

Aplikasi Model *Mobile Manipulator* Pada Robot Penjinak Bom

Rafiuddin Syam dan Randis

Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. P. Kemerdekaan Km 10 Makassar, Indonesia 90245
E-mail: rafiuddinsyam@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun robot penjinak bom. Dalam paper ini dihitung pula kinematika manipulator dan mobile robot sebagai bagian dasar. Selanjutnya silakukan simulasi dengan menggunakan program matlab. Robot ini pada lengan terdiri dari 5 derajat kebebasan (DOF) dimana dapat mengangkat untuk beban 0,5 kg. Perhitungan kinematika mobile manipulator selanjutnya di formulasikan dan di simulasikan pada program matlab, selanjutnya merancang robot penjinak bom sesuai dengan perhitungan dan simulasi yang telah di lakukan. Sedang untuk pergerakan kecepatan mobile robot dilakukan secara non-holonomic sistem, dimana kedua roda bergerak indenendent. Sedang untuk pengujian *tracking trajectory*, dilakukan pada dua operator yang berbeda dengan lintasan yang sama.

Keywords: Mobile robot, *mobile manipulator*, robot penjinak bom

Pendahuluan

Aksi terorisme yang terjadi belakangan ini semakin meningkat terutama di indonesia. Jenis bom yang digunakan juga sudah bervariasi, mulai dari jenis bom dengan daya rendah sampai dengan penggunaan bom dengan daya ledak yang cukup besar seperti: bom Bali pada tahun 2002, bom di JW Marriot pada tahun 2003, bom di depan kedutaan besar Australia pada tahun 2004 dan bom Bali II pada tahun 2005, dan yang terakhir bom solo pada tahun 2012 [1]. Bahkan aksi terorisme berupa bom ini tidak hanya terjadi di kota-kota besar akan tetapi sudah merambah ke perkampungan dan pedesaan.

Salah satu langkah untuk mengurangi terjadinya ledakan bom adalah menjinakkan bom tersebut. Namun pekerjaan menjinakkan bom adalah salah satu pekerjaan yang memiliki resiko tinggi [2] Sewaktu-waktu bom tersebut dapat meledak, sebagaimana peristiwa bom buku yang memakan korban seorang anggota polisi [3]. Oleh karena itu untuk mengurangi resiko jatuhnya korban jiwa diperlukan sebuah alat yang dapat menggantikan tugas manusia.

Salah satu hal yang dapat dibuat untuk menggantikan tugas manusia dalam pelaksanaan tugas tersebut adalah Robot. Robot yang sering digunakan untuk pelaksanaan penjinak bom adalah jenis dari *security robot*. *Security robot* yang paling

sering digunakan untuk menjinakkan bom adalah *mobile robot* yang dilengkapi lengan manipulator dengan gripper diujungnya yang berfungsi untuk memindahkan bom tersebut ke tempat yang aman untuk dijinakkan [4]. Pada prinsipnya robot penjinak bom ini sama dengan security robot yaitu gabungan antara *mobile robot* dan *manipulator robot*. *Mobile robot* merupakan base dari sistem ini. Sedangkan *manipulator robot* diletakkan dibagian atas dari base, yang berfungsi mirip lengan manusia.

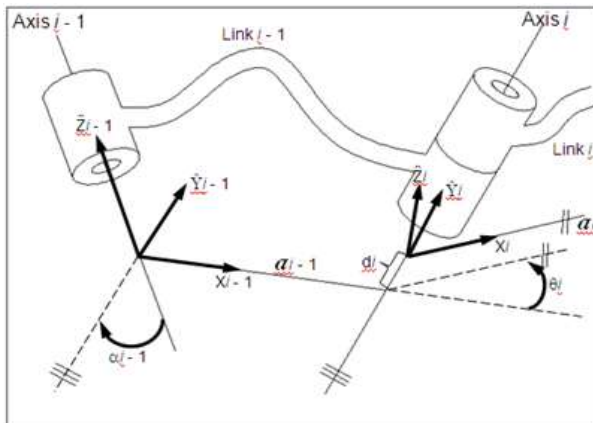
Problem yang muncul saat ini adalah belum adanya robot penjinak bom dengan harga yang terjangkau dengan kemampuan yang menjanjikan. Robot penjinak bom yang sering digunakan untuk pertahanan keamanan di indonesia adalah robot penjinak bom dari amerika yang memiliki harga yang sangat tinggi [5]. Sedangkan apabila dibandingkan dengan mendesain dan membuat robot penjinak bom sendiri kita dapat menggunakan biaya yang lebih murah tetapi fungsi yang sama, sehingga dapat menghemat pengeluaran negara dalam bidang pertahanan dan keamanan.

Pada penelitian sebelumnya, digunakan robot penjinak bom dengan menggunakan manipulator 4-Joint (DOF) yang didapat dengan metode DH Parameter dengan sistem kontrol berbasis wireless, dengan kontrol cukup baik untuk mengarahkan robot *path* (lintasan) yang telah ditentukan [6]. Untuk itu penulis tertarik untuk

mendesain suatu robot. Dalam hal ini adalah robot penjinak bom dengan menggunakan manipulator 5-Joint (DOF) yang dapat membantu manusia dalam menjinakkan bom demi mengurangi jatuhnya korban jiwa. Selain itu diharapkan dengan diciptakannya robot ini dapat menghemat pengeluaran negara dalam pembelian robot penjinak bom yang sangat mahal.

Kinematika Robot Manipulator

Analisis persamaan kinematik dapat diselesaikan dengan Metoda Denavit-Hartenberg Parameters (DH Parameter). Suatu cara khas representasi analisa hubungan gerak rotasi dan translasi antara lengan-lengan yang terhubung dalam suatu manipulator telah diperkenalkan oleh Denavit dan Hartenberg [7]. Meskipun telah lima dasawarsa yang lalu, metoda ini masih banyak digunakan utamanya untuk pemrograman robot-robot manipulator di industri. Mereka memperkenalkan suatu metoda yang berguna untuk menetapkan suatu sistem koordinat berorientasi *body* untuk setiap link/lengan yang terhubung dalam suatu struktur hubungan seperti rantai.



Gambar 1. Parameter Denavit-Hartenberg [7]

Prinsip dasar representasi D-H Parameter adalah melakukan transformasi koordinat antara 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). Dalam konfigurasi serial, koordinat (ujung) link-1 dihitung berdasarkan sendi-0 atau sendi pada tubuh robot. Sistem koordinat link-2 dihitung berdasarkan posisi sendi-1 yang berada di ujung link-1 dengan mengasumsikan link-1 adalah basis gerakan link-2. demikian seterusnya, link-3 dihitung berdasarkan link-2, hingga link ke-(n) dihitung berdasarkan link ke-(n-1). Dengan cara ini

maka tiap langkah perhitungan atau transformasi hanya melibatkan sistem 1 DOF saja. Terakhir, posisi koordinat tangan atau posisi ujung robot (*end effector*) akan dapat diketahui. Representasi DH Parameter menggunakan 4 buah parameter, yaitu θ , α , d dan a . untuk robot dengan n -DOF maka keempat parameter itu ditentukan hingga yang ke- n . Batasan-batasan dari Parameters Denavit-Hartenberg adalah : α_i = jarak dari \hat{Z}_i ke \hat{Z}_{i+1} diukur sepanjang \hat{X}_i , α_i = sudut antara \hat{Z}_i ke \hat{Z}_{i+1} diukur sekitar \hat{X}_i , d_i = jarak dari \hat{X}_{i-1} ke \hat{X}_i diukur sepanjang \hat{Z}_i , θ = sudut antara \hat{X}_{i-1} ke \hat{X}_i diukur sekitar \hat{Z}_i .

Aplikasi perhitungan DH parameter dapat kita lihat pada Manipulator Tiga Sendi.

Rumus umum adalah :

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

Kinematika Mobile Robot

Mobile robot berarti robot yang dapat bergerak ke tempat lain, dengan jarak yang agak jauh. *Mobile robot* banyak digunakan pada aplikasi pertahanan dan keamanan, dan penjelajahan lingkungan yang ekstrim. *Rescue robot* dari *International Rescue System Institute (IRS)* merupakan salah satu *mobile robot* yang dipergunakan untuk keperluan SAR (Search and Rescue), khususnya pada bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempa bumi dan ledakan. Robot ini dikendalikan oleh seorang operator.

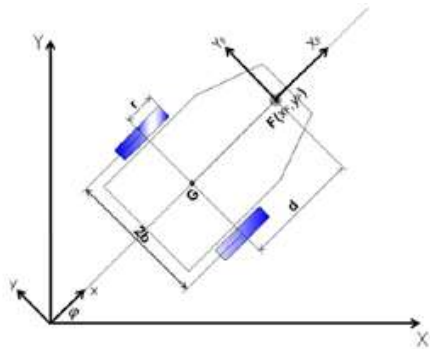
Mobile robot dengan *operator oriented* adalah pengenalan gerakan dari robot yang membutuhkan seorang operator. Jadi seluruh gerakan robot untuk memindahkan tubuhnya tergantung dari instruksi yang diberikan oleh seorang operator. Sistem ini lebih banyak dipakai untuk aplikasi dilapangan, dibandingkan sistem full otomatis, disebabkan oleh keadaan lingkungan yang tidak dapat ditebak.

Contoh aplikasi yang lain dapat dijumpai dalam peralatan militer. Robot penjinak bom (*bomb disposal robot*) justru dianggap lebih aman jika dikendalikan oleh operator. Setidaknya hingga sekarang, masih belum dijumpai robot penjinak bom yang sepenuhnya dapat bergerak secara otomatis. Alasannya adalah bahwa penggunaan robot otomatis dapat lebih mencelakakan jika

robot gagal berfungsi dan dapat bertindak liar. *Mobile Robot* adalah konstruksi robot yang ciri khasnya mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain.

Secara umum, *mobile robot* terdiri atas komponen mekanik dan komponen elektronik. Komponen mekanik terdiri atas motor penggerak yang dihubungkan ke poros roda (*Wheel robot*), Tracking Wheel (robot yang menggunakan sabuk atau belt) dan mekanisme rangka. Sedangkan untuk komponen elektronik terdiri atas baterai, sensor dan kontroler. Baterai sebagai sumber tenaga, sensor yang bertugas mendeteksi (hasil) gerakan atau fenomena lingkungan yang diperlukan oleh sistem kontroler yaitu software yang berisi program kemudi.

Pada gambar 2, Robot diasumsikan berada dalam kawasan 2D pada koordinat Cartesian XY



Gambar 2. DDMR pada medan 2D cartesian [8]

Parameter-parameter dalam gambar dapat didefinisikan sebagai ϕ = sudut arah hadap robot, $2b$ = lebar robot yang diukur dari garis tengah roda ke roda, jari-jari r roda (roda kiri dan kanan adalah sama dan sebangun), jarak antara titik tengah d antara 2 roda, G dengan titik acuan F , koordinat (x,y) acuan di tubuh robot terhadap sumbu XY. 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:

$$\dot{x}_G \sin \phi - \dot{y}_G \cos \phi = 0 \quad (2)$$

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

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

Masalah klasik dalam kontrol kinematik DDMR ini adalah bahwa ia memiliki dua aktuator, namun parameter kontrolnya lebih dari dua, yaitu x untuk gerakan ke arah X (1 DOF). Inilah ciri khas dari sistem nonholonomic.

Dari persamaan (3) nampak bahwa derajat kebebasan dalam kontrol kinematiknya berjumlah tiga, yaitu (x,y,ϕ) karena ketiga parameter ini perlu dikontrol secara simultan untuk mendapatkan gerakan nonholonomic. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 3, di bawah.

Perpindahan kedudukan robot dari STAR ke STOP bila dipandang pada titik G adalah perpindahan dari koordinat Gambar 5. Gambar tampak dan isometri (x_{G1}, y_{G1}) ke (x_{G2}, y_{G2}) 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 (x_{G2}, y_{G2}) . Oleh karena itu diperlukan titik acuan F yang berada di luar garis yang menghubungkan kedua roda agar sudut hadap dapat dihitung.

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

$$\dot{q}(t) = T_{NH}(q)\dot{\theta}(t) \quad (4)$$

dimana sistem koordinat umum robot \dot{q} ,

$$\dot{q} = [x_F, y_F, \phi]^T \text{ atau } \dot{q} = \begin{bmatrix} x_F \\ y_F \\ \phi \end{bmatrix}$$

sedang, kecepatan radial (v = Kecepatan linier dan ω = Kecepatan sudut) dan Matriks transformasi nonholonomic T_{NH} , diperoleh

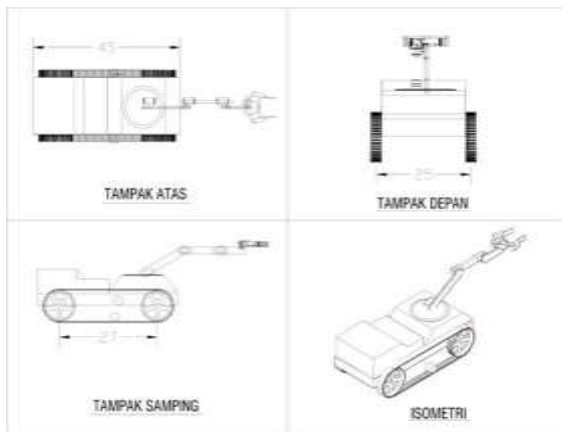
$$\dot{\theta} = [v, \omega]^T \text{ atau } \dot{\theta} = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}$$

Pelaksanaan penelitian ini meliputi menggambar desain robot penjinak bom dengan menggunakan program autocad, membuat persamaan kinematik dan dinamika dari robot penjinak bom, kemudian melakukan simulasi pada program Matlab, Merakit system mekanik dari Robot penjinak bom sesuai dengan gambar dan rancangan yang telah di buat. Selanjutnya untuk system elektrik, membuat program penggerak motor berdasarkan nilai-nilai yang telah diperoleh sebelumnya dari pengujian dikomputer, selanjutnya di download ke mikrokontroler.



Gambar 4. Model Robot Penjinak Bom dengan gripper

Pada gambar 4, terlihat model dari robot penjinak bom. Jenis roda menggunakan tracking dan terdapat manipulator dengan 5 DOF.



Gambar 5. Isometri dari Model Robot Penjinak Bom,

Dari data yang diperoleh dan hasil perhitungan kinematika manipulator, diperoleh $\theta_1 = 47,5003^\circ$, $\theta_2 = 226,9114^\circ$, $\theta_3 = 85,5884^\circ$. Penelitian ini memperlihatkan nilai untuk kinematika manipulator dan kinematika mobile robot, analisis persamaan kinematik dengan menerapkan persamaan DH parameter di perlihatkan pada tabel 1.

Dengan menerapkan rumus (1), diperoleh tabel DH parameter 5 derajat kebebasan [9]. Dari tabel ini, akan diperoleh transformasi matriks untuk sumbu 1 sampai dengan sumbu 5.

Tabel 1. DH parameter 5 derajat kebebasan

I	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	47,5003
2	0	0,185	0	226,9114
3	0	0,18	0	85,5884
4	0	0,097	0	90
5	90	0,05	0	0

Transformasi matriks untuk Sumbu 1 (0T_1)

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} 0,676 & -0,737 & 0 & 0 \\ 0,737 & 0,676 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Transformasi matriks untuk Sumbu 2 (1T_2)

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} -0,683 & 0,73 & 0 & 0,185 \\ -0,73 & -0,683 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Transformasi matriks untuk Sumbu 3 (2T_3)

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} 0,077 & -0,997 & 0 & 0,18 \\ 0,997 & 0,077 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Transformasi matriks untuk Sumbu 4 (3T_4)

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0,097 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Transformasi matriks untuk Sumbu 5 (4T_5)

$${}^4T_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0,05 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Setelah memperoleh nilai transformasi matriks untuk setiap sumbu, selanjutnya dilakukan perkalian matriks untuk mendapatkan nilai dari kinematika manipulator. Sehingga diperoleh:

$${}^0T_5 = \begin{bmatrix} -0,707 & 0 & 0,707 & 3,021 \\ 0,707 & 0 & 0,707 & 2,564 \\ 0 & 1 & 0 & 3,65 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Untuk rumusan inverse kinematika : $L_1 =$

$$0,42, L_2 = 0,21 \\ x_3 = 0,29990, y_3 = 0,10028 \\ x_2 = 0,28375, y_2 = 0,30966$$

Untuk menentukan Sudut θ_2

$$\cos \theta_2 = (x_3^2 + y_3^2 - L_1^2 - L_2^2) / (2L_1L_2) \\ \sin \theta_2 = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_2} \\ \theta_2 = \text{atan2}(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \\ \theta_2 = \theta_2 \times 180/\pi \text{ berada pada Kuadran 2} \\ \theta_2 = 180 + (180 - \theta_2) \text{ berada pada Kuadran 3} \\ \theta_2 = 2,3228^\circ, \theta_2 = 133,0886^\circ, \theta_2 = 226,9114^\circ$$

Menentukan Sudut θ_1

$$k_1 = (L_1 + L_2 \times \cos(\theta_2)) \\ k_2 = L_2 \times \sin(\theta_2) \\ \theta_1 = \text{atan2}(y_3, x_3) - \text{atan2}(k_2, k_1) \\ \theta_1 = \theta_1 \times 180/\pi = \theta_1 = 47,5003^\circ$$

Menentukan Sudut θ_3

$$x_5 = 0,57990; \\ L_3 = 0,08; \quad L_4 = 0,2;$$

kemudian menggunakan langkah sebagai berikut:

$$\cos \pi = (x_5 - L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) - L_1 \cos(\theta_1)) / (L_3 + L_4) \\ \phi = \text{acosd}(\cos \pi) + 360 \\ \theta_3 = \pi - \theta_1 - \theta_2 = 85,5884$$

Analisa Kinematika Mobile robot

Untuk menganalisa kinematika dari mobile robot Data-data yang diperoleh untuk perhitungan kecepatan sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter mobile robot

Parameter	2b	r	d	θ
Nilai	0,29	0,06	0,73	45°

$$\dot{\theta}_L = \dot{\theta}_R = 400 \text{ rpm} = 13,33 \pi \text{ rad/s}$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\theta}^2 \cdot r = 13,33^2 \cdot 0,06 = 10,66 \pi^2 \text{ rad/s}^2$$

Bentuk umum persamaan kinematika mobile [8], maka diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\dot{\theta}_L = \dot{\theta}_R = 400 \text{ rpm} = 13,33 \pi \text{ rad/s}$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\theta}^2 \cdot r = 13,33^2 \cdot 0,06 = 10,66 \pi^2 \text{ rad/s}^2$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_F \\ \ddot{y}_F \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -15,07 \\ -5,59 \\ 10,66 \end{bmatrix}$$

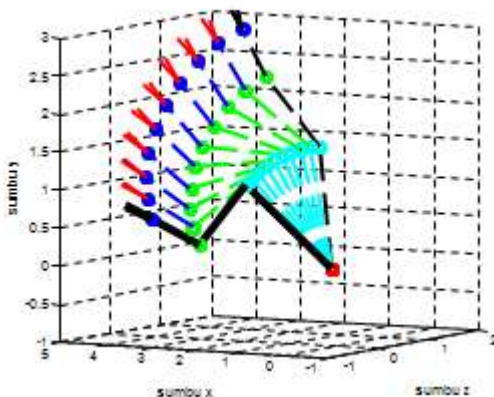
Simulasi pada Program matlab

Formulasi dari hasil perhitungan kinematika manipulator selanjutnya di Simulasi pada proram matlab. Pada gambar 6 ditunjukkan simulasi pergerakan lengan pada program matlab dengan perubahan sudut pada $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, simulasi berjalan dengan baik sesuai dengan hasil formula perhitungan kinematika manipulator dan mobile manipulator yang telah di hitung sebelumnya.

Kesimpulan

Dari hasil yang dicapai pada ulasan diatas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Persamaan kinematika untuk robot lengan dapat diturunkan dengan menggunakan metode DH parameter.
2. Simulasi pada program matlab berjalan dengan baik sesuai dengan hasil formula perhitungan kinematika manipulator dan mobile manipulator yang telah dihitung sebelumnya.
3. Pengujian dengan medan yang tidak teratur berhasil dilakukan dengan kecepatan rata-rata 0,3 m/s.



Gambar 6. Simulasi dengan matlab untuk manipulator.

Daftar Pustaka

- [1] Hutama, A. (2013). Terorisme_di_Indonesia (Online). (http://id.wikipedia.org/wiki/Terrorisme_di_Indonesia).
- [2] Budiarto, W. (2013, Maret 20). <http://ilmuti.com/robot-penjinak-com.html>.
- [3] Winarto, Y. (2011, Maret 15). <http://nasional.kontan.co.id/news/beginilah-ronologis-bom-utan-kayu-1>.
- [4] Rahman, R. (2011). <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/452/jbptuniko mpp-gdl-syaehubuld-22551-9-11.unik-i.pdf>.
- [5] Igun. (2011). The densus 88 indonesian special squad robotic (Online). (<http://my.opera.com/igun/blog/2011/05/28/the-densus-88-indonesian-special-squad-robotic>).
- [6] Suwarno, Analisis Kinematika Mobile Manipulator Pada Robot Penjinak Bom [tesis]. Makassar: Universitas Hasanuddin; 2008.
- [7] Rosen, J. (1989). Model of Robot XE "Robot" Manipulation : Introduction & Basic Ideas – Speed Description & Transformation. Washinton: Department of Electrical Engineering - University of Washinton.
- [8] Endra, P. (2006). Disain, control, dan Kecerdasan Buatan XE "Kecerdasan, buatan" . Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- [9] Craig, John. 1989. Introduction to Robotics: Mechanism & Control. Addison: Wesley.