

Rancang Bangun *Wheel-Gripper Mobile Robot* untuk kasus *Loading and Un-loading*

Syahrier Arief dan Rafiuddin Syam

Program Studi Teknik Mesin Jurusan Mesin, Universitas Hasanuddin,
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10, Tamalanrea Makassar – 90245

Abstrak

Aplikasi yang paling sering ditemui dalam industri manufaktur adalah penanganan bahan (Handling Material), untuk itu penulis memfokuskan pada wheel-gripper mobile robot. Dalam penelitian ini diuraikan kinematika dan dinamika mobile robot, dimana robot lengan terdapat 3 derajat kebebasan (DOF). Metode Inverse-Kinematik yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi dengan Matlab dan dilanjutkan dengan eksperimen loading dan un-loading kasus. Dari hasil eksperimen yang dilakukan memperlihatkan hasil yang cukup baik dalam kendali secara manual dan kendali secara otomatis. Prototipe wheel-gripper mobile robot adalah luaran dalam penelitian ini.

Kata kunci: robot manipulator, Jaringan Syaraf Tiruan, Kinematika robot lengan, trajectory

Pendahuluan

Wheel-Gripper mobile robot adalah gabungan antara mobile robot dan robot lengan atau yang lebih dikenal dengan *manipulator robot*. Dalam aplikasinya wheel-gripper robot banyak dijumpai dalam penelitian tentang penanganan material.

Dalam salah satu definisi Robot adalah sebuah manipulator yang dapat di program ulang untuk memindahkan tool, material, atau peralatan tertentu dengan berbagai program pergerakan untuk berbagai tugas dan juga mengendalikan serta mensinkronkan peralatan dengan pekerjaannya, oleh *Robot Institute of America* (Rony, Peter. R., Rony, Karl. E., 1985).

Aplikasi teknologi robotika khususnya *mobile robot* lebih banyak diarahkan untuk melaksanakan tugas-tugas yang berbahaya bagi manusia. Sehingga *mobile robot* banyak digunakan untuk aplikasi dibidang pertambangan dan pertahanan & keamanan. Salah satu penggunaan yang paling banyak adalah robot penjinak bom.

Dengan menggunakan robot pada pekerjaan yang berbahaya, maka resiko cedera pada manusia dapat dihindarkan. Robot yang akan didesain dapat mengambil dan meletakkan benda kerja yang sesuai dengan karakteristik *gripper*-nya.

Adapun tujuan dari penelitian ini bertujuan untuk Menggambar sistem mekanik dari mobile manipulator robot dan menentukan persamaan gerak pada mobile manipulator robot serta membuat dan mensimulasi mobile manipulator robot.

Mobile Manipulator Robot

Mobile robot dan Manipulator/lengan robot jika digabungkan menjadi mobile manipulator robot. Berikut akan dijelaskan persamaan gerak dari mobile manipulator robot.

1. Persamaan gerak mobile robot

Jika $B(q)$ adalah matriks $m \times n$ dan q adalah koordinat general, maka karakteristik nonholonomic constraint diberikan oleh

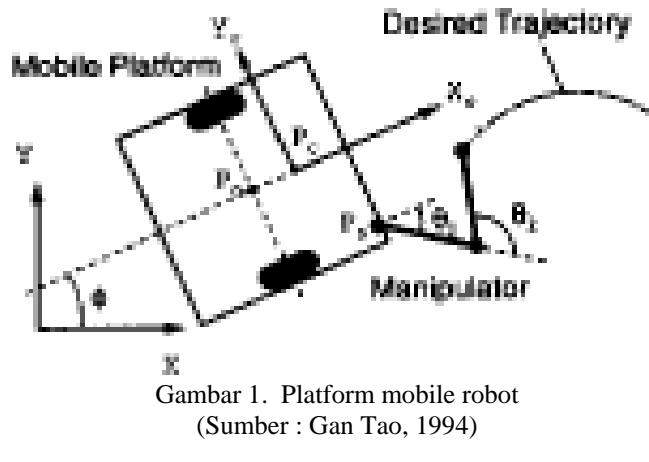
$$B(q)\dot{q} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

Menggunakan aturan Lagrange, persamaan gerak sistem nonholonomic adalah

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) = E(q)u + B^T(q)\lambda_n \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

dimana $M(q)$ adalah matriks $n \times n$, $V(q, \dot{q})$ adalah matriks kecepatan coriolis, tergantung pada vektor gaya, $G(q)$ adalah vektor gaya gravitasi, u adalah r -dimensi vektor dari gaya/torsi aktuator, $E(q)$ adalah $n \times r$ dimensi matriks pemetaan ruang aktuator terhadap koordinat ruang keseluruhan, dan n adalah vektor berdimensi m dari Lagrange. Kedudukan vektor terdiri dari koordinat keseluruhan q dan beberapa kecepatan yang tidak nyata. Dengan vektor kecepatan dapat digambarkan sebagai berikut:

$$v(t) = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_{n-m}]$$



Gambar 1. Platform mobile robot
(Sumber : Gan Tao, 1994)

Pada gambar diatas terlihat beberapa notasi yang sering digunakan dalam persamaan dinamik mobile robot adalah sebagai berikut,

P_o : intersection dari sumbu simetri dengan sumbu roda penggerak

P_c : center of mass dari platform

P_r : titik referensi yang akan diikuti oleh mobile platform

d : jarak antara P_o dan P_c

b : jarak antara roda penggerak dan sumbu simetri

r : radius roda penggerak

m_c : massa platform tanpa roda penggerak dan rotor dari motor dc

m_w : massa setiap roda penggerak dan rotor dari motor yang digunakan

I_c : momen inersia dari platform tanpa roda penggerak dan rotor motor disekitar sumbu roda

I_w : momen inersia dari setiap roda dan rotor motor disekitar diameter roda.

Ada tiga kendala yang dihadapi, antara lain

$$\dot{y}_c \cos \phi - \dot{x}_c \sin \phi - d \dot{\phi} = 0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\dot{x}_c \cos \phi + \dot{y}_c \sin \phi + b \dot{\phi} = r \dot{\theta}_r \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\dot{x}_c \cos \phi + \dot{y}_c \sin \phi - b \dot{\phi} = r \dot{\theta}_l \quad \dots \dots \dots (5)$$

dimana : (x_c, y_c) adalah koordinat center of mass P_c dalam sistem koordinat

ϕ adalah sudut hadap dari platform diukur dari sumbu X.

θ_r dan θ_l adalah perpindahan angular dari roda kiri dan kanan dari kedua roda.

Menentukan $q = (x_c, y_c, \phi, \theta_r, \theta_l)$, ketiganya dapat dituliskan dalam persamaan

$$A(q) \dot{q} = 0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

dimana,

$$A(q) = \begin{bmatrix} -\sin \phi & \cos \phi & -d & 0 & 0 \\ -\cos \phi & -\sin \phi & -b & r & 0 \\ -\cos \phi & -\sin \phi & b & 0 & r \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Persamaan Lagrange dari gerak platform diberikan pada persamaan berikut,

$$m \ddot{x}_c - m_c d (\ddot{\phi} \sin \phi + \dot{\phi}^2 \cos \phi) - \lambda_1 \sin \phi - (\lambda_2 + \lambda_3) \cos \phi = 0 \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$m\ddot{y}_c + m_c d(\ddot{\phi} \cos \phi - \dot{\phi}^2 \sin \phi) + \lambda_1 \cos \phi - (\lambda_2 + \lambda_3) \sin \phi = 0 \quad \dots \dots \dots (9)$$

$$-m_c d(\ddot{x}_c \sin \phi - \ddot{y}_c \cos \phi) + I \ddot{\phi} - d\lambda_1 + b(\lambda_3 - \lambda_2) = 0 \quad \dots \dots \dots (10)$$

$$I_w \ddot{\theta}_r + \lambda_2 r = \tau_r \quad (11)$$

$$I_w \ddot{\theta}_l + \lambda_3 r = \tau_l \quad (12)$$

dimana,

τ_l dan τ_r adalah torsi yang bekerja pada setiap roda penggerak

$$m = m_+ + 2m_-$$

$$I = I_c + 2m_w(d^2 + b^2) + 2I_m$$

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) = E(q)\tau - A^T(q)\lambda \quad (13)$$

$$M(q) = \begin{bmatrix} m & 0 & -m_c d \sin \phi & 0 & 0 \\ 0 & m & m_c d \cos \phi & 0 & 0 \\ -m_c d \sin \phi & m_c d \cos \phi & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I_w \end{bmatrix}$$

$$V(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -m_c d \dot{\phi}^2 \cos \phi \\ -m_c d \dot{\phi}^2 \sin \phi \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad E(q) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (13.a)$$

$$S(q) = [s_1(q) \quad s_2(q)] = \begin{bmatrix} c(b \cos \phi - d \sin \phi) & c(b \cos \phi + d \sin \phi) \\ c(b \sin \phi + d \cos \phi) & c(b \sin \phi - d \cos \phi) \\ c & -c \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$\dot{q} \equiv S(q)v$ (14)

$$v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_r \\ \dot{\theta}_l \end{bmatrix}$$

Dengan menurunkan persamaan (14), dan mensubtitusikan untuk \ddot{q} kedalam persamaan (13) dan dikalikan dengan S^T , diperoleh

$$S^T (M S \dot{v}(t) + M \dot{S} v(t) + V) = \tau \quad \dots \dots \dots (15)$$

Menggunakan ruang vektor $x = [q^T \quad v^T]^T = [x_c, y_c, \phi, \theta_r, \theta_l, \dot{\theta}_r \quad \dot{\theta}_l]^T$, kita dapat merepresentasikan constraint dengan persamaan gerak dari mobile platform dalam,

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} Sv \\ f_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ (S^T M S)^{-1} \end{bmatrix} \tau \quad \dots \quad (16)$$

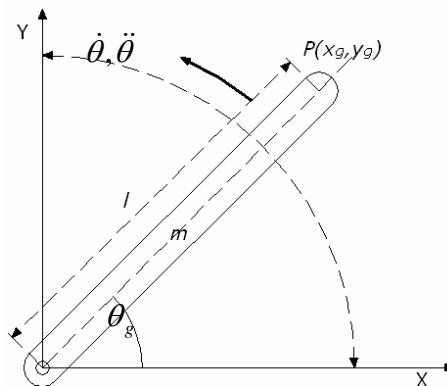
$$\dot{x} = \begin{bmatrix} Sv \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix}u \quad \dots \dots \dots (17)$$

Dengan menggunakan nonlinear feedback

$$\tau = S^T M S (u - f_2) \quad \dots \dots \dots \quad (18)$$

2. Robot manipulator

Robot manipulator adalah robot industri yang memiliki karakteristik lengan manusia. Sebuah robot manipulator dapat dimodelkan sebagai sambungan antara ruas-ruas yang disebut link. Sambungan yang menghubungkan dua buah link tersebut dinamakan joint. Ruas-ruas tersebut menggambarkan bahu, siku dan pegelangan tangan manusia. Selain itu, pada ujung dari lengan robot tersebut terdapat *end-effector* yang sering disebut *gripper* (Hartanto, 1999).



Gambar 2. Robot lengan satu sendi

(Sumber : Pitowarno, 2006)

Persamaan posisi untuk robot lengan satu sendi,

$$x_g = l \cdot \cos(\theta_g) \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

Untuk menganalisa persamaan dinamik robot lengan satu sendi digunakan metode Lagrange-Euler. Dimana untuk gerakan rotasi dapat dituliskan,

L adalah fungsi Lagravian, $L = E_K - E_P$

Dimana E_K : Energi kinetik, E_P : Energi potensial τ_i : torsi yang diaplikasikan pada robot sendi ke- i untuk mengerakkan lengan ke- i $\dot{\theta}_i$: Sudut sendi robot ke- i Koordinat P(x_g , y_g) memiliki sifat translasi (keliling) dan rotasi (pada sumbu putar), maka tenaga kinetiknya,

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_{mp}\dot{\theta}^2$$

$$I_{mp} = \frac{1}{12}ml^2; \ v = r\dot{\theta}; \ r = \frac{l}{2}$$

maka,

$$E_K = \frac{1}{2} m \left(\frac{1}{2} \dot{\theta} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{ml^2}{12} \right) \dot{\theta}^2 = \frac{1}{6} ml^2 \dot{\theta}^2 \quad \dots\dots\dots(23)$$

Tenaga potensial EP dalam robot ini adalah nol karena $P(x_g, y_g)$ tidak melakukan gerakan berputar menuju ke arah atau menjahui sumbu, maka

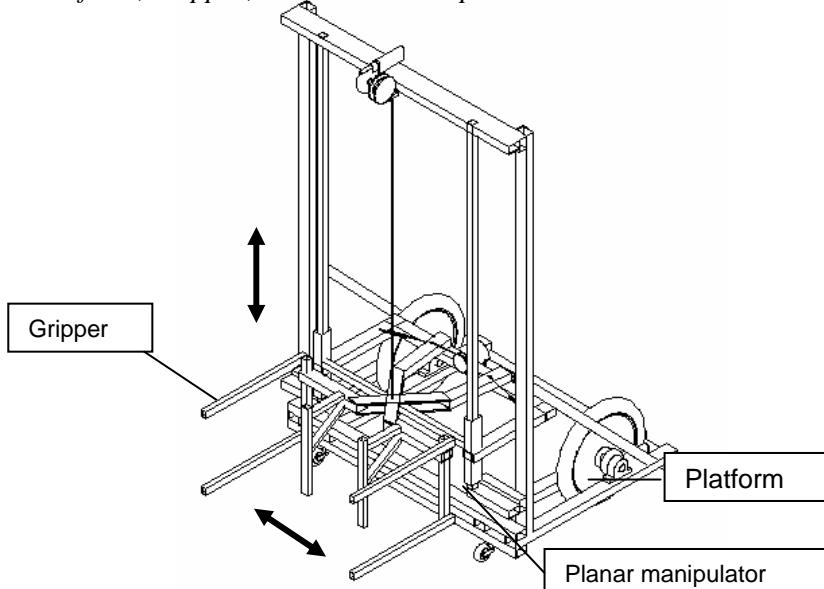
$$L = E_K - E_P = E_K - 0 = E_K$$

Dengan menggunakan persamaan 22 dapat diketahui,

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} &= \tau \text{ atau } \tau = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} \text{ atau } \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial E_K}{\partial \dot{\theta}} = \frac{\partial \left(\frac{1}{6} ml^2 \dot{\theta}^2 \right)}{\partial \dot{\theta}} = \frac{1}{3} ml^2 \dot{\theta} \\ \tau &= \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \left(\frac{1}{3} ml^2 \dot{\theta} \right)}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial \left(\frac{1}{3} ml^2 \dot{\theta} \right)}{\partial \theta} = \frac{1}{3} ml^2 \ddot{\theta} \\ \tau &= \frac{1}{3} ml^2 \ddot{\theta} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(24)$$

A. Desain mekanik

Pada bagian ini akan dibahas desain mekanik dari robot, sehingga mampu melaksanakan tugas yang diberikan. Namun pembahasannya tidak mempertimbangkan aspek perancangan elemen mesin seperti *bearing*, poros, roda gigi, dan *pulley*. Robot yang didesain memiliki tiga bagian utama yang masing-masing disebut *Platform*, *Gripper*, dan *Planar Manipulator*.



Gambar 3. Bagian utama robot

(Sumber : Dok. Pribadi)

1. Platform

Merupakan bagian utama dari robot, bagian ini merupakan tempat menempelnya dua buah roda penggerak maju-mundur dari robot. Dilengkapi juga dengan dua buah *freewheel* pada bagian depannya. Selain itu platform merupakan tempat terpasangnya sumber energi listrik & *interface* elektronik.

2. Planar manipulator

Planar manipulator merupakan bagian mesin yang bergerak keatas dan kebawah, digerakkan oleh mekanisme katrol yang mana sumber putarannya berasal dari motor. Bagian ini berguna untuk menggerakkan *gripper* dalam arah vertikal.

3. Gripper

Pada dasarnya *gripper* yang dibuat adalah manipulator dengan tipe *Join-Arm Configuration*, sehingga nantinya diagram blok dan simulasi yang dibuat mengacu pada robot lengan satu sendi. *Gripper* berguna untuk menjepit/memegang benda kerja, *gripper* memiliki dua buah jari yang bersentuhan dengan benda kerja, yang mana gerakannya mirip mekanisme *scissor bar*.

B. Perhitungan dan Analisa

Pada bagian ini perhitungan hanya dibatasi pada bagian tertentu dari robot, seperti *gripper*, *planar manipulator* dan *platform (Mobile Robot)*. Penulis tidak akan memasukkan gaya-gaya yang terjadi pada roda, poros, pulley, dan elemen mesin lainnya.

1. Gripper

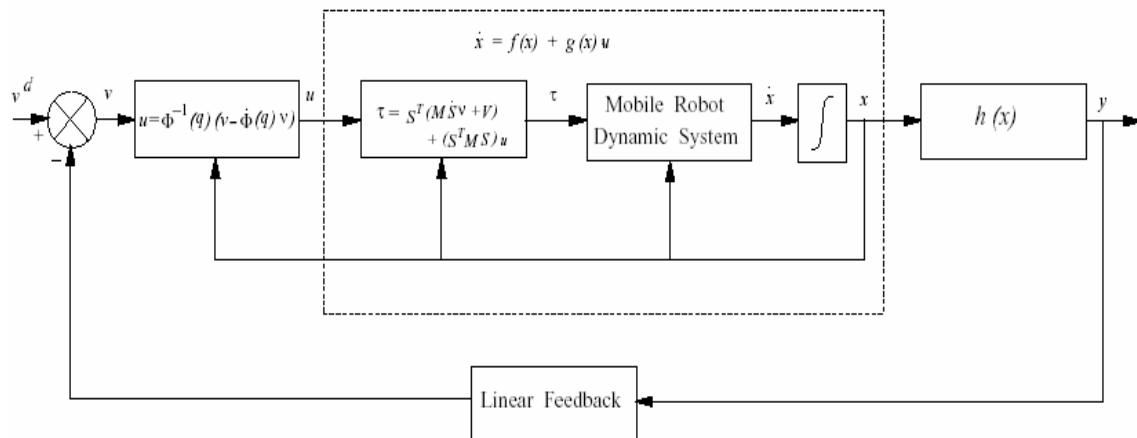
Dengan persamaan (26) dapat diperoleh gaya yang diperlukan untuk menggenggam seb-

$$\mu n_f F_g = w$$

$$F_g = 0,45 / (1.15 \times 2) = 0.19 \text{ N}$$

2. Diagram Kontrol

Diagram kontrol ini merupakan acuan dalam membuat simulasi pada software MATLAB. Diagram kontrol dibuat berdasarkan model kinematik yang digunakan, dalam hal ini Non-holonomic sistem oleh Gan Tao. Pemilihan ini didasarkan pada banyaknya variable yang dapat di atur sendiri oleh pengguna.. Sedangkan pada simulasi gripper hanya menggunakan persamaan posisi, hal ini disebabkan kerena workspace dari gripper yang terbatas. Dengan menggunakan persamaan posisi user dapat berinteraksi langsung pada aplikasi untuk menentukan posisi dari robot.



Gambar 4. Diagram Blok teknik Kendali Manipulator Robot

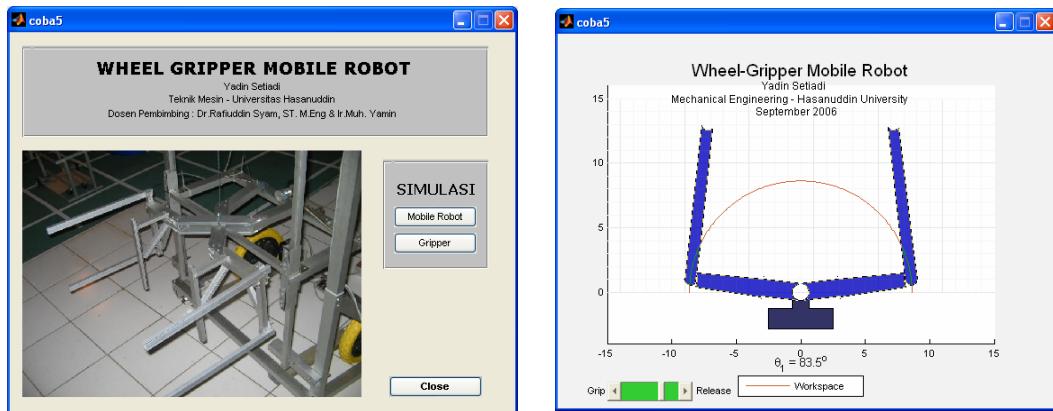
3. Hasil Aplikasi Perangkat Lunak

Simulasi ini dibuat untuk membantu dalam menganalisa pergerakan robot . User dapat meng-*customize* simulasi sesuai dengan kebutuhan, dengan mengganti variabel-variabel pada m-file. Dimana program komputer ini ditulis dalam m-file dalam sistem operasi berbasis Windows.

Berikut tampilan hasil dari simulasi *Whell-Gripper Mobile Robot*.

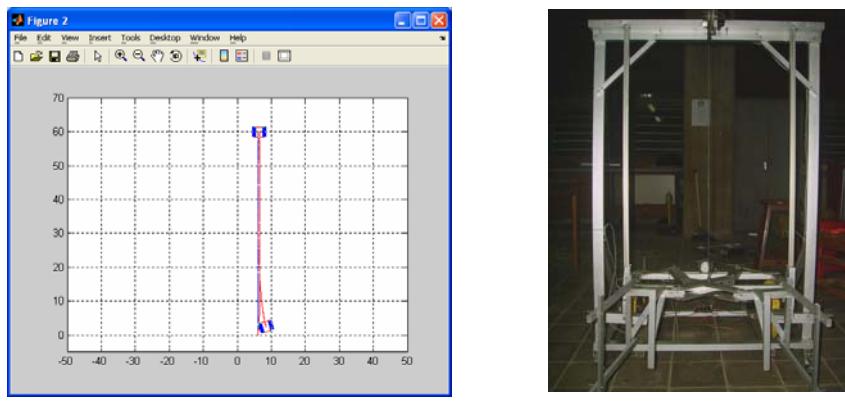
a. Menu Program

Menu berisi serangkaian pilihan yang dapat dipilih dengan tujuan menjalankan simulasi, seperti *mobile robot* dan *gripper*.



Gambar 5. Menu utama program simulasi dan Simulasi Gripper
(Sumber : Dok. Pribadi)

b. Simulasi Mobile Robot



(a) (b)
Gambar 6. Hasil simulasi Mobile Robot dengan dua titik referensi
(Sumber : Dok. Priyadi)

Pada menu ini kita dapat melihat simulasi pergerakan robot. Simulasi robot akan memperlihatkan pergerakan robot dari titik awal hingga tujuan akhir. User juga dapat menentukan sendiri titik awal dan akhir dari robot dengan mengubahnya pada m-file

6. Simulasi Gripper

c. Simulasi Gripper
Simulasi Gripper memperlihatkan bagaimana pergerakan gripper dalam menggenggam dan melepaskan sebuah objek. Dengan slider ke arah "Open" dan "Release", user dapat berinteraksi langsung dengan simulasi.

d Kinematika Manipulator

Dalam pemodelan robotik, matriks jacobian dapat digunakan untuk memperoleh persamaan gerak. Bentuk dasarnya adalah sbb:

$$X = I^\theta \quad (25)$$

dimana \mathbf{X} = matriks \mathbf{x} pada koordinat Cartesian, θ = matriks θ pada koordinat ruang sendi/sudut dan \mathbf{J} = matriks jacobian. Matriks ini dapat juga dimanfaatkan sebagai matriks transformasi antara kecepatan linier titik koordinat Cartesian dengan kecepatan sudut sendi.

$$\frac{dx}{dt} = J \frac{d\theta}{dt} \quad \text{atau} \quad \dot{x} = J \dot{\theta} \quad (26)$$

Maka matriks inversnya

$$\theta = J^{-1} X$$

Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan eksperimen dapat disimpulkan bahwa

- a. Dimensi robot keseluruhan antara lain panjang (900 mm), tinggi (1400 mm) dan lebar (980mm). Memiliki tiga bagian utama, yaitu *Platform*, *planar manipulator*, dan *Gripper*.
- b. Persamaan gerak untuk mobile robot menggunakan persamaan

$$M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) = E(q)\tau - A^T(q)\lambda \quad \tau = \frac{1}{3}ml^2\ddot{\theta}$$

Simulasi dengan menggunakan MATLAB menunjukkan bahwa kontrol PD cukup baik untuk mengarahkan robot *path* (lintasan) yang telah ditentukan. Untuk penelitian lanjutnya menambahkan fitur-fitur tambahan pada robot seperti on-board camera, sensor jarak, dan rotary encoder untuk menunjang kehandalan robot.

DAFTAR PUSTAKA

1. Craig, John. 1989. *Introduction to Robotics: Mechanism & Control*. Addison: Wesley
2. F.U, K.S., R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. 1987. *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
3. Groover, Mikell P., Mitchell Weiss, Roger N. Nagel, dan Nicholas G. Odrey. 1988. *Industrial Robotics: Technology, Programming, and Applications*. Virginia: Reston Publishing Company, Inc.
4. Hartanto, Thomas Wahyu Dwi dan Y. Wahyu Agung Prasetyo. 2004. *Analisis dan Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
5. Kreyszig, Erwin. 1993. *Matematika Teknik Lanjutan Edisi ke-6*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
6. Pitowarno, Endra. *Disain*, 2006. *Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi.
7. Rony, Peter R., Karl E. Rony dan Paul A. Rony. 1985. *Introduction to Robot Programming in Basic*. Virginia: Reston Publishing Company, Inc.
8. Rosen, Jacob 2001. Model of Robot Manipulation. Department of Electrical Engineering University of Washington.