

Omniwheels untuk Aplikasi Navigasi *Mobile Manipulator Robot* Penjinak Bom

Rafiuddin Syam dan Andi Abustan*

Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Jl. P. Kemerdekaan Km 10 Makassar 90245, Indonesia

Jurusan Mesin Fakultas Teknik Sekolah Tinggi Teknologi Darmayadi, Makassar, 90230

Korespondensi: rafiuddinsyam@gmail.com

Abstrak

Abstrak —Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana merancang bangun *Omni Wheel robot* sebagai prototipe robot penjinak bom yang dapat bergerak ke segala arah tanpa melakukan manuver terlebih dahulu. Selanjutnya peneliti melakukan analisis kinematika untuk *mobile-base omniwheels* dan manipulator sebagai lengan robot. Hal ini sangat berguna untuk navigasi *mobile robot* sebagai prototipe robot penjinak bom dengan base omniwheels ini digunakan, misalnya pada lokasi yang sempit saat melakukan belokan tiba tiba dengan radius yang sangat kecil dan memarkir kendaraan. *Omni Wheel robot* dapat bergerak mengikuti jalur pada permukaan bidang datar dan mempertahankannya dengan memamfaatkan sensor cahaya, kasus ini lebih dikenal sistem navigasi mengikuti garis. Mobile robot ini menggunakan roda khusus yang dikenal dengan *omniwheels*, selain roda inti juga terdapat roda kecil tambahan yang memiliki sumbu tegak lurus terhadap sumbu roda. Sehingga inti roda pada *mobile robot* ini bisa berputar pada sumbunya seperti roda normal. Hal ini disebabkan karena adanya tambahan roda kecil roda inti juga dapat bergerak sejajar dengan sumbunya. Metode eksperimen *omni wheel mobile robot* hanya menggunakan dua motor yang berfungsi pada saat bergerak arah sumbu x serta dua motor yang lain yang berfungsi saat bergerak arah sumbu y. Penelitian ini berhasil membuat prototipe robot yang dikenal dengan *omni wheel mobile robot*. Adapun *interface* yang digunakan untuk mengendalikan motor *omniwheel* adalah perangkat mikrokontroller ATmega 8535, alat ini berfungsi sebagai computer mini yang dapat melakukan eksekusi program kendali robot. Selanjutnya peneliti meletakkan pada bagian atas *mobile robot* instalasi robot lengan 4 derajat kebebasan. Dalam eksperimen untuk mengangkat sebuah benda yang mirip bom.

Kata-kata kunci- *Mobile Robot, Omni Wheel, Sensor, Atmega 8535, roda, driver, motor DC*

Pendahuluan

Beberapa tahun terakhir ini perkembangan teknologi dibidang robotika telah menjadi perhatian yang cukup serius, ilmu robotika lebih sering berkembang melalui pendekatan praktis, kemudian melalui pendekatan atau asumsi dari hasil pengamatan perilaku makhluk hidup atau peralatan bergerak lainnya kemudian dikembangkanlah penelitian secara teoritis yang menyerupai makhluk hidup tersebut sebagai referensi dalam pembuatan robot.

Hal ini diutamakan pada peran robot yang dapat menggantikan pekerjaan manusia terutama dalam lingkungan yang berbahaya, seperti daerah radiasi nuklir, penjelajahan ruang angkasa, penjinak bom dan lain-lain, berbagai jenis robot telah dikembangkan diantaranya robot manipulator yang mengikuti pergerakan tangan manusia, robot humanoid yang mengikuti pergerakan kaki manusia, robot terbang, robot berkaki, robot mobil, robot jaringan, robot dalam air dan sebagainya. Robot mobil adalah alat yang dapat bergerak secara otomatis untuk melakukan pekerjaan, diantaranya bergerak menuju lokasi atau daerah tertentu.[1]

Mobile robot memiliki potensi besar dalam membantu kehidupan manusia yang berlaku pada masyarakat di

masa depan. Fungsinya tidak akan lagi dibatasi untuk menyelesaikan tugas dalam perakitan dan manufaktur pada posisi tetap. Dalam rangka untuk menyelesaikan tugasnya sebagai mobile robot, maka mobile robot harus didesain dengan navigasi yang baik dan lancar untuk mengatasi perubahan medan dan lingkungan yang tak terduga. Conventional wheeled mobile robot (WMR) dibatasi dalam gerakan mobile robot karena tidak bisa bergerak kesamping tanpa manuver awal.[2] Omni wheel adalah sebuah mobil robot yang memamfaatkan rodanya untuk bergerak ke segala arah, tanpa berputar terlebih dahulu. Mobil robot ini menggunakan roda khusus, selain roda inti juga terdapat roda kecil tambahan yang memiliki sumbu tegak lurus terhadap sumbu roda. Inti roda bisa berputar pada sumbunya seperti roda normal, karna adanya tambahan roda kecil roda inti juga dapat bergerak sejajar dengan sumbunya. Omni wheel digunakan untuk menggambarkan kemampuan suatu sistem untuk bergerak cepat ke segala arah dari konfigurasi apapun. Omni wheel robotika memiliki keunggulan besar dibandingkan dengan desain konvensional dalam hal mobilitas dalam lingkungan padat. Kemampuan tersebut memiliki potensi untuk memecahkan sejumlah tantangan dalam industri dan masyarakat, mereka mampu dengan mudah melakukan

tugas di lingkungan padat dengan hambatan statis dan dinamis serta jalan sempit yang biasa ditemukan di lantai pabrik produksi, kantor, gudang dan fasilitas rumah sakit.[3]

Omni wheel adalah konstruksi robot yang dilengkapi dengan aktuator, yang menerima sinyal komando dari kontroler. Elemen ini berfungsi mengkonversi energi listrik ke energi mekanik, bentuk konkret aktuator ini misalnya: motor listrik, tabung hidrolik, tabung pneumatik dan sebagainya.

Kendali Mobile Robot

Masalah pengendalian berkaitan erat dengan strategi yang memungkinkan sebuah mikrokontroler mengarahkan gerakan-gerakan dari sebuah robot melalui sensor, dan penyampaian respon robot tersebut ke mikrokontroler. Sistem kendali mempunyai tiga unsur yaitu; input, proses dan output



Gambar 1. Kendali robot

Input pada umumnya berupa sinyal dari sebuah tranduser yaitu alat yang dapat merubah besaran fisik menjadi besaran listrik, misalnya tombol tekan, saklar batas, termostat dan lain-lain. Tranduser memberikan besaran mengenai besaran yang dapat diukur, kemudian besaran ini diproses oleh bagian proses. Bagian proses dapat berupa rangkaian kendali yang menggunakan peralatan yang dirangkai secara listrik atau juga berupa suatu sistem kendali yang dapat diprogram misalnya sistem berbasis mikroprosesor, mikrokontrol atau PLC.

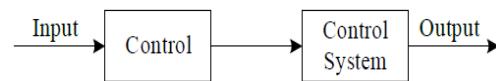
Sistem kendali dibedakan menjadi dua yaitu; sistem kendali loop terbuka (open loop control) dan loop tertutup (close loop control)

A. Kendali loop terbuka (*open loop control*)

Kendali loop terbuka merupakan suatu prinsip kendali dimana aliran informasinya dari *input* ke *output* didalamnya tidak terdapat *feedback control* sehingga dalam pelaksanaan suatu proses kendali akan bekerja secara “membuta” dan ruang lingkup kerja dari kendali jenis ini tidak terbatas. Gambaran prinsip kendali loop terbuka diperlihatkan pada gambar 3.

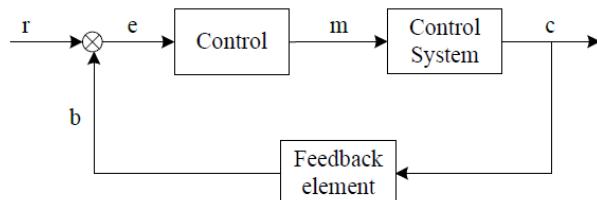
B. Kendali loop tertutup (*close loop control*)

Kendali loop tertutup merupakan kebalikan dari prinsip kendali loop terbuka. Pengertiannya adalah suatu prinsip kendali dimana loop tersebut memiliki lintasan yang tertutup untuk proses aliran informasinya dari *input* ke *output* dan kembali ke *input* lagi karena adanya *feedback control*.



Gambar 2. Diagram blok *open loop control*

Pada pembuatan alat ini, penulis menggunakan prinsip *close loop control*. Berikut adalah blok diagram dari *close loop control* :



Gambar 3. Diagram blok *close loop control*.

Huruf *r* merupakan suatu masukan yang menentukan suatu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Sedangkan lingkaran tanda silang menandakan suatu titik penjumlahan antara *r* dan *b* (umpang balik dari keluaran). Keluaran dari penjumlahan adalah sinyal kesalahan (*e*) yang nilainya adalah selisih dari *r* dan *b*. Dengan kata lain, sinyal kesalahan *e* adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yg dihasilkan.[13]

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah salah satu dari bagian dasar dari suatu sistem komputer. Meskipun mempunyai bentuk yang jauh lebih kecil dari suatu komputer pribadi dan komputer mainframe, mikrokontroler dibangun dari elemen-elemen dasar yang sama. Secara sederhana, komputer akan menghasilkan output spesifik berdasarkan inputan yang diterima dan program yang dikerjakan. Program ini menginstruksikan komputer untuk melakukan jalanan yang panjang dari aksiaksi sederhana untuk melakukan tugas yang lebih kompleks yang diinginkan oleh programmer.[16]

Piranti input menyediakan informasi kepada sistem komputer dari dunia luar. Dalam sistem komputer pribadi, piranti input yang paling umum adalah keyboard. Komputer mainframe menggunakan keyboard dan pembaca kartu berlubang sebagai piranti inputnya. Sistem dengan mikrokontroler umumnya menggunakan piranti input yang jauh lebih kecil seperti saklar atau keypad kecil. Hampir semua input mikrokontroler hanya dapat memproses sinyal input digital dengan tegangan yang sama dengan tegangan logika dari sumber. Level nol disebut dengan VSS dan tegangan positif sumber (VDD) umumnya adalah 5 volt. Padahal dalam dunia nyata terdapat banyak sinyal analog atau sinyal dengan tegangan level yang bervariasi. Karena itu ada piranti input yang mengkonversikan sinyal analog menjadi

sinyal digital sehingga komputer bisa mengerti dan menggunakannya. Ada beberapa mikrokontroler yang dilengkapi dengan piranti konversi ini, yang disebut dengan ADC, dalam satu rangkaian terpadu.

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus. Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika.[17]

D. DT-HiQ AVR-51 USB ISP

DT-HiQ AVR-51 USB ISP merupakan in-system programmer yang dapat dihubungkan ke komputer melalui port USB untuk memprogram mikrokontroler keluarga AVR® 8 bit RISC dan MCS-51® yang memiliki fitur ISP. Produk ini dapat bekerja dengan perangkat lunak yang mendukung protokol STK500/AVRISP seperti AVR Studio®, CodeVisionAVR®, AVRDUDE (WinAVR) dan BASCOM-AVR® untuk memprogram mikrokontroler AVR. DT-HiQ AVR-51 USB ISP juga dilengkapi dengan perangkat lunak berbasis Windows® yang menyediakan antarmuka yang sederhana dan mudah untuk memprogram mikrokontroler keluarga MCS-51 seri AT89.[18]



Gambar 4. DT-HiQ AVR-51 USB ISP

Analisis Model dan Pembahasan

1. Kinematika Omni wheel

Kinematika memberi sarana dalam merubah posisi antar koordinat global dan konfigurasi internal. Dalam rangka menentukan posisi global robot, hubungan ditetapkan diantara kerangka referensi global (X_G, Y_G) dan kerangka lokal instan berpusat pada robot tersebut (X_R, Y_R). Posisi tubuh robot tersebut didapatkan oleh rumus $\xi_G = [x, y, \xi]^T$. Pemetaan pergerakan diantara kerangka lokal dan global terkait hanya dengan rotasi matriks (mengingat kerangka lokal ini tetap dan tidak berputar terhadap robot tersebut) tidak ada gerakan manuver.

Dengan vektor posisi dari *omni wheel robot* didefinisikan sebagai berikut

$$\xi_R = R(\theta) \xi_G \quad (1)$$

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sehingga diperoleh vektor posisi dari persamaan diatas sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_G \\ y_G \\ \theta \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

Untuk menentukan vektor kecepatan dari *omni wheel robot* maka harus diperoleh dari turunan vektor posisi. Kinematika kecepatan dapat diketahui dengan memperhatikan arah pergerakan setiap roda, sumbu robot, kecepatan putaran sudut dan jari-jari roda yang terlihat pada gambar dibawah ini.

Persamaan kecepatan didapat dari hubungan antara gerak robot untuk berputar, hambatan geser dan kecepatan putaran roda. Dimana desain dari roda omni itu sendiri yang memiliki roda-roda kecil yang ikut berputar sehingga akan timbul hambatan geser. Dimana dalam rancangan *omni wheel robot* ini, roda omni yang akan digunakan, masing-masing dipasang pada posisi sudut ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) = ($\pi, 3\pi/4, -3\pi/2, \pi$), dengan *steering position* masing masing roda ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$) = 0° , nilai nol diperoleh karena tidak adanya perubahan sudut *steering position* pada roda omni yang digunakan. Dalam perhitungan gaya geser dari roda omni, maka roda-roda kecil yang ada di sekeliling roda utama harus diperhatikan yaitu antara lain adalah sudut yang terbentuk antara roda-roda kecil dengan porosnya (γ). Dan roda omni yang digunakan disini memiliki desain dimana roda-roda kecil dan porosnya saling berhimpitan sehingga dalam artian bahwa ($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$) = 0° . Dalam perhitungan persamaan kecepatan dari robot *omni wheel* ini, dapat diketahui dengan memperhatikan arah pergerakan setiap roda, sumbu robot, kecepatan putaran sudut dan jari-jari roda.

$$\begin{aligned} & [\sin(\alpha + \beta + \gamma) \\ & - \cos(\alpha + \beta \\ & + \gamma)(-l) \cos(\beta + \gamma)] R(\beta) \dot{\xi}_I \\ & - r \dot{\phi} \cos \gamma = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Karena nilai β dan γ untuk jenis roda omni adalah 0° , maka persamaannya diatas dapat

disederhanakan menjadi:

$$[\sin(\alpha) - \cos(\alpha) (-l)] R(\theta) \xi_I - r\dot{\phi} = 0 \quad (5)$$

Dengan memperhatikan kembali gambar (10), dimana sumbu roda ke-2 *colinear* dengan sumbu X_R , dan seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa jarak keempat roda dan jari-jari roda adalah sama, dan dari rumus diatas dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$\xi_I = R(\theta)^{-1} J_{1f}^{-1} J_2 \dot{\phi} \quad (6)$$

Dimana J_{1f} adalah matriks hambatan geser, J_2 adalah untuk matriks jari-jari roda dan $\dot{\phi}$ adalah kecepatan putaran roda. Rumus tersebut diatas dapat dituliskan dengan pola matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin\alpha_1 & -\cos\alpha_1 & -l \\ \sin\alpha_2 & -\cos\alpha_2 & -l \\ \sin\alpha_3 & -\cos\alpha_3 & -l \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} r & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dari persamaan (7) diatas, nantinya digunakan untuk menentukan nilai vektor kecepatan dari pergerakan *omni wheels robot*.

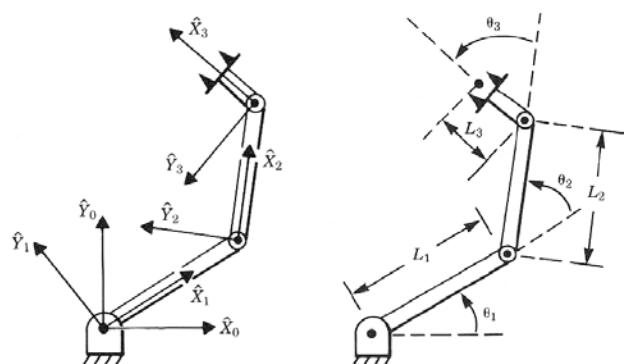
2. Kinematika Manipulator

Kinematik lengan robot berhubungan dengan geometri pergerakan lengan robot terhadap sistem koordinat referensi sebagai fungsi waktu, tanpa memperhatikan besarnya gaya atau moment yang menyebabkan pergerakannya.

Setiap pasangan *link-joint* pada lengan manipulator akan membentuk 1 derajat kebebasan (1 *d.o.f*). Manipulator dengan jumlah derajat kebebasan N, terdapat pasangan joint-link sebanyak N. Penomoran *joint* dan *link* dimulai dari “*supporting base*”, dimana joint 1 merupakan titik penghubung antara link 1 dan “*supporting base*”, demikian seterusnya sampai link terakhir (*tool*). Sumbu *joint* (untuk *joint* ke *i*) terbentuk dari hubungan 2 buah *link* (Gambar 3). Posisi relatif dari 2 buah link yang terhubung (*link* *i-1* dan *link* *i*) diberikan oleh jarak *di* yang dihitung sepanjang sumbu *joint* antara kedua titik normal. Sudut *joint* θ_i antara kedua titik normal dihitung pada bidang normal terhadap sumbu *joint*. Parameter *di* dan θ_i sering disebut sebagai jarak dan sudut antara link-link yang berdekatan.

Parameter-parameter tersebut menunjukkan posisi relatif dari link-link yang saling

berdekatan.



Gambar 5. LINK

I	a_{i-1}	a_i	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	L_1	0	θ_2
3	0	L_2	0	θ_3
4	0	L_3	0	θ_4

Tabel 1. DH Parameter

Dimana:

a_i = jarak dari Z_i sampai Z_{i+1} diukur sepanjang X_i

a_i = sudut antara Z_i dan Z_{i+1} diukur pada X_i

d_i = jarak dari X_{i-1} sampai X_i diukur sepanjang Z_i

θ_i = sudut antara X_{i-1} dan X_i diukur pada Z_i

Jika persamaan umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$i - iT = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c a_{i-1} & c\theta_i c a_{i-1} & -s a_{i-1} & -s a_{i-1} d_i \\ s\theta_i s a_{i-1} & c\theta_i s a_{i-1} & c a_{i-1} & c a_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Analisa Hasil Perhitungan dan Pengujian

1. Pembahasan Kinematika Robot Omni Wheel

Omni Wheel robot merupakan salah satu contoh dari *mobile robot* yang memiliki struktur kinematik holonomik. *Mobile robot* didefinisikan bergerak dalam kawasan 2D. *Omni wheels robot* yang kami rancang hanya untuk pada medan rata, jadi bisa diasumsikan bergerak dalam kawasan sumbu XY saja.

Mobile robot yang dimaksud disini ialah *mobile robot* berpenggerak 4 roda yang terpisah masing-masing 120° dengan sumbu roda berpusat di tengah robot yang dikemudikan terpisah (*Differentially Driven Mobile Robot*, disingkat *DDMR*),

Untuk menghitung gerakan robot maka diperlukan pemetaan gerakan disepanjang sumbu global ke sumbu local robot, dimana pemetaan ini didapatkan dengan menggunakan *orthogonal rotation matrix*.

$$\xi_R = R(\theta) \xi_G \quad (8)$$

Nilai matriks orthogonal diperoleh dari matriks perputaran *mobile robot* itu sendiri, yaitu:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sehingga perhitungan matriks posisi dari *omni wheel robot* dapat dituliskan sebagai berikut ini

$$\begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_G \\ y_G \\ \theta \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

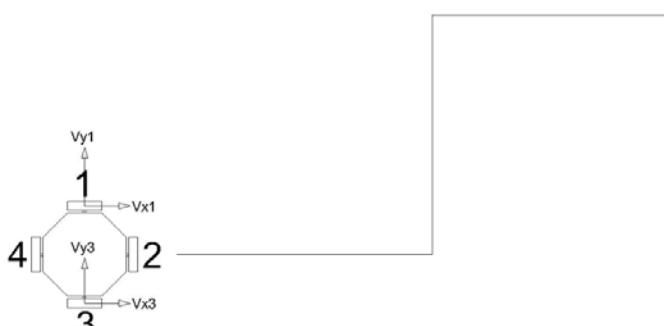
Untuk penentuan nilai vektor kecepatan dari *omni wheel robot* dapat diperoleh dari turunan dari vektor posisi dimana pengaruh antara gerak robot untuk berputar, hambatan geser dan kecepatan putaran roda, diperhitungkan.

$$\dot{\xi}_R = R(\theta)^{-1} J_{1f}^{-1} J_2 \dot{\phi} \quad (11)$$

Penentuan nilai dari matriks hambatan geser diperoleh dari perhitungan vektor kecepatan roda dengan memperhatikan jari-jari roda (r), kecepatan putaran roda (ϕ), arah putaran roda, dan kecepatan sudut (v_1). Roda 1 berada pada 90° sumbu global dan roda lain (roda 2, roda 3 dan roda 4) masing-masing terpisah sebesar 90° .

Gerakan *omni wheel robot* bergerak ke arah kanan (sumbu X positif) lalu diteruskan ke arah atas (sumbu Y positif).

- a. Persamaan untuk gerak *omni wheel robot* ke arah sumbu X positif



Gambar 6. Omni wheel bergerak ke kanan

Jika diketahui

$$\begin{aligned} \alpha_1, \alpha_3 &= 0^\circ & r &= 0.05 \text{ m} & \phi_1 = \phi_3 &= 300 \text{ rpm} \\ \alpha_2, \alpha_4 &= 180^\circ & \theta &= 0^\circ & \phi_2 = \phi_4 &= 0 \text{ rpm} \\ & & & & (\text{diam}) & \end{aligned}$$

Roda 1 dan 3

$$\begin{aligned} v_{x1} &= v_{x3} & \omega_1 &= 0 \text{ (Tidak ada perputaran pada sumbu global)} \\ v_{x1} &= \cos 0^\circ \cdot v_1 & & \end{aligned}$$

$$= 1 \cdot r \cdot \phi_1 = 15$$

$$v_{y1} = v_{y3}$$

$$v_{y1} = \sin 0^\circ \cdot v_1 = 0$$

Roda 2 dan 4

Untuk bergerak kearah sumbu X positif roda 2 dan 4 tidak berputar ke arah manapun (diam), sehingga

$$v_{x2} = v_{y2} = \omega_2 = 0$$

$$v_{x4} = v_{y4} = \omega_4 = 0$$

Nilai diatas di masukkan kedalam persamaan (7)

$$\dot{\xi}_R = R(\theta)^{-1} J_{1f}^{-1} J_2 \dot{\phi}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 0^\circ & -\sin 0^\circ & 0 \\ \sin 0^\circ & \cos 0^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{x1} & v_{x2} & v_{x3} & v_{x4} \\ v_{y1} & v_{y2} & v_{y3} & v_{y4} \\ \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 & \omega_4 \end{bmatrix}$$

Roda 1 dan 3 bergerak dengan Putaran yang sama $\phi_1 = \phi_3 = 300$ rpm, roda 2 dan 4 diam $\phi_2 = \phi_4 = 0$ rpm (diasumsikan $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4 = \phi$)

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 15 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [\phi]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 15 & 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [r \cdot \phi]$$

Dan semua nilai yang telah diketahui dimasukkan dan dihitung.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{x1} & 0 & v_{x3} & 0 \\ v_{y1} & 0 & v_{y3} & 0 \\ \omega_1 & 0 & \omega_3 & 0 \end{bmatrix} [r \cdot \phi]$$

Sehingga diperoleh hasil pergerakan robot terhadap sumbu X adalah

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 225 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

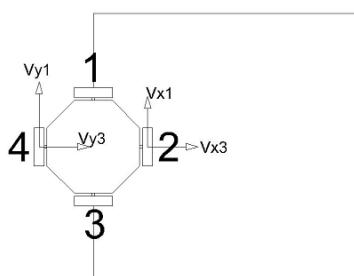
- b. Persamaan untuk gerak *omni wheel robot* ke arah sumbu Y positif

Jika diketahui

$$\begin{aligned} \alpha_1, \alpha_3 &= 0^\circ & \phi_1 = \phi_3 &= 300 \text{ rpm} & r &= 0.05 \text{ m} \\ \alpha_2, \alpha_4 &= 180^\circ & \alpha_2 &= 180^\circ & \text{rpm} & \theta = 0^\circ \\ & & & & & \phi_2 = \phi_4 = 0 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Roda 2 dan 4

$$\begin{aligned} v_{x2} &= v_{x4} & \omega_2 &= 0 & \text{(Tidak ada perputaran pada sumbu global)} \\ v_{x2} &= \cos 90^\circ \cdot v_2 = 0 & & & \\ v_{y2} &= v_{y4} & & & \\ v_{y1} &= \sin 90^\circ \cdot v_1 = 15 & & & \end{aligned}$$



Gambar 7. Omni wheel bergerak arah Y positif

Roda 1 dan 3

Untuk bergerak kearah sumbu Y positif roda 1 dan 3 tidak bergerak ke arah manapun (diam), sehingga

$$v_{x1} = v_{y3} = \omega_2 = 0$$

$$v_{x1} = v_{y3} = \omega_2 = 0$$

Nilai diatas di masukkan kedalam persamaan (7)

$$\dot{\xi}_1 = R(\theta)^{-1} J_{1f}^{-1} J_2 \dot{\phi}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos 0^\circ & -\sin 0^\circ & 0 \\ \sin 0^\circ & \cos 0^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{x1} & v_{x2} & v_{x3} & v_{x4} \\ v_{y1} & v_{y2} & v_{y3} & v_{y4} \\ \omega_1 & \omega_2 & \omega_3 & \omega_4 \end{bmatrix}$$

Roda 2 dan 4 bergerak dengan Putaran yang sama $\phi_1 = \phi_3 = 300$ rpm, roda 1 dan 3 diam $\phi_1 = \phi_3 = 0$ rpm (diasumsikan $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4 = \phi$)

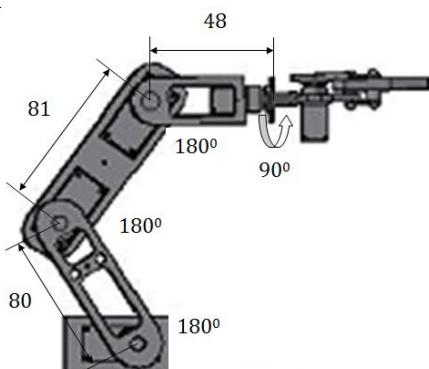
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [\phi]$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [r, \phi]$$

Sehingga diperoleh hasil pergerakan omni wheel arah Y positif

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 225 \\ 0 \end{bmatrix}$$

2. Kinematika Robot Lengan



Gambar 8. Sudut dan jarak robot lengan

I	a _{i-1}	a _i	d _i	θ _i
1	0	0	0	180°
2	0	80	0	180°
3	0	81	0	180°
4	90°	48	0	0
5	0	0	0	0

DH Parameter 5 derajat kebebasan

$$i - \frac{1}{i} T = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c a_{i-1} & c\theta_i c a_{i-1} & -s a_{i-1} & -s a_{i-1} d_i \\ s\theta_i s a_{i-1} & c\theta_i s a_{i-1} & c a_{i-1} & c a_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan tabel DH Parameter Transformasi matriksnya sebagai berikut :

$$\frac{5}{5} T = \frac{4}{4} T \frac{4}{5} T$$

$$\frac{2}{2} T \frac{3}{3} T \frac{4}{4} T$$

Diketahui :

$$L_1 = 80 \text{ mm}$$

$$\theta_1 = 0^\circ - 180^\circ \text{ (diambil } 30^\circ)$$

$$L_2 = 81 \text{ mm}$$

$$\theta_2 = 0^\circ - 180^\circ \text{ (diambil } 30^\circ)$$

$$L_3 = 48 \text{ mm}$$

$$\theta_3 = 0^\circ - 180^\circ \text{ (diambil } 30^\circ)$$

$$\theta_4 = 0^\circ - 90^\circ \text{ (diambil } 30^\circ)$$

Penyelesaian :			
r ₁₁ = -0.3125	r ₁₂ = 0.625	r ₁₃ = 0	P _X = -0.125
r ₂₁ = 0.3125	r ₂₂ = -1.25	r ₂₃ = 0	P _Y = 1
r ₃₁ = 0.5	r ₃₂ = 0	r ₃₃ = 0	P _Z = 0

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Omni Wheel yang dibuat mampu bergerak mengikuti garis arah sumbu X positif, kemudian robot secara otomatis akan bergerak ke arah sumbu Y positif dengan sudut 90° tanpa manuver karna menggunakan roda khusus.
2. Sistem kontrol yang digunakan merupakan sistem kontrol *auto-navigasi* yang menggunakan sensor *cahaya* sebagai Input ke mikrokontroler.
3. Mikrokontroler ATmega 8535 berperan sebagai pengendali pada robot.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://nugroho.staff.uji.ac.id/2009/02/01/apa-sih-robot-it-u/>
- [2] http://www.societyofrobots.com/robot_omni_wheel.shtml
- [3] Adams, M.D., *Sensor Modelling, Design and Data Processing for Autonomous Navigation*. World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems. Singapore, World Scientific Publishing Co. Ltd., 1999.
- [4] Borenstein, J., Everett, H.R., Feng, L., *Navigating*

- Mobile Robots, Systems and Techniques.* Natick, MA, A.K. Peters, Ltd., 1996.
- [5] G. Campion, G. Bastin and B. Dandrea-Novel, "Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 12(1), pages 47-62, 1996.
- [6] A. S. Conceic, ~ao, A. P. Moreira and P. J. Costa, "Model Identification of a Four Wheeled Omni-Directional Mobile Robot", *Control 2006*, 7th Portuguese Conference on Automatic Control, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.
- [7] Canudas de Wit, C., Siciliano, B., and Bastin G. (editors), *Theory of Robot Control*. New York, Springer-Verlag, 1996.
- [8] K. Moore and N. Flann: Hierarchical Task Decomposition Approach to PathPlanning and Control for an Omni-Directional Autonomous Mobile Robot. In *IEEE Int. Symp. on Intelligent Control/Intelligent System & Semiotics*, (1999)
- [9] F. G. Pin and S. M. Killough: A New Family of Omnidirectional and Holonomic Wheeled Platforms for Mobile Robots, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* **10**(4), Aug (1994) 480-489
- [10] J. C. Alexander and J. H. Maddocks, "On the kinematics of wheeled mobile robots," *Autonomous Robot Vehicles, Springer Verlag*, pp. 5-24, 1990.
- [11] J. Tang, K. Watanabe, and Y. Shiraishi, "Design and traveling experiment of an omnidirectional holonomic mobile robot," *Proc. of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and systems*, pp. 66 -73, 1996.