

Rancang Bangun Prototipe Robot Pemadam Kebakaran (Revisi 01)

Rafiuddin Syam , Hasmunir dan Abdullah Mappaita

Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Jl Perintis Kemerdekaan KM 10 Makassar
e_mail Rafiuddin@unhas.ac.id and Munier_torz@yahoo.co.id

Abstrak

Robot pemadam kebakaran merupakan salah satu jenis dari Rescue robot, yang merupakan gabungan antara mobile robot dan manipulator robot. Mobile robot merupakan base dari sistem robot ini. Sedangkan manipulator robot diletakkan dibagian atas dari base dimana ujungnya dipasang nozzel yang berfungsi untuk mengalirkan fluida (air) sebagai pemadam api. Dalam pembuatan robot pemadam kebakaran ini melalui beberapa tahapan, mulai dari tahap desain robot, menghitung persamaan kinematika mobile dan manipulator robot dimana pada manipulator robot ini menggunakan sistem 2 DOF, untuk menentukan posisi lengannya digunakan metode DH Parameter. Selanjutnya tahapan pembuatan sistem kendali pergerakan robot dan tahap simulasi di arena sebagai output dari penelitian robot pemadam kebakaran ini.

Kata kunci : Fire fighting robot, mobile manipulator, 2 DOF, DH Parameter.

Pendahuluan

Tingginya tingkat kebakaran yang terjadi di kota-kota padat penduduk. Disamping itu, tingkat kesulitan dan resiko dalam menangani kondisi kebakaran sangat tinggi. Dalam skala nasional, data statistik BPS juga menunjukkan bahwa pada saat ini terdapat banyak bangunan perumahan di berbagai daerah yang rawan bahaya kebakaran. Indikatornya, banyak bangunan perumahan di daerah perkotaan yang berdesakan dalam lingkungan padat penduduk dengan lebar jalan/gang kurang dari 2 meter .

Robot Pemadam Kebakaran (*Fire Fighting Mobile Robot*) diharapkan akan menjadi solusi dalam memecahkan kesulitan penanganan kondisi kebakaran di daerah padat penduduk. Dalam merancang sebuah robot pemadam kebakaran, kita harus mempertimbangkan satu sistem mekanik yang mampu menjelajahi medan yang berat dan dapat mengatasi resiko yang dapat dialami oleh robot tersebut.

Diharapkan prototipe *Robot* ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan dapat diaplikasikan di medan sebenarnya dalam melakukan pekerjaan 3D (*Dull, Dirty & Dangerous*). Memadamkan kebakaran merupakan suatu pekerjaan yang tidak mudah karena memiliki resiko yang sangat tinggi. Bukan hanya korban kebakaran yang perlu diperhatikan, namun si pemadam kebakaran juga harus diperhatikan keselamatannya untuk menghindari jatuhnya korban yang lebih banyak lagi.

Metode Penelitian

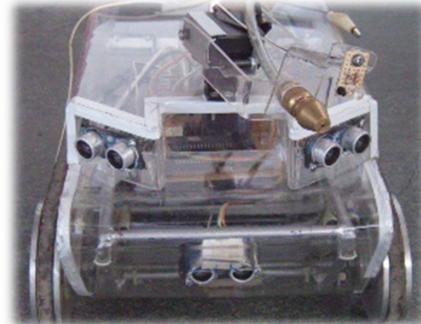
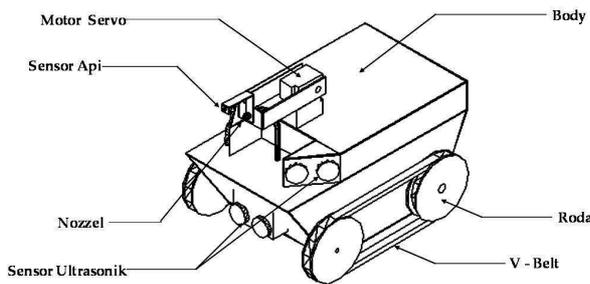
Dalam rancang bangun prototipe robot pemadam kebakaran ini, pertama dimulai dengan desain bentuk konstruksi robot yang akan dibuat dalam bentuk gambar dua dimensi dan tiga dimensi dengan kelengkapan ukuran yang diskalakan. Robot yang didesain adalah kombinasi dari Mobile dan Non Mobile. Mobile robot adalah base atau frame yang merupakan bagian utama dari robot. Jenis mobile robot yang dirancang adalah mobile robot beroda dengan type nonholonomic sedangkan nono mobile merupakan robot arm (manipulator) yang mempunyai 2-join (DOF) yang diletakkan di atas mobile robot. Di ujung manipulator yaitu pada lengan ke-2 dipasang nossel dan sensor api. Nossel digunakan untuk menyemprotkan air, sedangkan sensor api digunakan untuk mendeteksi keberadaan api.

Tahapan selanjutnya yaitu pembuatan rangkaian elektronik robot yang berfungsi untuk mengatur segala aktivitas pergerakan robot, dalam rangkaian robot pemadam kebakaran ini digunakan dua buah chip AT89S51 yang berfungsi sebagai *processor*. chip pertama berfungsi untuk mengontrol ping ultrasonic yang berfungsi untuk mengatur pola input gerakan robot. Dan chip kedua berfungsi untuk mengontrol seluruh driver robot.

Tahapan selajutnya yaitu tahap *programming*, tahap ini merupakan tahap pembuatan program yang akan menentukan aksi robot. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C dan *Assembler51*. Program yang dibuat tersebut akan dimasukkan ke dalam chip AT89S51 yang berfungsi sebagai *processor*. Kemudian tahapan terakhir yakni tahap simulasi robot yang disimulasikan langsung di arena.

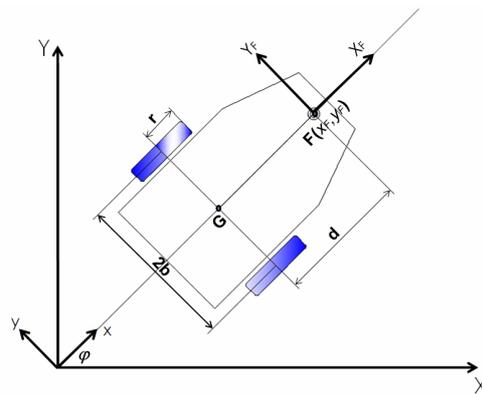
Desain Robot Penjinak Bom

Robot yang didesain adalah kombinasi dari Mobile dan Manipulator. Mobile robot adalah base atau frame yang merupakan bagian utama dari robot. Sedangkan Manipulator dengan sistem 2-Joint (DOF) diletakkan diatas mobile robot. Diujung manipulator dipasang Nozzel yang berfungsi untuk menyembrotkan fluida pemadam api.



Gbr. 01 Desain Robot Pemadam kebakaran

Gbr. 02 Bentuk Fisik Robot Pemadam Kebakaran



Gbr. 03 Mobile Robot pada koordinat X-Y

Dimensi Robot Pemadam kebakaran adalah :

- 2b Lebar robot yang diukur dari garis tengah roda kiri ke roda kanan. : 180 mm
- r Jari-jari roda : 45 mm
- d jarak antara titik tengah roda belakang dengan titik tengah roda depan : 200 mm

Mobile Robot

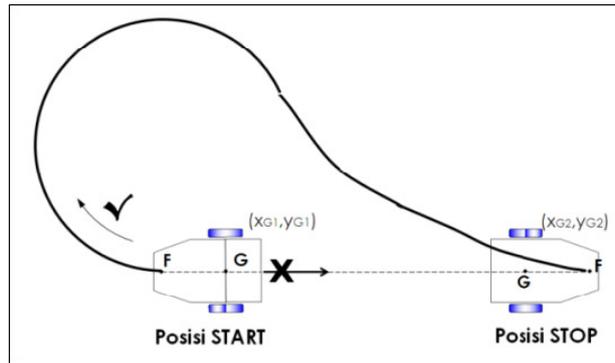
Analisis Kinematika Mobile Robot

Robot diasumsikan berada dalam kawasan 2D pada koordinat Cartesian XY (lihat gambar Mobile Robot pada koordinat X-Y). Dalam kajian kinematik ini robot diasumsikan bergerak relatif pelan dan roda tidak slip terhadap permukaan jalan. Maka komponen x dan y dapat diekspresikan dalam suatu persamaan nonholonomic sebagai berikut,

$$\dot{x}_G \sin \varphi - \dot{y}_G \cos \varphi = 0 \tag{01}$$

Untuk titik F sebagai acuan analisa, persamaan di atas dapat ditulis,

$$\dot{x}_G \sin \varphi - \dot{y}_G \cos \varphi + \dot{\varphi} d = 0 \tag{02}$$



Gbr. 03 Contoh Manuver DDMR
Sumber Pitowarno (2006)

Perpindahan kedudukan robot dari START ke STOP bila dipandang pada titik G adalah perpindahan dari koordinat ke secara translasi. Namun hal ini tidak dapat dilakukan sebab robot harus dikontrol agar bergerak maju, sehingga ia harus membuat manuver belok membentuk lingkaran terlebih hingga pada posisi yang memungkinkan untuk mengarahkannya ke koordinat. Oleh karena itu diperlukan titik acuan F yang berada di luar garis yang menghubungkan kedua roda agar sudut dapat dihitung.

Formulasi Persamaan Kinematika Mobile Robot

Bentuk umum persamaan kinematik untuk DDMR ini dapat dinyatakan dalam persamaan kecepatan sebagai berikut:

$$\dot{q}(t) = T_{NH}(q) \dot{\theta}(t) \tag{03}$$

Dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_F \\ \dot{y}_F \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -d \sin \theta \\ \sin \theta & d \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\theta}_L \\ \dot{\theta}_R \end{bmatrix} \tag{04}$$

Untuk mengetahui kinematik inversnya (Kecepatan sudut) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\dot{\theta}_t = T_{NH}^{-1}(q) \cdot \dot{q}(t) \tag{05}$$

Untuk percepatan linear didapat dengan mendifferensialkan persamaan kecepatan linear dalam bentuk matriks didapat :

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_F \\ \ddot{y}_F \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta - \cos \theta & -d \cos \theta + d \sin \theta \\ \cos \theta - \sin \theta & -d \sin \theta - d \cos \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_L \\ \ddot{\theta}_R \end{bmatrix} \tag{06}$$

Atau :

$$\ddot{q}(t) = T_{NH}(\dot{q}) \cdot \ddot{q}(t) \tag{07}$$

Dengan kinematik invers maka percepatan sudut ($\ddot{\theta}(t)$) dapat diketahui sebagai berikut :

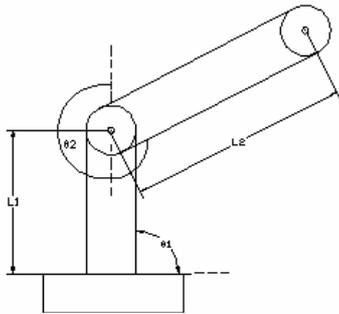
$$\ddot{\theta}_t = T_{NH}^{-1}(\dot{q}) \cdot \ddot{q}(t) \tag{08}$$

Manipulator Robot

Analisis Kinematika Manipulator

Prinsip dasar representasi D-H adalah melakukan transformasi koordinat antar dua link yang berdekatan. Hasilnya adalah suatu matrix (4 x 4) yang menyatakan system koordinat dari suatu link dengan link yang terhubung pada pangkalnya (link sebelumnya).

Aplikasi perhitungan DH parameter dapat kita lihat pada perhitungan parameter Manipulator (2-DOF) Robot pemadam kebakaran dibawah ini:



Tabel 01 : DH Parameter

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	-90	L_1	0	θ_2

Rumus umum adalah :

$${}^{i-1}T_i = \begin{pmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Dari tabel DH Parameter diperoleh transformasi matriks untuk setiap sumbu sebagai berikut:

- Transformasi matriks untuk sumbu 1 (0T_1) adalah:

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 & 0 \\ \sin\theta_1 \cos 0 & \cos\theta_1 \cos 0 & -\sin 0 & -\sin 0 \cdot 0 \\ \sin\theta_1 \sin 0 & \cos\theta_1 \sin 0 & \cos 0 & \cos 0 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (09)$$

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

- Transformasi matriks untuk sumbu 2 (1T_2) adalah:

$${}^1T_2 = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & L_1 \\ \sin\theta_2 \cos-90 & \cos\theta_2 \cos-90 & -\sin-90 & -\sin 0 \cdot 0 \\ \sin\theta_2 \sin-90 & \cos\theta_2 \sin-90 & \cos-90 & \cos 0 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$${}^1_2T = \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Sasaran untuk posisi (x,y) dan arah (θ_1, θ_2) di dalam transformasi matriks homogenous didefinisikan sebagai berikut :

$${}^B_wT_{Goal} = {}^{i-1}_iT = \begin{pmatrix} c_\phi & -s_\phi & 0 & x \\ s_\phi & c_\phi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$${}^0_2T = {}^0_1T \cdot {}^1_2T = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Berdasarkan definisi di atas ada dua parameter yang berpengaruh menentukan posisi (x,y) dan arah (θ_1, θ_2) dari setiap proses rotasi dan translasi dari setiap sumbu, yaitu:

- untuk penentuan posisi (x,y) :

$$X = P_x \text{ dan } Y = P_y$$

. Untuk penentuan arah sudut (θ_1, θ_2) yang terbentuk adalah :

$$c_\phi = r_{11} \text{ dan } s_\phi = r_{21}$$

Dari gambar konfigurasi manipulator 2 DOF posisi dan arah sudut dari setiap manipulator 2 DOF posisi dan arah sudut dari setiap pergerakan lengan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan – persamaan DH Parameter

1. Pergerakan lengan dari dasar (base) menuju sumbu 2 yaitu :

Persamaan DH Parameternya :

$${}^0_2T = {}^0_1T \cdot {}^1_2T = \begin{pmatrix} c_1c_2 & -c_1s_2 & -s_1 & c_1L_1 \\ s_1c_2 & -s_1s_2 & c_1 & s_1L_1 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Dari penyelesaian matriks di atas, maka diperoleh bentuk persamaan umum dari robot

$$P_x = c_1L_1$$

$$P_y = s_1L_1$$

2. Pergerakan lengan dari dasar menuju *end effektor*:

Kinematika maju robot dapat dijabarkan dengan mengacu posisi end effektor merupakan hasil dari gerakan rotasi dan translasi sepanjang P_x, P_y dan P_z . Persamaan tersebut dapat ditulis:

$$\begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P'_x \\ P'_y \\ P'_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Berdasarkan konfigurasi manipulator 2 DOF, maka didapat persamaan kinematik maju sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 c_2 & -c_1 s_2 & -s_1 & c_1 L_1 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & c_1 & s_1 L_1 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} L_2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

Sehingga diperoleh :

$$x_T = c_1 L_1 + L_2 c_1 c_2$$

$$y_T = s_1 L_1 + L_2 s_1 c_2$$

Kinematika Invers

Kinematika Invers dapat dijabarkan, Jika (x_T, y_T) , dan (x, y) , diketahui maka θ_1 dan θ_2 dapat dicari.

Daftar Pustaka

Chaos: A Robot for all 'Dull, Dirty and Dangerous' Tasks, Robotster Where Robot Play....

<http://www.robotster.org/entry/chaos-a-robot-for-all-dull-dirty-and-dangerous-tasks>

Implikasi UU Bangunan Gedung, Departement Pekerjaan Umum....

http://www.pu.go.id/Ditjen_mukim/habitat/pemenang/implikasi.htm

Pitowarno, Endra. 2006. *Robotika Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Andi, Yogyakarta

Rosen, Jacob. 2001. *Model of Robot Manipulation*. Department of Electrical Engineering University of Washington.

Rivin, Eugene, 1976. *Mechanical Design of Robots*. McGraw-Hill Book Company.