

## KONTROL POSISI ROBOT MANIPULATOR PLANAR TIGA DERAJAT KEBEBASAN BERBASIS VISUAL

*Darwison, M. Ilhamdi Rusydi dan Bentar*

Laboratorium Elektronika Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas

Email: [darwison@ft.unand.ac.id](mailto:darwison@ft.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan membuat kontrol posisi robot manipulator planar berbasis visual dengan menggunakan sensor kamera sebagai pendeteksi keberadaan objek. Dengan menerapkan metoda Jacobian Citra akan membuat pergerakan robot lebih cepat sampai ke objek yang terdeteksi. Input dari Jacobian citra didapatkan dari tangkapan piksel benda oleh Kamera. Posisi dicapai dengan pengaturan kecepatan sudut dari hasil Jacobian robot untuk masing-masing joint robot yang menggunakan servomotor. Mikrokontroler digunakan sebagai pengontrol pergerakan dan komunikasi antara kamera dengan komputer melalui modul wireless. Metoda Jacobian citra dan Jacobian robot di proses di Komputer. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pergerakan dipengaruhi oleh nilai kedalaman benda terhadap kamera (Z). Dengan nilai  $Z=1$  error piksel terkecil [-1 0] dan waktu pencapaian 6s. Sedangkan untuk  $Z=10$  membuat tingkat akurasi menjadi berkurang dengan error piksel terkecil [-9 -1] dan waktu pencapaian 8s.

*Kata Kunci : robot manipulator planar, Jacobian dan kontrol posisi.*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Robot manipulator (Lewis, 2004)<sup>[5]</sup> adalah robot yang memiliki sistem mekanik yang terdiri dari susunan lengan, sendi dan dapat menghasilkan gerakan yang terkontrol (Ermadi, 2007)<sup>[2]</sup>. Hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh J. Cid-Monjaraz dkk (2007)<sup>(6)</sup> dengan judul “*A visual servoing controller for robot manipulators*” membahas mengenai pengontrolan pergerakan robot manipulator planar berbasis visual. Selanjutnya adalah penelitian dari Paulo Goncalves dkk (2007)<sup>(4)</sup> dalam *paper* mereka yang berjudul “*Comparing Visual Servoing Architecture for Planar Robot*” membahas mengenai analisa kinematik pada robot manipulator planar. Namun rancangan robot manipulator planar ini masih terbatas pada *tracking* objek tanpa bisa melakukan pemindahan objek dari satu titik ke titik yang lain. Selain itu, robot manipulator planar ini tidak dapat dikontrol dari jarak yang jauh karena sistem komunikasi data masih menggunakan kabel dan posisi kamera yang tidak terintegrasi pada mekanik robot. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian untuk merancang dan Implementasi

kontrol posisi robot manipulator planar tiga derajat kebebasan berbasis visual.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Ada dua tujuan penelitian, yakni:

1. Agar dapat merancang dan membuat sebuah sistem kontrol posisi robot manipulator planar tiga derajat kebebasan.
2. Agar dapat robot manipulator planar bergerak ke posisi yang tepat.

### 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini adalah suatu usaha untuk dapat memberlakukan robot manipulator planar bergerak ke posisi yang tepat dengan menerapkan metoda Jacobian citra dan Jacobian robot. Keberhasilan metoda ini sebagai materi penelitian diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih efektif dalam menyelesaikan masalah, sehingga dapat berguna untuk kemajuan dunia industri dan khususnya bidang yang berhubungan dengan masalah kontrol robot manipulator planar.

### 1.4 Batasan Masalah

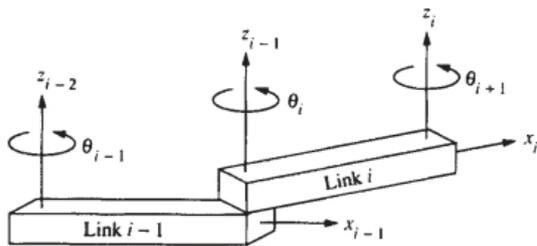
Adapun masalah yang akan diteliti yaitu Bagaimana merancang kontrol posisi (melibatkan kamera sebagai sensor posisi

objek) robot manipulator planar agar dapat mengangkat beban (maksimal 0,5 gram) berbentuk bola sejauh jangkauan lengan robot sehingga menghasilkan pergerakan robot ke posisi yang dituju dengan tepat.

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Matrik Transformasi Homogeneous**

Adapun matrik transformasi homogeneous untuk gambar 1 adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.** Hubungan link pada sebuah manipulator (Monjaraz 2007)<sup>[6]</sup>.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \theta_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Atau

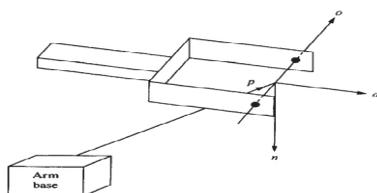
$$A_i = \begin{bmatrix} R_i & P_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

dimana  $R_i$  adalah sebuah matrik rotasi dan  $P_i$  adalah sebuah vector translasi.

**2.2 Forward Kinematik**

Posisi dan arah dari ujung lengan seperti gambar 2 berpengaruh pada kerangka koordinat acuan manipulator yang diperoleh dari matrik T, dimana matrik T adalah sebagai berikut (Sciavicco,1996)<sup>[9]</sup>.

$$T = \begin{bmatrix} n & o & a & p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$



**Gambar 2.**Ujung lengan robot

Vektor  $n, o, a,$  dan  $p$  yang diperlihatkan pada gambar 2 di atas. Dimana,  $a$  adalah vektor pendekatan dari *end-effector* (ujung lengan),  $o$  adalah vektor arah,  $n$  adalah vektor normal, dan  $p$  adalah vektor posisi (Rusydi, 2008)<sup>[8]</sup>.

**2.3 Jacobian**

Matrik jacobian dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial q_1} & \frac{\partial x}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial x}{\partial q_i} \\ \frac{\partial y}{\partial q_1} & \frac{\partial y}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial y}{\partial q_i} \\ \frac{\partial z}{\partial q_1} & \frac{\partial z}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial z}{\partial q_i} \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan  $\dot{y}$  adalah kecepatan kartesian  $\dot{y}$  adalah

$$\dot{y} = \frac{\partial h}{\partial q} \dot{q} = J\dot{q} \quad (5)$$

Dan  $J(q)$  disebut dengan Jacobian Manipulator. Secara umum kecepatan kartesian dapat dituliskan,

$$\dot{y} = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6)$$

dimana  $v = [v_x \ v_y \ v_z]^T$  adalah kecepatan linear dan  $\omega = [\omega_x \ \omega_y \ \omega_z]^T$  adalah kecepatan sudut, secara singkat  $\omega_x$  dapat dikatakan sebagai kecepatan sudut terhadap sumbu x<sup>[8]</sup>.

Dengan menurunkan persamaan (5) maka diperoleh percepatan dengan formula sebagai berikut:

$$\ddot{y} = J\ddot{q} + \dot{J}\dot{q} \quad (7)$$

**2.4 Jacobian Robot**

Turunan pertama persamaan kinematik maju di atas menghasilkan persamaan kinematik diferensial dan matriks Jacobian Robot  $J_R$  yang menyatakan kecepatan ujung lengan  $v$  terhadap kecepatan joint  $\dot{q}$  sebagai berikut<sup>[8]</sup>.

$$v = \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \omega \end{bmatrix} = J(q)\dot{q} \quad (8)$$

$$J_R = \begin{bmatrix} J_P \\ J_o \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dengan  $z_{i-1}$  adalah vektor unit pada koordinat joint  $i$ . Pada Joint revolute kecepatan rotasinya adalah:

$$\omega_{i-1,i} = \dot{v}_i z_{i-1} \quad (10)$$

$$\dot{q}_i J_{oi} = \dot{v}_i z_{i-1} \quad (11)$$

$$J_{oi} = \dot{v}_i z_{i-1} \quad (12)$$

dan kecepatan linearnya adalah:

$$v_{i-1,i} = \omega_{i-1,i} \times r_{i-1,i} \quad (14)$$

$$\dot{q}_i J_{pi} = \omega_{i-1,i} \times r_{i-1,i} = \dot{v}_i z_{i-1} \times (p - p_{i-1}) \quad (15)$$

$$J_{pi} = z_{i-1} \times (p - p_{i-1}) \quad (16)$$

Jadi,

$$J_i = \begin{cases} \begin{bmatrix} z_{i-1} \times (p - p_{i-1}) \\ z_{i-1} \end{bmatrix} & \text{jika joint } i \text{ bersifat revolute} \\ \begin{bmatrix} z_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} & \text{jika joint } i \text{ bersifat prismatic} \end{cases} \quad (17)$$

$\times$  = perkalian silang vektor

### 2.5 Sistem Visual

Kamera menghitung intensitas dari cahaya pada setiap koordinat piksel  $(u, v)$ . sebuah titik 3D dengan koordinat homogen  $x_{titik} = (x, y, z, 1)$  diproyeksikan pada titik citra dengan koordinat homogen  $P = (u, v, 1)^T$  [8]:

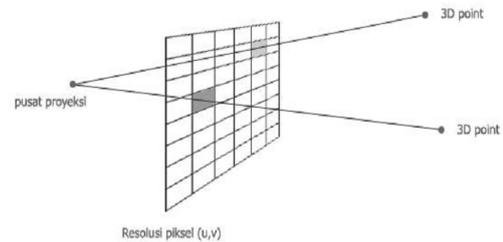
$$P \propto [K \ 0] x_{titik} \quad (18)$$

$K$  adalah matrik intristik kamera :

$$K = \begin{bmatrix} fk_u & fk_u \cot(\phi) & u_0 \\ 0 & fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$u_0$  dan  $v_0$  adalah koordinat piksel-piksel,  $k_u$  dan  $k_v$  adalah faktor skala pada sepanjang sumbu  $\bar{u}$

dan  $\bar{v}$  (piksel/meter).  $\phi$  adalah sudut antara sumbu dengan panjang fokus. Gambar 3 menunjukkan model perspektif kamera terhadap ruang 3D (Fu dkk, 1987) [3].



**Gambar 3.** Model Perspektif kamera terhadap ruang 3D terhadap bidang kamera.

Parameter matrik intrinsik kamera tersebut adalah jarak fokus, kerapatan piksel dan sudut optik kamera.

Perubahan posisi objek,  $m_i$  dalam bidang citra memiliki hubungan dengan kecepatan kamera  $v$ , yang dinyatakan dalam matrik Jacobian Citra sebagai berikut:

$$\dot{m}_i = J_c^i v \quad (20)$$

Matriks Jacobian Citra untuk sebuah ciri citra berupa titik  $O_i$  adalah sebagai berikut:

$$J_c^i = \begin{bmatrix} \frac{\lambda}{z} & 0 & -\frac{u}{z} & -\frac{uv}{\lambda} & \frac{\lambda^2 + u^2}{\lambda} & -v \\ 0 & \frac{\lambda}{z} & -\frac{v}{z} & \frac{-\lambda^2 - v^2}{\lambda} & \frac{uv}{\lambda} & u \end{bmatrix} \quad (21)$$

Dimana :

$J_c^i$  = Jacobian citra ke  $i$

$\lambda$  = Panjang fokus kamera

$(u, v)$  = Koordinat piksel kamera

$z$  = Kedalaman benda pada kamera

Matriks Jacobian Citra untuk  $N$  buah ciri citra yang diamati adalah sebagai berikut:

$$J_c = \begin{bmatrix} (J_c^1)^T & (J_c^2)^T & \dots & (J_c^N)^T \end{bmatrix}^T \quad (22)$$

### 2.6 Komponen Utama Robot

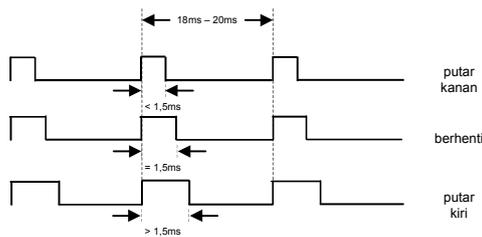
#### 2.6.1 Sistem Aktuator

Aktuator adalah perangkat elektromekanik yang digunakan untuk melakukan gerakan, seperti servomotor DC (Darwison dkk, 2011) [1] pada gambar 4.

**2.6.2 Servomotor DC**

Servomotor DC adalah motor DC dengan torsi besar yang memiliki kemampuan yang baik dalam hal posisi, kecepatan dan akselerasi.

Secara umum terdapat 2 jenis servomotor, yaitu servomotor standard sering dipakai pada sistim robotika misalnya untuk membuat “ Robot Arm” ( Robot Lengan ) sedangkan servomotor Continuous sering dipakai untuk robot mobil (Pitowarno, 2006)<sup>[7]</sup>.



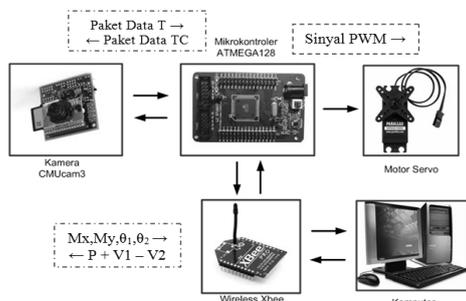
**Gambar 4.** Penggunaan servomotor DC

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Garis Besar Perancangan Sistem**

Adapun diagram blok penelitian seperti gambar 5 yang terdiri dari 2 bagian yaitu perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari bentuk mekanik dan perancangan perangkat lunak (*software*) yang berfungsi untuk mengendalikan pergerakan dari robot manipulator.

Mikrokontroler ATmega128L mempunyai dua buah *port* serial yang digunakan untuk berkomunikasi dengan kamera CMUcam3 dan modul Xbee PRO (Xbee, 2011)<sup>[10]</sup> dan *port* I/O yang difungsikan sebagai output untuk menggerakkan servomotor dengan menggunakan sinyal PWM.

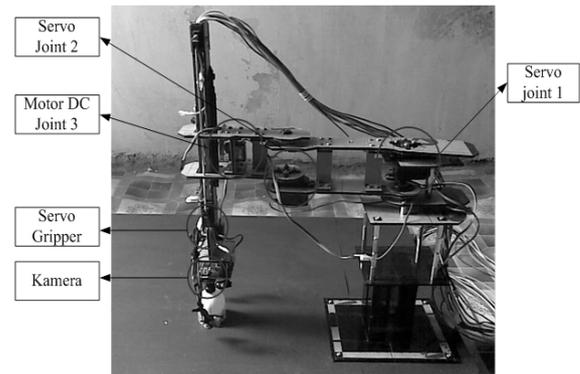


**Gambar 5.** Blok diagram sistem robot manipulator planar

**3.2 Perangkat Keras**

**3.2.1 Mekanik**

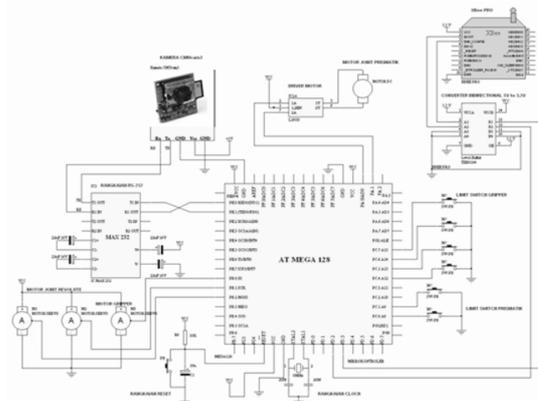
Robot Manipulator ini mempunyai dua buah *joint* yang bisa berotasi (*revolute joint*) dan 1 buah *joint* yang bisa bertranslasi (*prismatic joint*). Mekanik Robot manipulator ini sepenuhnya dibuat dengan menggunakan bahan *acrylic* bening seperti gambar 6.



**Gambar 6.** Mekanik Robot

**3.2.2 Perancangan Sistem Minimum**

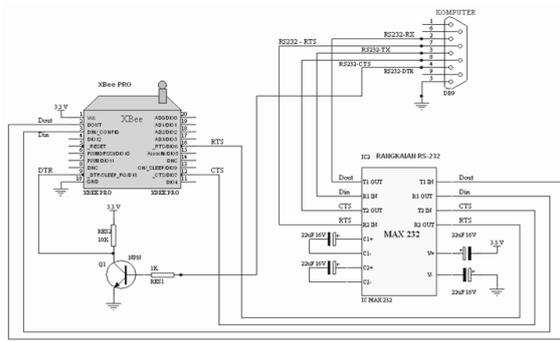
Kamera CMUcam3 dihubungkan dengan mikrokontroler ATmega 128L melalui *converter* RS-232. Mikrokontroler juga dihubungkan dengan komputer melalui modul Xbee Pro untuk proses jacobian citra dan Jacobian robot seperti terlihat pada gambar 7.



**Gambar 7.** Rangkaian sistem minimum Robot Manipulator Planar

Pada komputer terdapat modul *wireless* Xbee PRO untuk menerima data titik tengah objek dan sudut aktual masing-masing *joint* robot dari mikrokontroler ATmega 128. Modul ini dihubungkan ke port serial RS-232 pada komputer sehingga protokol komunikasi yang

digunakan mengikuti standar RS-232 seperti gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Xbee Serial Adapter pada Komputer

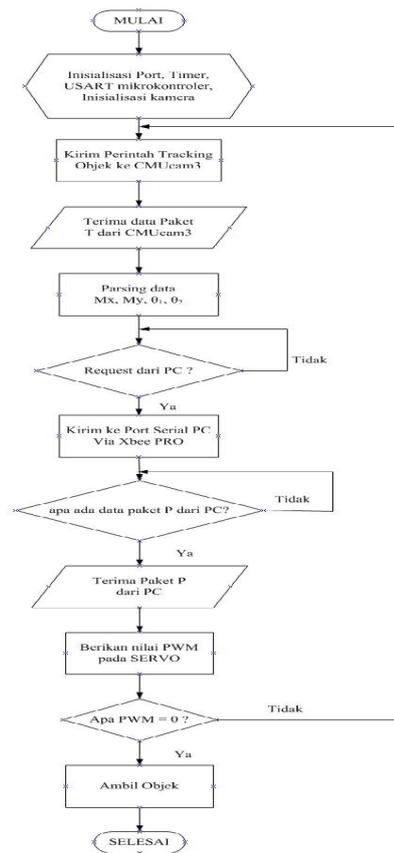
### 3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada robot manipulator planar terdiri atas perangkat lunak *user interface* pada komputer menggunakan MATLAB 7.04 dan perangkat lunak mikrokontroler ATmega 128L menggunakan CodeVision AVR 1.24.8d Professional berbasis bahasa C. Sesuai dengan rangkaian sistemnya, mikrokontroler ATmega 128L dihubungkan dengan kamera CMUcam3, motor DC, motor servo, modul *wireless* Xbee PRO, dan *push button*. Adapun *flowchart* program pada mikrokontroler adalah seperti terlihat pada gambar 9. Dan gambar 10 berikut merupakan *flowchart* program pada komputer.

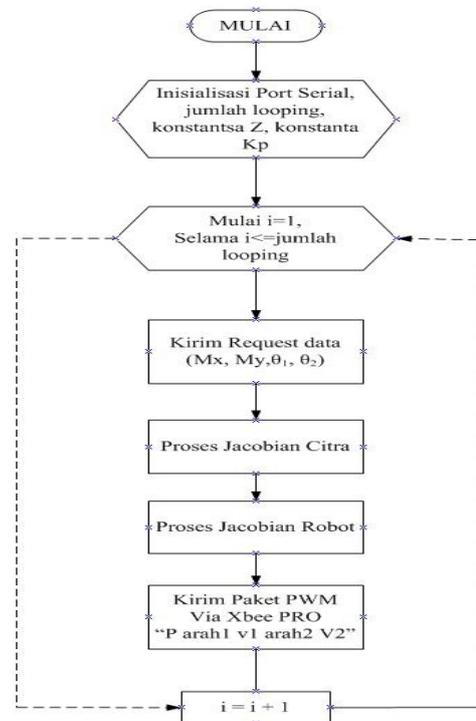
### 3.4 Parameter Robot Manipulator

Robot manipulator ini terdiri dari 2 *joint* yang bisa berotasi dan 1 *joint* yang bisa translasi. Untuk mencari kinematikanya digunakan metode Denavit- Hartenberg yang mengandung beberapa parameter seperti sudut *joint* ( $\theta_i$ ), jarak *joint* ( $d_i$ ), sudut putaran *link* ( $\alpha_i$ ), dan panjang *link* ( $a_i$ ). Untuk dapat melakukan pergerakan yang terkontrol dari robot manipulator planar ini, diperlukan beberapa tahapan yaitu:

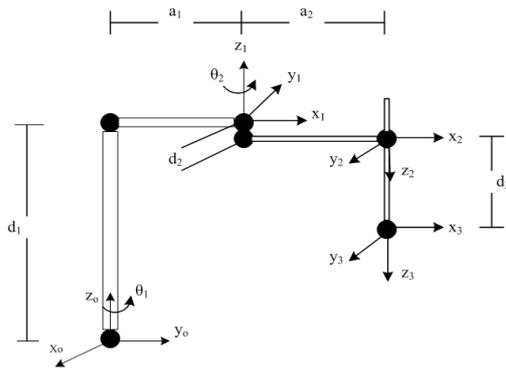
1. Menentukan parameter *link* dan *joint* dari robot manipulator planar seperti ditunjukkan oleh Gambar 11 yang menunjukkan koordinat masing-masing *joint*.



Gambar 9. Flowchart pada mikrokontroler



Gambar 10. Flowchart pada komputer



**Gambar 11.** Rancangan Parameter joint  $\theta_i$  dan  $d_i$

Tabel 1 merupakan parameter yang terdapat pada masing-masing joint dan link dari robot planar.

Tabel 1. Parameter Robot Manipulator 3-DOF

| Joint i | $\theta_i$ | $\alpha_i$ | $d_i$ (mm) | $a_i$ (mm) |
|---------|------------|------------|------------|------------|
| 1       | $\theta_1$ | 0          | 280        | 150        |
| 2       | $\theta_2$ | -180       | 0          | 120        |
| 3       | 0          | 0          | $d_3=220$  | 0          |

2. Menentukan matrik transformasi homogen robot manipulator yang menyatakan hubungan tiap *joint* adalah sebagai berikut:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \theta_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Untuk mempermudah penulisan, selanjutnya  $\cos \theta_i$  dan  $\sin \theta_i$  dilambangkan  $C_i$  dan  $S_i$ . Berikut ini adalah matrik homogen robot manipulator planar dengan tiga derajat kebebasan (Zulvi, 2010)<sup>[11]</sup> untuk tiap-tiap *joint* :

a. Matrik homogen pada *joint* 1

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 150C_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & 150S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 280 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

b. Matrik homogen pada *joint* 2

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & S_2 & 0 & 120C_2 \\ S_2 & -C_2 & 0 & 120S_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c. Matrik homogen pada *joint* 3

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 220 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Adapun matrik transformasi dari robot planar dengan tiga derajat kebebasan:

a. Matrik Transformasi pada *joint* 1

$${}^0T_1 = {}^0A_1$$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 150C_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & 150S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 280 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

b. Matrik Transformasi pada *joint* 2

$${}^0T_2 = {}^0A_1 {}^1A_2$$

$$= \begin{bmatrix} C_{1+2} & S_{1+2} & 0 & 120C_{1+2} + 150C_1 \\ S_{1+2} & C_{1+2} & 0 & 120S_{1+2} + 150S_1 \\ 0 & 0 & -1 & 280 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c. Matrik Transformasi pada *joint* 3

$${}^0T_3 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3$$

$$= \begin{bmatrix} C_{1+2} & S_{1+2} & 0 & 120C_{1+2} + 150C_1 \\ S_{1+2} & C_{1+2} & 0 & 120S_{1+2} + 150S_1 \\ 0 & 0 & -1 & 60 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Maka dari matrik diatas didapatkan matrik:

$$n = \begin{bmatrix} C_{1+2} \\ S_{1+2} \\ 0 \end{bmatrix}, s = \begin{bmatrix} S_{1+2} \\ C_{1+2} \\ 0 \end{bmatrix}, a = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

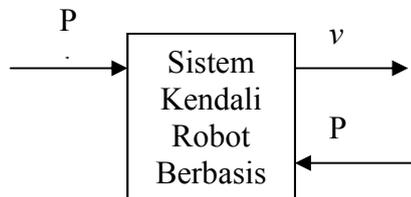
dan matrik p,

$$p = \begin{bmatrix} 120C_{1+2} + 150C_1 \\ 120S_{1+2} + 150S_1 \\ 60 \end{bmatrix}$$

### 3.5 Sistem Kendali Robot Berbasis Visual Citra

Pada sistem kendali ini ada masukan Pd sebagai koordinat piksel benda pada kamera, P

sebagai koordinat benda yang diinginkan pada koordinat piksel kamera (titik referensi), dan  $v$  merupakan hasil dari sistem yang berupa kecepatan pada masing-masing *joint* yang harus diberikan seperti gambar 12.



**Gambar 12.** Diagram sistem kendali robot berbasis visual

Ciri objek yang diambil hanya berupa titik tengah objek, maka:

$$Pd = \begin{bmatrix} u_d \\ v_d \end{bmatrix} \text{ dan } P = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

Maka:

$$e = Pd - p = \begin{bmatrix} u_d - u \\ v_d - v \end{bmatrix}$$

Pada sistem pengendalian robot berbasis visual ini terdiri dari sistem Jacobian Citra dan Jacobian Robot. Jacobian Robot berfungsi untuk mentransformasikan posisi koordinat benda berdasarkan titik acuan menjadi informasi kecepatan dan arah setiap joint. Pada robot ini terdiri dari 2 buah joint yang diberikan kecepatan rotasi dan 1 buah joint diberikan kecepatan linier, sehingga  $\theta$  berupa matrik berdimensi 3x1. Kecepatan ujung lengan robot manipulator  $V$ , terdiri dari kecepatan linier dan kecepatan rotasi pada sumbu  $x,y,z$ .  $V$  merupakan matrik berdimensi 6x1. Hubungan  $V$  dan  $\theta$  adalah  $V = J_R \theta$ , karena  $V$  kecepatan ujung lengan robot matrik berdimensi 6x1 dan  $\theta$  adalah kecepatan *joint* matrik berdimensi 3x1, sehingga:

$$[6 \times 1] = J_R [3 \times 1]$$

Maka  $J_R$  merupakan matrik berdimensi 6x3 dimana  $J_R$  merupakan matrik *Jacobian robot*.

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = J_R \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{d} \end{bmatrix} \text{ dengan}$$

$$J_R = [J_1 \quad J_2 \quad J_3]$$

Pergerakan joint bersifat *revolute* dan prismatic maka matrik jacobian robot berbentuk:

$$J_i = \begin{cases} \begin{bmatrix} z_{i-1}x({}^0P^{-0}P_{i-1}) \\ z_{i-1} \end{bmatrix} & \text{jika joint } i \text{ bersifat revolute} \\ \begin{bmatrix} z_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} & \text{jika joint } i \text{ bersifat prismatic} \end{cases}$$

Untuk membentuk matrik jacobian robot ini diperlukan matrik  $p$  dan matrik  $z$  pada setiap *joint* yaitu:

$$p_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad p_1 = \begin{bmatrix} 150C_1 \\ 150S_1 \\ 280 \end{bmatrix},$$

$$p_2 = \begin{bmatrix} 120(C_1C_2 - S_1S_2) + 150C_1 \\ 120(S_1C_2 + C_1S_2) + 150S_1 \\ 280 \end{bmatrix}$$

maka,

$$p = \begin{bmatrix} 120(C_1C_2 - S_1S_2) + 150C_1 \\ 120(S_1C_2 + C_1S_2) + 150S_1 \\ 60 \end{bmatrix}$$

dan

$$Z_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad Z_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ dan } Z_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Maka matrik Jacobian Robot yang terbentuk adalah sebagai berikut:

- a. Matrik Jacobian Robot untuk *joint* 1 (*revolute joint*) adalah:

$$J_1 = Z_0 \times (p - p_0)$$

$$J_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 120(C_1C_2 - S_1S_2) + 150C_1 \\ 120(S_1C_2 + C_1S_2) + 150S_1 \\ 60 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -120(S_1C_2 + C_1S_2) - 150S_1 \\ 120(C_1C_2 - S_1S_2) + 150C_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

b. Matrik Jacobian Robot untuk *joint 2* (*revolute joint*) adalah:

$$J_2 = Z_1 x(p-p_1) = \begin{bmatrix} -120(S_1C_2 + C_1S_2) \\ 120(C_1C_2 - S_1S_2) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

c. Matrik Jacobian Robot untuk *joint 3* (*prismatic joint*) adalah:

$$J_3 = \begin{bmatrix} Z_{i-1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Maka Matrik Jacobian Robot untuk Robot Planar dengan tiga derajat kebebasan adalah:

$$J_x = [J_1 \ J_2 \ J_3] = \begin{bmatrix} -120(S_1C_2 + C_1S_2) - 150S_1 & -120(S_1C_2 + C_1S_2) & 0 \\ 120(C_1C_2 - S_1S_2) + 150C_1 & 120(C_1C_2 - S_1S_2) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Sedangkan sistem Jacobian Citra berfungsi untuk mentransformasikan posisi koordinat berdasarkan piksel menjadi posisi koordinat berdasarkan titik acuan. Hubungan  $\dot{p}$

dan  $V_c$  adalah  $\dot{p} = J_c \cdot V_c$ ,  $\dot{p}$  adalah kecepatan posisi piksel matrik berdimensi 3x1 dan  $V_c$  adalah kecepatan kamera atau ujung lengan berdimensi 6x1, sehingga

$$[3x1] = J_c \cdot [6x1]$$

$$\dot{p} = J_c \cdot V_c$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = J_c \begin{bmatrix} V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} \\ \omega_{cx} \\ \omega_{cy} \\ \omega_{cz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ 1 \end{bmatrix} = J_c \begin{bmatrix} V_{cx} \\ V_{cy} \\ V_{cz} = 0 \\ \omega_{cx} = 0 \\ \omega_{cy} = 0 \\ \omega_{cz} = 0 \end{bmatrix}$$

Vektor kecepatan perubahan posisi piksel kamera dinormalisasi sehingga  $\dot{z} = 1$  dan pergerakan linier kamera hanya pada sumbu z serta kamera tidak bisa berotasi sehingga  $V_{cz} = 0$ ,  $\omega_{cx} = 0$ ,  $\omega_{cy} = 0$ ,  $\omega_{cz} = 0$  dan  $J_c$  berdasarkan persamaan diatas adalah:

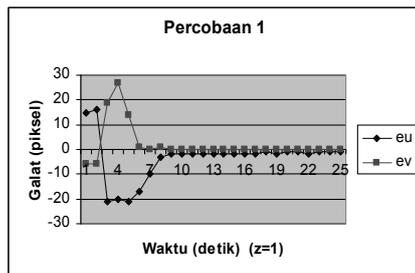
$$J_c = \begin{bmatrix} \frac{\lambda}{z} & 0 & \frac{u}{z} & \frac{-u \cdot v}{\lambda} & \frac{\lambda^2 + u^2}{\lambda} & -v \\ 0 & \frac{\lambda}{z} & \frac{v}{z} & \frac{-\lambda^2 - v^2}{\lambda} & \frac{u \cdot v}{\lambda} & u \end{bmatrix}$$

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil Pengujian

Pada pengujian ini sistem bekerja secara otomatis dengan menggunakan sensor berupa kamera CMUcam3 untuk mendeteksi objek berwarna yang akan memberikan informasi titik tengah objek (piksel) sebagai umpan balik bagi sistem robot. Adapun hasil pengujian sebagai berikut:

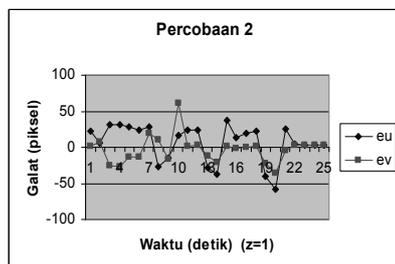
a. Dengan posisi  $P_d = [102 \ 137]$  yang merupakan koordinat piksel hasil tangkapan kamera dan  $P = [87 \ 143]$  yang merupakan koordinat piksel referensi, dengan nilai faktor kedalaman  $Z = 1$  dan objek diam.



**Gambar 13.** Percobaan 1: kesalahan piksel titik 1 terhadap waktu(detik)

Posisi objek pada titik Pd menjadi input pada sistem kendali ini dan titik P diharapkan berada pada posisi objek atau titik P akan berhimpit dengan titik Pd dalam koordinat piksel kamera. Dengan nilai  $Z = 1$  sistem mengalami osilasi piksel 27 sampai -21 dan mulai menuju objek yang dituju pada detik ke 7 dengan error piksel terkecil [-1 0] seperti gambar 13.

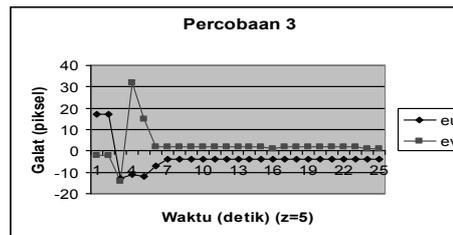
- b. Untuk posisi  $P_d = [109 \ 145]$  dan  $P = [87 \ 143]$  dengan  $Z = 1$  serta objek bergerak dihasilkan seperti gambar 14.



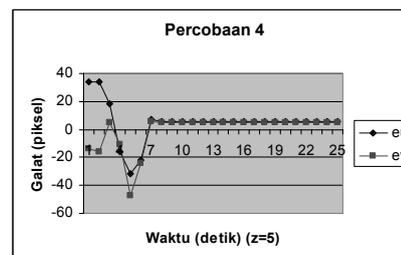
**Gambar 14.** Percobaan 2: kesalahan piksel titik 2 terhadap waktu(detik)

Dengan nilai  $Z = 1$  sistem mengalami osilasi piksel 61 sampai -58 dan sampai ke objek yang dituju pada detik ke 23 dengan error piksel terkecil adalah [3 3].

- c. Untuk  $Z=5$  dan objek diam, sistem mengalami osilasi piksel 32 sampai -13 serta robot sampai ke objek yang dituju pada detik ke 7 dengan error piksel terkecil [5 5] seperti pada gambar 15 dan objek bergerak seperti pada gambar 16.



**Gambar 15.** Percobaan 3: kesalahan piksel titik 3 terhadap waktu(detik)



**Gambar 16.** Percobaan 4: kesalahan piksel titik 4 terhadap waktu(detik)

## V. KESIMPULAN

1. Robot mampu menuju titik yang dituju tanpa berosilasi adalah sesudah 6s dengan error piksel terkecil [-1 0].
2. Semakin besar nilai  $Z$  keakuratan posisi ujung lengan robot semakin rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Darwison, M. Ilhamdi Rusydi dan Imil Hamda Imran, *Perancangan dan Pembuatan sistem Kontrol Kecepatan Servomotor Continuous Parallax dengan PID*. Teknika No.35 Vol.1 thn.XVIII, Universitas Andalas Padang (2011).
- [2] Ermadi, Ade, *Perancangan dan Implementasi Robot Mobil Pendeteksi dan Pemadam Api Menggunakan Sensor Ultraviolet dan Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Renesas R8c/13*, Universitas Andalas Padang (2009).
- [3] Fu, K.S, dkk., *Robotics : Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. New York, The McGraw-Hill Companies (1987).
- [4] Goncalves, Paulo dkk., *Comparing Visual Servoing Architecture for Planar Robot*(2007), Diunduh pada 11 mei 2011 pukul 15:14 WIB dari <http://med.ee.nd.edu/MED10/pdf/349.pdf>

- [5] L.Lewis, Frank., *Robot Manipulator Control Theory and Practice*". U.S.A: Merceel Dekker inc(2004).
- [6] Monjaraz, J. Cid dkk. , *A Visual Servoing Controller for Robot manipulator*, (2007). diunduh tanggal 27 mei 2011 pukul 19.38 wib dari <http://www.naun.org/journals/circuitssystemssignal/cssp-39.pdf>.
- [7] Pitowarno, Endra, *Robotika Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, Yogyakarta, CV.Andi Offset(2006).
- [8] Rusydi, Muhammad Ilhamdi, *Perancangan dan Simulasi Algoritma Visual Servoing Berdasarkan Citra Pada Robot Scara Adeptone*, Tesis. Pada Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, Bandung(2008).
- [9] Sciavicco, Lorenzo dan Bruno Siciliano, *Modelling and Control of Robot Manipulator*, The McGraw-Hill Companies, New York (1996).
- [10] Xbee PRO Datasheet, diunduh pada tanggal 30 Mei 2011 pukul 19.36 wib dari <http://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Manual.pdf>.
- [11] Zulvi, Adilson, Tugas Akhir :*Perancangan dan Implementasi Visual Servoing Penjejak Garis Pada Robot Lengan 3 Derajat Kebebasan Dengan Pengendali Proporsional*. Universitas Andalas, Padang(2010).

### **Biodata Penulis**

**Darwison**, dilahirkan di Payakumbuh, Sumatera Barat Indonesia. Pendidikan SD sampai SMA dilalui di kota Padang Sumatera Barat. Lulus SMA melanjutkan S1 Teknik Elektro bidang studi Elektronika ke ITS Surabaya. Selama mengikuti perkuliahan di ITS banyak pengalaman praktik yang didapat melalui sebagai asisten Praktikum, lomba dan Tugas Akhir Pernah mendapat pengalaman elektronika di beberapa perusahaan yang memproduksi antara lain semen, plastik, obat nyamuk bakar dan lain-lain. Tahun 1995 diterima sebagai dosen S1 Teknik Elektro di Universitas Andalas Padang sampai sekarang. Tahun 2002 menyelesaikan S2 Teknik Elektro bidang studi Sistem Isyarat Elektronika di UGM Yogyakarta. Aktif di laboratorium untuk penelitian di bidang kontrol, mekatronika dan biomedika, pembimbing penelitian PKMT mahasiswa. Tahun 2002 sebagai kepala labor Elektronika Industri sampai 2012. Mata kuliah yang diajarkan di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas lain di Unand adalah Elektronika, Sistem kontrol, Interface, Operasional Amplifier, Sistem Digital dan Mikroprosesor & Mikrokontroler. Penelitian yang dilakukan masih berkaitan dengan mikrokontroler, antara lain kontrol PLTB (Bayu), akses Moving Sign via HP, robot, petir, plasma dan gempa. Pengabdian di Pauh, PKBM Karang Putih dan KKN, mengadakan pelatihan interface & Mikrokontroler untuk mahasiswa / umum, dan pembinaan & pelatihan perancangan & pembuatan moving sign.