketahanan terhadap lingkungan, kompatibilitas komponen dan presisi mekanik. Karakter ini penting untuk menjadi performa sistem penggerak yang andal dan tahan lama selama robot beroperasi dalam pertandingan yang dinamis.

7. *Bearing* 15 mm x 10 mm x 4 mm



Gambar 3.16 *Bearing* 15 x 10 x 4

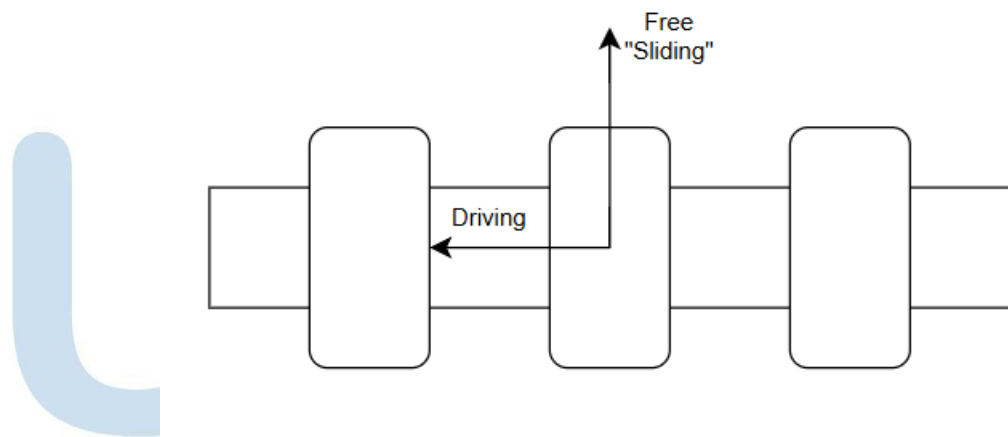
*Bearing* ini digunakan sebagai penahan *shaft* roda bagian dalam. *Bearing* ini dipilih karena ukurannya yang kecil, ringan, dan kompatibel dengan *shaft* 10 mm yang digunakan. *Bearing* ini mendukung kestabilan gerak robot dan efisiensi sistem transmisi tanpa membebani ruang dan berat total robot.

UMMN

UNIVERSITAS  
MULTIMEDIA  
NUSANTARA

### 3.4 Kinematika

Robot Bison memiliki konfigurasi 3 buah roda *omnidirectional* untuk bergerak. Konfigurasi ini memungkinkan robot untuk bergerak ke segala arah tanpa harus mengubah orientasi atau arah badan robot. Agar sistem ini dapat bekerja dengan optimal, diperlukan perhitungan kinematika robot. Kinematika berperan penting dalam menentukan hubungan antara kecepatan dan arah gerak robot secara keseluruhan terhadap kecepatan rotasi masing masing roda. Dengan model kinematika, putaran masing masing roda dapat dihitung agar dapat menghasilkan translasi dan rotasi robot sesuai navigasi. Oleh karena itu, bagian ini akan membahas kinematika robot 3 roda sebagai dasar pergerakan robot *omnidirectional* yang digunakan untuk sistem kontrol robot.



Gambar 3.17 *Roller Omniwheel*

Gambar 3.17 adalah konfigurasi roda *omnidirectional* yang memiliki 2 arah pergerakan yaitu *driving* dan *free sliding*. Roda



*omnidirectional* dapat bergerak dalam arah *free sliding* karena adanya *roller* yang terpasang di sepanjang keliling roda dengan sudut 90 derajat terhadap arah putar utama roda. *Roller* ini memungkinkan pergerakan roda tegak lurus terhadap bidang rotasi roda sehingga roda dapat meluncur bebas tanpa hambatan pada arah yang tidak sejajar dengan sumbu rotasinya.

Tujuan perhitungan kinematika robot *omnidirectional wheel* adalah menghubungkan kecepatan tubuh robot dalam kerangka *body frame*.

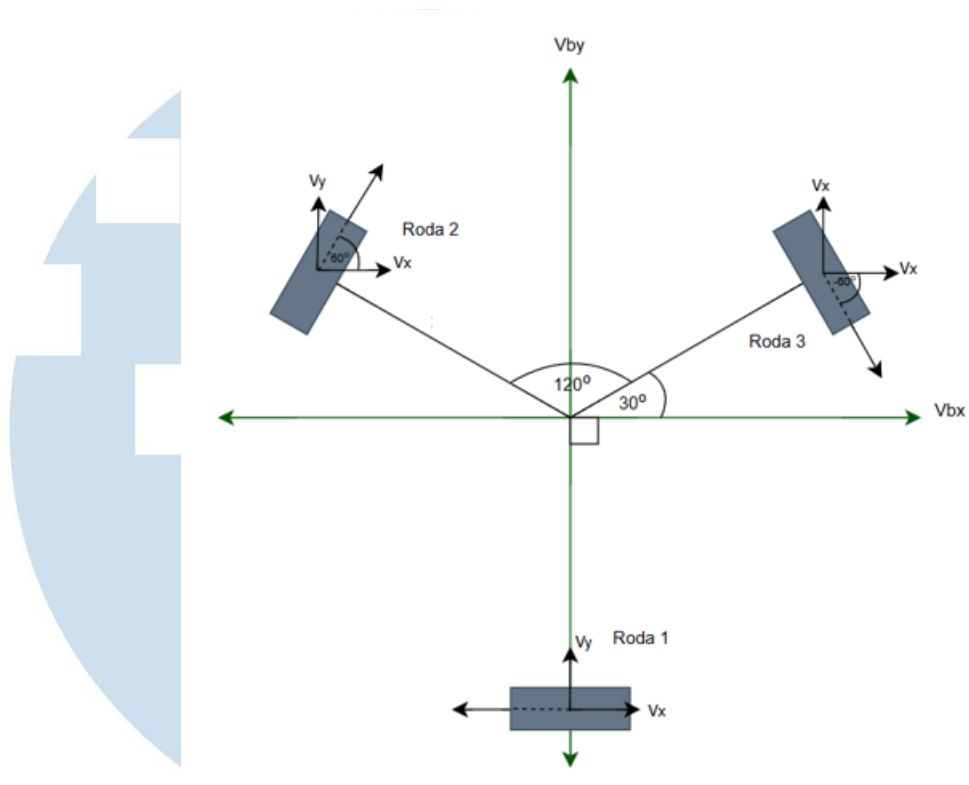
$$Vb = \begin{bmatrix} \omega_{bz} \\ v_{bx} \\ v_{by} \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan kecepatan sudut roda sebagai berikut.

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Berikut ini adalah perhitungan kinematika robot Bison.

U M M N  
U N I V E R S I T A S  
M U L T I M E D I A  
N U S A N T A R A



Gambar 3.18 Kinematika Robot Bison

Gambar 3.18 adalah model kinematik yang menunjukkan gaya gaya yang bekerja pada robot Bison. Kotak berwarna abu abu merupakan roda *omni* yang dipasang dengan perbedaan sudut  $120^\circ$  tiap roda. Jarak titik pusat ke masing masing roda adalah 18,5 cm. Berdasarkan gambar tersebut dapat dianalisis kecepatan masing masing roda untuk mencapai kecepatan ke arah yang diinginkan. Robot Bison memiliki 2 jenis kecepatan yaitu kecepatan translasi dan kecepatan rotasi. Berikut ini adalah perhitungan untuk kecepatan translasi.

$$V_x = V_{roda} * \cos(\theta) \quad (6)$$

$$V_y = V_{roda} * \sin(\theta) \quad (7)$$

$$v_{trans,1} = V_x * v_{bx} + V_y * v_{by} \quad (8)$$

1. Roda 1

$$V_x = -1$$

$$V_y = 0$$

$$v_{trans,1} = -1 * v_{bx} + 0 * v_{by}$$

Asumsi kecepatan tiap roda dianggap 1 sehingga kecepatan ke arah  $V_x$  adalah -1 karena arah roda berlawanan 180 derajat dengan  $V_x$ . Nilai  $V_y = 0$  karena tidak ada gaya yang bergerak ke arah  $V_y$ .

2. Roda 2

$$V_x = 1 * \cos(60) = 0,5$$

$$V_y = 1 * \sin(60) = 0,866$$

$$v_{trans,2} = 0,5 * v_{bx} + 0,866 * v_{by}$$

Berdasarkan sudut roda terhadap sumbu x, didapatkan rasio kecepatan yang diperlukan tiap roda untuk bergerak ke sumbu x atau y.

3. Roda 3

$$V_x = 1 * \cos(-60) = 0,5$$

$$V_y = 1 * \sin(-60) = -0,866$$

$$v_{trans,3} = 0,5 * v_{bx} \pm 0,866 * v_{by}$$

Rumus diatas merupakan rasio kecepatan yang diperlukan roda 3 untuk bergerak ke sumbu x atau y. Setiap roda berjarak 18,5 cm dari pusat dan akibat rotasi robot, masing masing roda akan merasakan kecepatan linier. Nilai jarak antar roda dari pusat negatif karena berlawanan dengan arah jarum jam.

$$v_{rot,i} = \omega_{bz} * (-d) \quad (9)$$

$$v_{rot,1} = v_{rot,2} = v_{rot,3} = \omega_{bz} * (-18,5)$$

Setelah dilakukan perhitungan translasi dan rotasi, kedua perhitungan ini dikombinasikan untuk mendapatkan putaran yang masing masing roda agar sesuai dengan pergerakan yang diinginkan. Berikut ini adalah hasil kombinasi

pergerakan translasi dan rotasi.

$$v_1 = -d\omega_{bz} - v_{bx}$$

$$v_2 = -d\omega_{bz} + 0,5v_{bx} + 0,866v_{by}$$

$$v_3 = -d\omega_{bz} + 0,5v_{bx} - 0,866v_{by}$$

Rumus diatas merupakan rumus untuk kecepatan masing masing roda. Dalam implementasi robot Bison, diperlukan perubahan dari kecepatan linier menjadi kecepatan rotasi dengan membagi nilai kecepatan dengan radius roda. Berikut adalah perhitungannya.

$$u_1 = \frac{1}{r}(-d\omega_{bz} - v_{bx})$$

$$u_2 = \frac{1}{r}(-d\omega_{bz} + 0,5v_{bx} + 0,866v_{by})$$

$$u_3 = \frac{1}{r}(-d\omega_{bz} + 0,5v_{bx} - 0,866v_{by})$$

### 3.5 Dinamika

Perancangan sistem penggerak robot sepak bola beroda membutuhkan aspek dinamika gerak yang berkaitan langsung dengan gaya dan torsi yang diperlukan untuk mencapai pergerakan yang diinginkan. Dinamika mencakup interaksi antara massa robot, gaya dorong roda, percepatan yang diinginkan serta gaya eksternal seperti gesekan permukaan.

Untuk mengetahui kebutuhan torsi masing masing roda, dilakukan analisis dinamika translasi dan rotasi pada kondisi aktual. Robot memiliki massa total 18 kg dan dirancang mampu bergerak dengan percepatan  $1,5 \text{ m/s}^2$  di atas permukaan karpet, dengan roda *omni* yang berbahan karet dengan diameter 10 cm. Permukaan ini memberikan gaya gesek yang cukup tinggi sehingga memerlukan gaya dorong yang lebih besar. Oleh karena itu, analisa terhadap gaya gesek juga termasuk dalam perhitungan.

Massa Total Robot : 18 kg

Percepatan ( $a$ ) :  $1,5 \text{ m/s}^2$

Jari jari roda :  $0,05 \text{ m}$

Konstanta gesek karpet :  $0,6$

Energi kinetik total robot meliputi translasi dan rotasi:

$$L = K_T + K_R \quad (10)$$

Energi kinetik translasi:

$$K_T = \frac{1}{2} M (v_x^2 + v_y^2) \quad (11)$$

Energi kinetik rotasi

$$K_R = \frac{1}{2} I_C \omega^2 + \frac{1}{2} I_R (\omega_{1x}^2 + \omega_{2x}^2 + \omega_{3x}^2) \quad (12)$$

Perhitungan:

$$I_C = \frac{1}{6} M L^2 \quad (13)$$

$$I_C = \frac{1}{6} * 18 * (0,494)^2 = 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$I_R = \frac{1}{2} m_r r^2 \quad (14)$$

$$I_R = \frac{1}{2} * 0,3 * (0,05)^2 = 3,75 * 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Gaya total translasi yang diperlukan:

$$F = M * a \quad (15)$$

$$F = 18 * 1,5 = 27 N$$

$$F_{\text{masing masing roda}} = \frac{27}{3} = 9 N$$

Torsi translasi tiap roda:

$$\tau_{\text{translasi}} = F * r \quad (16)$$

$$\tau_{\text{translasi}} = 9 * 0,05 = 0,45 Nm$$

Torsi akibat inersia rotasi robot (asumsi 1 rad/s<sup>2</sup>):

$$\tau_{\text{rotasi robot}} = I_C * \alpha \quad (17)$$

$$\tau_{\text{rotasi robot}} = 0,73 * 1 = 0,73 Nm$$

$$F_{\text{rotasi}} = \frac{\tau}{r_{\text{roda}}} \quad (18)$$

$$F_{\text{rotasi}} = \frac{0,73}{0,185} = 3,95 N$$

$$\tau_{\text{rotasi per roda}} = F_{\text{rotasi}} * r \quad (19)$$

$$\tau_{\text{rotasi per roda}} = 3,95 * 0,05 = 0,2 Nm$$

Torsi akibat inersia roda:

$$\alpha_r = \frac{a}{r} \quad (20)$$

$$\alpha_r = \frac{1,5}{0,05} = 30 \frac{rad}{s^2}$$

$$\tau_{inersia\ roda} = I_R * \alpha_r \quad (21)$$

$$\tau_{inersia\ roda} = 3,75 * 10^{-4} * 30 = 0,01125\ Nm$$

Torsi akibat gaya gesek:

$$N = \frac{M * g}{Jumlah\ Roda} \quad (22)$$

$$N = \frac{18 * 9,81}{3} = 58,86\ N$$

$$F_{ges\ tiap\ roda} = \mu * N \quad (23)$$

$$F_{ges\ tiap\ roda} = 0,6 * 58,86 = 35,32\ N$$

$$\tau_{gesek} = F_{ges} * r \quad (24)$$

$$\tau_{gesek} = 35,52 * 0,05 = 1,766\ Nm$$

Total Torsi:

$$\tau_{total} = 0,45 + 0,2 + 0,01125 + 1,766 = 2,427\ Nm$$

### 3.6 Implementasi dan Pengujian

#### 3.6.1 Hasil Pergerakan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja kinematika robot Bison yang telah diimplementasikan ke dalam program Python, Fokus pengujian berada pada kemampuan robot dalam melakukan manuver dasar, yaitu maju, mundur, kiri, kanan dan rotasi. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengukur kecepatan putar masing masing roda sebagai validasi hasil perhitungan kinematika. Berikut ini adalah hasil pengukuran kecepatan tiap roda pada kondisi

tanpa beban.

**Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Kecepatan Roda**

Kondisi Input	RPM( <i>Rotation per Minute</i> )			Kecepatan Linier (m/s)		
	Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 1	Roda 2	Roda 3
Maju ( $V_x = 0; V_y = 1; V_\theta = 0$ )	0	119	124	0	0,623	0,649
Mundur ( $V_x = 0; V_y = -1; V_\theta = 0$ )	0	123	123,4	0	0,644	0,646
Kiri ( $V_x = -1; V_y = 0; V_\theta = 0$ )	151,6	65,6	65,8	0,793	0,343	0,344
Kanan ( $V_x = 1; V_y = 0; V_\theta = 0$ )	148,6	62,4	64,7	0,778	0,327	0,339
Rotasi Kanan ( $V_x = 0; V_y = 0; V_\theta = -2$ )	39,9	35,1	36,6	0,209	0,184	0,192
Rotasi Kiri ( $V_x = 0; V_y = 0; V_\theta = 2$ )	36	36,2	37,6	0,188	0,189	0,197

Tabel 3.1 adalah pengukuran kecepatan roda tanpa adanya beban robot. Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan pergerakan robot dengan beban dengan rumus berikut. Motor yang digunakan adalah motor DC dengan torsi stall 3,43 Nm.

$$RPM_{load} = RPM_{no\ load} * \left(1 - \left(\frac{T_{load}}{T_{stall}}\right)\right)$$

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungannya.

**Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Kecepatan dengan Beban**

Kondisi	Kecepatan Linier Tanpa Beban (m/s)			Kecepatan Linier dengan Beban (m/s)		
	Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 1	Roda 2	Roda 3
Maju	0	0.623	0.649	0.00	0.18	0.19
Mundur	0	0.644	0.646	0.00	0.19	0.19
Kiri	0.793	0.343	0.344	0.23	0.10	0.10
Kanan	0.778	0.327	0.339	0.23	0.10	0.10
Rotasi Searah Jarum Jam	0.209	0.184	0.192	0.06	0.05	0.06
Rotasi Berlawanan Arah Jarum Jam	0.188	0.189	0.197	0.05	0.06	0.06

Hasil perhitungan Tabel 3.2 diuji dengan menggunakan *encoder* saat robot bergerak. Namun, pada saat percobaan terdapat beberapa kendala yaitu *encoder* yang terbaca hanya *encoder* motor 3. Motor 2



memiliki kendala RPM terbaca saat bergerak ke kiri namun *error* saat ke arah lainnya. Motor 1 memiliki nilai RPM yang selalu negatif. Berikut ini adalah hasil pengukuran kecepatan dengan *load* motor 3.

**Tabel 3.3 Kecepatan Motor 3 dengan Load**

Kondisi	RPM	Kecepatan Linier (m/s)
Maju	61.8	0.32342
Mundur	61.6	0.322373
Kiri	36.5	0.191017
Kanan	38.27	0.20028
Rotasi Searah Jarum Jam	27	0.1413
Rotasi Berlawanan Arah Jarum Jam	27	0.1413

Dari tabel 3.3 dapat dilihat nilai yang ditunjukkan belum sesuai dengan perhitungan dan memerlukan perbaikan pada perhitungan atau penambahan perhitungan.

Percobaan dilakukan dengan menggerakkan robot ke empat gerakan dasar yaitu maju, mundur, kiri dan kanan, masing masing sejauh 1 meter. Pengujian ini mencakup analisis perubahan sudut orientasi serta perubahan posisi terhadap sumbu X dan Y, sesuai arah gerakannya. Data hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 14. Pada gerakan maju, robot mengalami perubahan sudut rata rata  $1,9^{\circ}$  (STD  $0,97^{\circ}$ ) dan pergeseran sumbu X rata rata  $- 1,8$  cm (STD  $0,82$  cm), menunjukkan arah cukup stabil dengan sedikit deviasi ke kiri. Hal ini cukup sesuai dengan percobaan robot tanpa beban yang menunjukkan RPM roda bagian kanan lebih cepat dari pada roda kiri. Saat mundur, perubahan sudut rata rata adalah  $1,13^{\circ}$  (STD  $1,2^{\circ}$ ) dan pergeseran sumbu X  $- 0,58$  cm (STD  $1,38$  cm), menandakan variasi arah yang lebih besar daripada gerakan maju. Perubahan posisi cenderung kecil yang membuktikan pergerakan cukup sesuai dengan pengukuran tanpa beban yang menunjukkan perbedaan yang minim antara roda kiri dan kanan.

Robot menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada gerakan ke kiri dan kanan. Pada gerakan ke kanan, perubahan sudut rata

rata  $13,5^\circ$  (STD  $0,99^\circ$ ) dan pergeseran sumbu Y  $9,67$  cm (STD  $0,94$  cm), menunjukkan perubahan arah yang signifikan namun posisi yang cukup baik. Pada gerakan ke kiri, terjadi perubahan sudut rata rata  $-9,83^\circ$  (STD  $2,37^\circ$ ) dan pergeseran sumbu Y  $5,3$  cm (STD  $1,77$  cm), menunjukkan terjadinya perubahan sudut dan posisi yang cukup banyak tetapi lebih baik dibandingkan gerak ke kanan.

Secara dinamika, robot juga menunjukkan respon gerak yang stabil dan seimbang, dengan tidak adanya osilasi dan getaran yang menandakan bahwa gaya dan momen yang dihasilkan torsi motor mampu mendorong sistem bergerak sesuai perintah.

Namun, dari data pembacaan RPM roda terdapat sedikit ketidakseimbangan. Perbedaan RPM ini menunjukkan bahwa terjadi ketidaksesuaian kecepatan motor dan kecepatan input yang menyebabkan arah gerak sedikit menyimpang atau miring dari garis lurus yang diharapkan.

