

***RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT TENAGA SURYA  
UNTUK NAVIGASI***

*Johanes Ohoiwutun,  
Politeknik Katolik Saint Paul Sorong  
Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*

**Alamat Korespondensi :**

Johanes Ohoiwutun  
Politeknik Katolik Saint Paul Sorong 98412  
HP. 082198216666  
Email : johnohoiwutun@gmail.com

## Abstrak

Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar yaitu sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya. Pada penelitian ini menggunakan tenaga surya sebagai sumber tenaga untuk mengisi baterai yang selanjutnya menjalankan robot . Perancangan dan penelitian ini dilaksanakan di Workshop Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Sistem kendali yang digunakan adalah sistem manual dengan menggunakan gelombang radio pemancar dan penerima yang selanjutnya menggerakkan robot sesuai arah yang dituju. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dari perlakuan dengan tiga variasi kecepatan yaitu 6,63 m/det, 8,84 m/det dan 15,89 m/det maka diperoleh hasil pemotongan rumput terbaik terjadi pada kecepatan 15.89 det dan tinggi pemotongan rumput 5 cm. Formulasi kinematika dan dinamika untuk mesin pemotong rumput terdapat 2 variabel input kontrol yaitu  $\dot{x}$  dan  $\dot{y}$  untuk mengendalikan 3 variabel output yaitu  $x$ ,  $y$  dan  $\theta$  sehingga terdapat 1 variabel redundan.

*Kata kunci : robot mobile, mesin pemotong rumput, tenaga surya*

## Abstract

*Utilization of conventional energy sources such as coal, fuel oil, natural gas and others on the one hand has a low operating cost, but on the other side of the barriers is the greater source of diminishing returns and, more importantly, the emergence of environmental pollution problems dangerous to human life. This study aims to formulate the kinematics and dynamics to determine the movement of Solar Power Mower. In this study, using solar power as an energy source to charge the battery which then runs the robot. Design and research was conducted in the Department of Mechanical Workshop Faculty of Engineering, University of Hasanuddin of Gowa. Control system used is a manual system using radio wave transmitter and receiver which in turn drive the robot in the direction intended. Experimental results showed that treatment with three variations of the speed of 6.63 m / s, 8.84 m / s and 15.89 m / sec then obtained the best results occur in grass cutting 15.89 sec and high-speed cutting grass 5 cm. Formulation of kinematics and dynamics for lawn mowers, there are 2 control input variables,  $x$  and  $y$  to control the output variables  $x$ ,  $y$  and  $\theta$  so that there is one variable redundant.*

*Keywords: mobile robots, lawn mower, solar power*

## **PENDAHULUAN**

Untuk menjaga keindahan taman, halaman maupun lapangan olah raga dan lain-lain maka rumput harus dipotong secara teratur dengan ketinggian tertentu, sehingga nampak rapih dan asri. Namun kenyataan yang terjadi selama ini proses pemotongan rumput dilaksanakan secara manual atau dengan mesin pemotong rumput gendong dan dorong yang menggunakan tenaga manusia untuk menjalankannya dan tentu pula menyita waktu.

Selain itu kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah (DESDM 2003).

Pemanasan global adalah meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca di atmosfer (Hart, John 2005). Pemanasan global akan diikuti dengan perubahan iklim, seperti meningkatnya curah hujan di beberapa belahan dunia sehingga menimbulkan banjir dan erosi. Sedangkan di belahan bumi lain akan mengalami musim kering yang berkepanjangan disebabkan oleh kenaikan suhu. Pemanasan global terjadi ketika ada konsentrasi gas-gas tertentu yang dikenal dengan gas rumah kaca, yg terus bertambah di udara (Sugiyono 2006).

Oleh karena itu pengembangan sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Salah satu sumber-sumber tenaga terbarukan tersebut adalah tenaga surya. Indonesia terletak di sepanjang garis katulistiwa, yaitu pada  $6^{\circ}$  lintang utara -  $11^{\circ}$  lintang selatan dan  $95^{\circ}$  bujur timur -  $141^{\circ}$  tujur timur, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun berada pada daerah  $23,5^{\circ}$  lintang utara dan  $23,5^{\circ}$  lintang selatan maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 sampai 12 jam sehari, sehingga sumber-sumber energi terbarukan tersebut di atas sangat melimpah (Goodland 2006). Oleh karena itu semestinya pengembangan dan pemanfaatannya harus dilakukan baik dalam bentuk riset di laboratorium maupun terapannya berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. (Agung (2006).

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi.

## **BAHAN DAN METODE**

### ***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 informasi dari output ke input dan kembali lagi ke input karena adanya *feedback control*. Huruf  $r$  merupakan masukan yang menentukan suatu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Sedangkan lingkaran tanda silang menandakan suatu titik penjumlahan antara  $r$  dan  $b$  (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari penjumlahan adalah sinyal kesalahan  $e$  adalah nilai yang diperoleh dari selisih  $r$  dan  $b$ . Dengan kata lain sinyal kesalahan  $e$  adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan (Canudas, et al, 1996)

### ***Fotovoltaik***

Teknologi fotovoltaik (PV) merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (foto) menjadi listrik (volt) secara langsung (*direct conversion*). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (*photovoltaic affect*). Didalam proses konversi cahaya-listrik tidak ada bagian yang bergerak, sehingga produk teknologi fotovoltaik memiliki umur teknis yang panjang lebih dari 25 tahun (Tundawan 2002).

Teknologi fotovoltaik dikenal sebagai teknologi bersih sehingga penerapannya akan mendukung program pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Beberapa keuntungan dari pemanfaatan teknologi fotovoltaik, antara lain ; Biaya operasional dan perawatan yang rendah (tidak diperlukan pembelian bahan bakar dan keausan dalam proses konversi), tidak menimbulkan polusi udara karena tidak ada proses pembakaran sehingga mengurangi pelepasan gas rumah kaca (*greenhouse gas*) dan tidak menimbulkan kebisingan karena tidak ada bagian yang bergerak (Ariswan, 2005)

### ***Motor DC***

Motor DC adalah motor yang menggunakan aliran arus searah dalam operasinya. Motor jenis ini banyak digunakan pada aplikasi yang *mobile*. Salah satu contoh penggunaan motor DC adalah pada mobile robot. Pergerakan dari motor DC terjadi karena adanya kumparan yang bersifat magnetik ketika diberi tegangan, dan karena dipengaruhi oleh medan magnetik aktif yang mengelilingi kumparan tersebut maka kumparan yang tadinya bersifat magnetik akan melakukan gerakan memutar. Gerakan inilah yang membuat motor tersebut berputar (Sumanto 1994).

**Persamaan Dasar Mobile Robot**

Mobile robot di sini adalah mobile robot bergerak dua roda kiri-kanan (Pitowarno. 2006). Gerakan *mobile robot* diasumsikan bergerak dalam kawasan sumbu XY saja, tanpa memperhatikan medan yang tidak rata seperti jalan yang naik turun, yang dapat menjadi unsur sumbu Z.

Persamaan umum *mobile robot* sistem *nonholonomic* menurut aturan Euler-Lagrange (Sawatzky. B, 2002) adalah :

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = B(q)\tau + J^T(q)\lambda \dots\dots\dots(1)$$

dimana : q adalah sistem koordinat umum robot

M(q) adalah matriks simetris n x n

C(q, q̇) adalah matriks yang terkait dengan efek coriolis dan sentrifugal

G(q) adalah vektor gaya gravitasi

B(q) adalah n x r dimensi matriks pemetaan ruang aktuator terhadap koordinat ruang keseluruhan

τ adalah r-dimensi vektor dari gaya/torsi aktuator

λ adalah faktor pengali dari Lagrange

dengan vektor posisi, kecepatan dan percepatan *mobile robot* didefinisikan sebagai berikut:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} ; \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \text{ dan } \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

**Metodologi Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu set komputer berfungsi untuk desain gambar robot dan pengolahan data, printer untuk mencetak data yang telah diinput ke dalam computer, bor listrik berfungsi untuk melubangi material, mesin gerinda untuk memotong dan menghaluskan permukaan, mesin las listrik untuk menyambung bagian-bagian rangka, gergaji besi berfungsi untuk memotong material besi, gunting seng untuk memotong plat sebagai tambahan base robot, Solder berfungsi mencairkan timah untuk menyambung komponen elektronik, tang sebagai alat bantu untuk memotong kabel jumper, obeng berfungsi untuk mengencangkan baut dan mur dan kunci ring/pas.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikrokontroler sebagai pengontrol penggerak motor, voltmeter untuk mengukur tegangan, baterai/aki berfungsi sebagai penyimpan daya listrik, fotovoltaiik sebagai sumber tenaga dan pengisi baterai, motor

DC yang berfungsi sebagai penggerak roda, besi siku dan plat besi sebagai body robot, mur dan baut sebagai pengikat komponen-komponen robot

### **Prosedur Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada Workshop Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa dengan langkah-langkah sebagai berikut ; Membuat gambar desain mekanis bagian-bagian robot pemotong rumput yang akan disimulasikan dan menyiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam pelaksanaan rancang bangun. Kemudian menghitung persamaan kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan robot dan melakukan simulasi pada sistem kerja program, dan selanjutnya pembuatan robot pemotong rumput dilakukan secara manual dengan memasang komponen-komponen robot.

### **HASIL PENELITIAN**

Dari penelitian diperoleh hasil sebagai berikut : Error posisi ( $q_c$ ) = 6 ; Signal kontroler ( $u_t$ ) = 3,6 ; Kecepatan mobil robot  $\dot{q} = 3,6$  m/det; Kecepatan sudut roda = 28,8 rad/s ; Percepatan sudut roda = 18,725 rad/s<sup>2</sup>; Pecepatan mobile robot  $\ddot{q} = 0,333$  m/s<sup>2</sup> dan Feedback signal  $q_{act} = 0,787$

### **PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini digunakan kedali loop tertutup dimana dalam perhitungan kinematika dan dinamika robot dengan persamaan untuk gerak *nonholonomik* diasumsikan roda tidak slip terhadap permukaan jalan, maka persamaan nonholonomicnya yaitu:

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0$$

Posisi Awal

$$x = 1$$

$$y = 1$$

$$\theta = 0^\circ$$

dalam bentuk matriks dapat dituliskan :

$$q = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Posisi Referensi

$$x_r = 7$$

$$y_r = 1$$

$$\theta_r = 0^\circ$$

dalam bentuk matriks dapat dituliskan

$$q_r = \begin{bmatrix} 7 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

untuk memperoleh error posisi maka :

$$q_e = q_r - q_{act}$$

$$q_e = \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ \theta_r - \theta \end{bmatrix}$$

$$q_e = \begin{bmatrix} 7-1 \\ 1-1 \\ 0-0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Kontrol proporsional dipeoleh dengan mengasumsikan bahwa penguatan diperlukan dalam desain kontrol, dengan nilai penguatan proporsional ( $K_p$ ) digunakan adalah 0.6 dengan selang waktu kontrol ( $\Delta t$ ) adalah 6,6 s,

dalam bentuk matriks dapat ditulis:

$$K_p = \begin{bmatrix} K_p & 0 & 0 \\ 0 & K_p & 0 \\ 0 & 0 & K_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 \end{bmatrix}$$

dan sinyal kontroler ( $u_{(t)}$ )

$$u_{(t)} = (K_p + K_i/s) \cdot q_e$$

$$u_{(t)} = \left( \begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$u_{(t)} = \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

formulasi matriks transformasi

$$g(q) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g(q) = \begin{bmatrix} \cos 0 & 0 \\ \sin 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Persamaan kecepatan mobile robot

$$\dot{q} = g(q)^T \cdot u_{(t)}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Karena gerakan mobile robot linear, maka kecepatan sudut roda kiri dan kanan adalah sama.

$$\begin{aligned} \omega &= \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \frac{v}{r} \\ &= \frac{3.6}{0.125} \\ &= 28.8 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

percepatan sudut roda diasumsikan selang waktu rata-rata untuk mencapai kecepatan maksimum yaitu 1.538 s,

$$\begin{aligned} \dot{\omega} &= \frac{\omega_{(t+1)} - \omega_{(t)}}{\Delta t_m} \\ &= \frac{28.8 - 0}{1.2} \\ &= 18.725 \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

Persamaan Dinamik Mobile Robot untuk menghitung massa mobile robot pada tiap roda maka dari ilustrasi gambar 5 dapat dilihat bahwa roda depan dan belakang robot ini simetris maka diasumsikan bahwa distribusi massa pada kedua roda belakang dan depan adalah sama :

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{2} \left( \frac{m \cdot (d)}{L} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{36 \cdot 0.35}{0.72} \right) \\ &= 8.75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Torsi didapat dengan :

$$\begin{aligned}\tau &= \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_w \cdot R^2 & 0 \\ 0 & m_w \cdot R^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.031 & 0 \\ 0 & 0.031 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 24 \\ 24 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.75 \\ 0.75 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Inersia total

$$\begin{aligned}I &= m_c d^2 + 2m_w b^2 + I_c + 2I_m \\ &= 36 \cdot 0.3^2 + 2 \cdot 0.5 \cdot 0.58^2 + 2 + 2 \cdot 0.011 \\ &= 5.598 \text{ kg.m}^2\end{aligned}$$

Percepatan mobil robot diperoleh dengan :

$$\begin{aligned}F_l &= \frac{1}{R}(\tau_1 + \tau_2) \\ &= \frac{1}{0.125}(0.75 + 0.75) \\ &= 12\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_a &= \frac{2b}{R}(\tau_1 - \tau_2) \\ &= \frac{0.58}{0.125}(0.75 - 0.75) \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{v} &= \frac{F_l}{m} \\ &= \frac{12}{36} \\ &= 0.333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{w} &= \frac{\tau_a}{I} \\ &= \frac{0}{14.056} \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\ddot{q} = \dot{g}(q) \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} + g(q) \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix}$$

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \cdot \dot{\theta} & 0 \\ \cos\theta \cdot \dot{\theta} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix}$$

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} -\sin 0 \cdot 0 & 0 \\ \cos 0 \cdot 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos 0 & 0 \\ \sin 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Feedback Signal  $\left(\int \int \ddot{q}\right)$

$$\dot{q} = \ddot{q} \cdot \Delta t_m$$

$$= \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 1.538$$

$$= \begin{bmatrix} 0.512 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$q_{act} = \dot{q} \cdot \Delta t_m$$

$$= \begin{bmatrix} 0.512 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 1.538$$

$$= \begin{bmatrix} 0.787 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa Mesin Pemootong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi ini mempunyai kecepatan 1.15 meter per detik dengan waktu pengoperasian baterai 1.4 jam dan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai adalah 4.2 jam. Selain itu formulasi kinematika dan dinamika untuk mesin pemootong rumput terdapat 2 variabel *input* control yaitu  $\dot{x}$  dan  $\dot{y}$  untuk mengendalikan 3 variabel *output*, yaitu  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$  sehingga terdapat 1 variabel *redundant*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, (2006) Energi dan Terbarukan (<http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/2846-energi-surya-dan-pengembangannya-di-indonesia.html>, diunduh 9 September 2012
- Ariswan, (2005) Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia (Online), [jurnalsain-unand.com](http://jurnalsain-unand.com).
- Canudas de Wit, C Siciliano, B, (1996) and Bastin. G (editors), Theori of Robot Control. New York, Spinger-Verlag
- Goodland.R (2006), Pemanasan Global, <http://vegclimatealliance.org/livestock-and-climate-change-qa>, diunduh 27 Oktober 2012
- DESDM, (2003) Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hujau), Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral Jakarta
- Hart, John.(2005) Global Warming, Microsoft® Encarta® 2006 [DVD]. Redmond, WA: Microsoft Corporation. ([id.wikipedia.org/protocol\\_Kyoto](http://id.wikipedia.org/protocol_Kyoto)) diunduh 9 September 2012
- Pitowarno. E (2006), Robotika, Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan, Yogyakarta, Andi Offset
- Sawatzky. B, (2002). Wheeling in the New Millennium: The history of the wheelchair and the driving forces in wheelchair design today. Department of Rehabilitation Science and Technology. <http://www.wheelchairnet.org/index.html>
- Sumanto, (1994) Mesin Arus Searah. Jogjakarta: Penerbit Andi Offset
- Sugiyono A (2006). Penanggulangan Pemanasan Global Di Sektor Pengguna Energi, PTPSE-BPPT.
- Tundawan. W. (2002), Apa Itu Fotovoltaik, P4TK Medan, <http://science.nasa.gov/headlines/y2002/solarcells.htm>

