

---

# **Jurnal** ***Rekayasa Elektrika***

---

VOLUME 12 NOMOR 2

AGUSTUS 2016

---

**Pemodelan Robot Beroda Menggunakan Umpan Balik Girokop**

67-72

*Aulia Rahman*

---

|     |         |       |           |                             |                                      |
|-----|---------|-------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|
| JRE | Vol. 12 | No. 2 | Hal 41-72 | Banda Aceh,<br>Agustus 2016 | ISSN. 1412-4785<br>e-ISSN. 2252-620X |
|-----|---------|-------|-----------|-----------------------------|--------------------------------------|

# Pemodelan Robot Beroda Menggunakan Umpan Balik Girooskop

Aulia Rahman

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111  
e-mail: aurahmn@unsyiah.ac.id

**Abstrak**—Pemodelan merupakan tahapan yang penting dalam proses perancangan sistem kendali pada robot beroda. Ada berbagai macam teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan model matematika sebuah sistem, antara lain secara analitik yaitu menggunakan penurunan model matematika sistem dan secara experimental dimana data hasil eksperimen dicari strukturnya atau model yang mendekati hasil eksperimen tersebut. Teknik lain adalah dengan menggunakan pendekatan identifikasi sistem yaitu sistem diberi masukan/input yang telah diketahui dalam hal ini fungsi step dan mengukur outputnya sehingga diperoleh fungsi tranfer/model dari robot. Pemodelan dengan teknik identifikasi sistem secara umum lebih sederhana dibandingkan dengan pemodelan secara analitik dan experimental, karena hanya mengukur output sistem. Paper ini memodelkan sebuah mobile robot dengan cara memberi input fungsi step kepada robot dan menggunakan girooskop sebagai umpan balik. Model fungsi transfer robot yang diperoleh adalah fungsi transfer order 2.

**Kata kunci:** *robot beroda, identifikasi sistem, pemodelan, girooskop*

**Abstrac**—Modelling of a system is an important step for designing a good controller for a wheeled mobile robot. There are several techniques can be used gaining a model. One is deriving an analytical model mathematically. Another technique is by using system identification where the robot is given an input test signal and then measused the output signal. This technique in general is more simple compare to the analytic one. This paper described the modelling of a wheeled mobile robot and used a gyroscope sensor as a feedback. The transfer function model of the robot is a second order system.

**Keywords:** *wheeled mobile robot, system identification, modelling, gyroscope*

## I. PENDAHULUAN

Pemodelan merupakan tahapan yang penting dalam proses merancang sistem kendali robot. Ada berbagai macam teknik yang dapat digunakan untuk mendapatkan sebuah model, antara lain secara analitik menggunakan persamaan matematika dan secara eksperimental dimana data hasil eksperimen dicari strukturnya atau model yang mendekati hasil eksperimen tersebut. Teknik lain adalah dengan menggunakan pendekatan identifikasi sistem dimana sistem diberi input dalam hal ini fungsi step dan mengukur outputnya. Sehingga diperoleh fungsi tranfer dari sistem. Pemodelan dengan teknik identifikasi sistem secara umum lebih sederhana dibandingkan dengan pemodelan secara analitik dan experimental, karena hanya mengukur output sistem.

Pemodelan secara analitik membutuhkan informasi detail setiap komponen yang membentuk suatu sistem, dimulai dari pemodelan dinamika dan kinematika robot beroda, pemodelan motor penggerak yang digunakan, dan model sensor. Kemudian model ini harus memasukkan parameter lain seperti faktor gesekan antara roda dengan lantai untuk mensimulasikan keadaan sebenarnya sehingga jika gangguan tersebut muncul maka robot dapat mengantisipasinya dengan baik [1].

Pada penelitian sebelumnya, Oplenskedal, dkk [2] telah

mengembangkan model robot beroda untuk merancang sistem kendali dan mendesain simulator robot. Tujuan utama penelitian tersebut adalah untuk memfasilitasi pengembangan perangkat lunak (*software*) pengendali robot yang dapat dengan mudah diuji dan divalidasi secara modular. Sehingga setiap komponen pengendali robot dapat bekerja sebagaimana mestinya.

Studi pengembangan model dan pengendali dengan logika fuzzy pada robot beroda empat dilakukan oleh Kecskés, dkk [3]. Model yang diperoleh dengan asumsi gerak robot dalam dua bidang dimensi dengan kendali PID menunjukkan hasil yang kurang memuaskan.

P. Tan and Z. Cai [4] melakukan pemodelan robot beroda untuk keperluan pengendalian navigasi robot dilingkungan yang tidak diketahui. Sementara [5] menerapkan algoritma kendali berbagi (*share-control algorithm*) pada model kinematika dan dinamika robot beroda. Hasil simulasi yang diperoleh memperlihatkan keefektifan algoritma kendali berbagi pada robot beroda. Pemodelan robot yang akurat menentukan efektifitas rancangan sistem kendali pada robot.

Penelitian dengan menggunakan teknik identifikasi sistem dalam pemodelan *inverted pendulum* beroda dua terdapat pada [6][7]. Pada [7] identifikasi sistem dilakukan untuk mendapatkan model linier dan model non-linier. Hasil studi perbandingan diantara kedua model tersebut

menunjukkan bahwa model non-linier merupakan model terbaik dalam pemodelan *inverted pendulum* beroda dua.

Investigasi experimental dilakukan oleh Song dkk [8] untuk memperoleh model dinamik yang akurat pada *omnidirectional* robot. Estimasi parameter yang akurat sangat menentukan dalam perancangan kendali yang kokoh terhadap gangguan pada robot.

Identifikasi sistem dan model validasi pada robot beroda nonholonomic dilakukan pada [9] yang fokus pada model nonlinier. Validasi model dilakukan dengan cara tes statistik. Model yang telah divalidasi digunakan untuk merancang sistem kendali adaptif pada robot. Hasil studi menunjukkan efektifitas model non-linier yang dihasilkan.

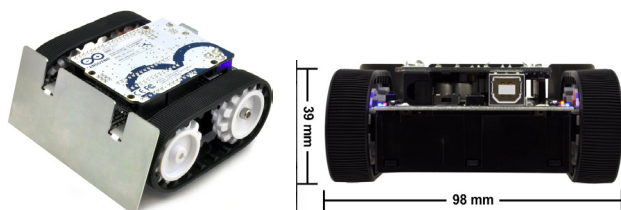
Guerra dkk [10] melakukan studi perbandingan antara pemodelan linier dengan teknik identifikasi sistem pada sebuah *differential drive* robot. Model yang diperoleh dibandingkan dan divalidasi dengan perancangan sistem kendali. Hasil studi menunjukkan bahwa penggunaan teknik identifikasi sistem memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik dibandingkan model linier.

Metode *least square* dan instrumental variable digunakan pada [11] untuk identifikasi model dinamik dan proses kendali pada motor robot *omnidirectional*. Estimasi parameter motor yang diperoleh digunakan dalam mendesain sistem kendali pada robot yaitu sebagai penentuan nilai kendali Proporsional Integral (PI) pada robot *omnidirectional*.

Marquardt dkk [12] melakukan tes experimental pada wahana amfibi tanpa awak untuk menyelidiki kemampuan maneuver dan mendapatkan karakteristik kinerja dari kendaraan tanpa awak tersebut. Uji coba kendaraan dilakukan ditanah dan di air yang meliputi kecepatan translasi dan rotasi beserta percepatannya. Data yang diperoleh digunakan untuk pemodelan wahana tersebut yang selanjutnya akan digunakan untuk merancang sistem kendali otomotis pada robot.

Untuk sistem mobile robot yang dibahas dalam paper ini digunakan sebuah robot dengan 2 sistem penggerak yang bergerak meniru gerakan kendaraan tank. Prosedur penelitian dimulai dengan memberikan input PWM ke motor driver. Selanjutnya motor driver akan menggerakkan motor dc pada robot. Gerakan robot ini di rekam oleh sensor giroskop.

Dengan teknik identifikasi sistem yang digunakan, maka penulis hanya memberikan input step kepada mobile robot kemudian mengamati respon dari mobile robot. Kemudian diperoleh hubungan antara input dan output dalam domain frekuensi yaitu fungsi transfer dari



Gambar 1. Perspektif zumo robot dengan arduino pada bagian atas; dimensi lebar dan tinggi robot

robot beroda tersebut. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh sebuah model fungsi transfer robot dengan teknik identifikasi sistem dengan umpan balik sensor giroskop. Prosedur penelitian dalam paper ini dijelaskan dalam subbab selanjutnya.

## II. METODE

### A. Chassis Robot

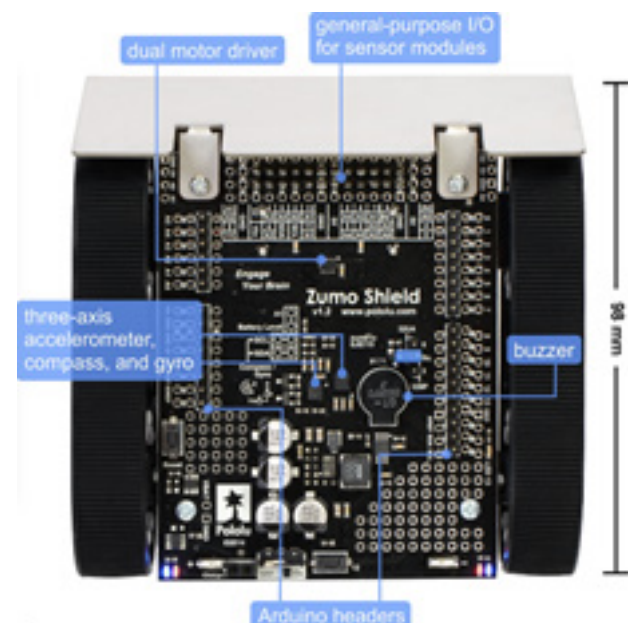
*Chassis* robot yang digunakan dalam penelitian ini adalah zumo robot dari pololu. Gambar 1 memperlihatkan zumo robot dengan arduino yang telah terpasang di atasnya.

Robot ini adalah platform robot kecil dengan roda rantai yang berbahan elastis dan menyerupai tank. Robot ini memiliki ukuran kurang dari 10 cm pada setiap sisinya dan tinggi kurang dari 4 cm. Badan utama robot berbahan plastik ABS dan dilengkapi dengan kompartemen untuk memuat 4 baterai AA. Selain itu, terdapat sepasang soket untuk penempatan 2 mikro motor gear. Bagian atas robot dapat dipakai untuk memasang komponen elektronika lainnya seperti mikrokontroller, *motor driver* dan sensor-sensor. Jika komponen robot, baterai, dan aksesoris lain terpasang maka berat robot kurang lebih seberat 210 gram.

### B. Komponen Elektronika

Komponen elektronika seperti *motor driver*, sensor-sensor dan *board* mikrokontroller dapat dipasang sesuai kebutuhan. Selain itu tersedia pula komponen elektronika yang tersedia khusus untuk *chassis* robot ini.

Pada penelitian ini digunakan zumo robot *shield* yang bisa diprogram dengan *board* arduino dan *board* mikrokontroller kompatibel lainnya. Pada zumo robot *shield* terdapat pin *header* yang kompatibel dengan



Gambar 2. Zumo robot shield



Gambar 3. Motor driver DRV8835 (sumber: www.pololu.com)

arduino. Pada Zumo *shield* sudah terpasang sebuah *dual motor driver* DRV8835, *buzzer*, tiga sumbu akselerometer LSM303D, giroskop L3GD20H, dan sensor kompas. Selain itu, zumo robot *shield* dapat dipasang modul sensor lainnya karena terdapat slot pin yang cukup untuk pemasangan komponen tambahan. Gambar zumo *shield* untuk *board* arduino uno dapat dilihat pada Gambar 2.

Sebagai penggerak motor digunakan motor driver DRV8835. Motor driver DRV8835 merupakan motor driver yang memiliki dua channel yang dapat menyuplai arus sebesar 1,2A per channel secara berkesinambungan (arus puncak 1,5A) sehingga dapat mengendalikan 2 motor dc pada saat bersamaan. Pada motor driver ini terpasang rangkaian pengaman untuk arus balik, *under voltage*, *over current*, dan *over temperature* yang dapat melindungi motor driver ini dari kerusakan. Motor driver DRV8835 dapat dilihat pada Gambar 3.

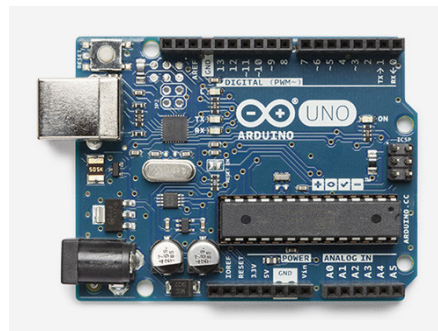
Mikrokontroler sebagai pengendali utama yang digunakan adalah arduino uno rev 3. *Board* mikrokontroler ini merupakan mikrokontroler berbasis Atmega328P dengan 14 pin digital input/output dan 6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM. Arduino ini juga memiliki 6 pin input analog, 16 MHz kristal quartz, koneksi USB, power jack, header ICSP dan sebuah tombol reset. *Board* mikrokontroler arduino uno dapat diletakkan langsung diatas zumo *shield* karena telah dilengkapi dengan header pin yang sesuai dengan arduino uno. Gambar 4 memperlihatkan mikrokontroler arduino uno rev 3.

Pemrograman pada robot menggunakan arduino *software* IDE yang diprogram dengan bahasa pemrograman c/c++. Kode program diupload ke mikrokontroler dengan menggunakan kabel USB.

Robot ini menggunakan rasio gear 75:1 HP

Tabel 1. Spesifikasi sensor giroskop L3GD20H

| Parameter     | Nilai                                                                              |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Tegangan      | 2.5 – 5.5 V                                                                        |
| Arus          | ~6 mA                                                                              |
| Output format | 16-bit pembacaan per sumbu                                                         |
| Sensitifitas  | $\pm 245^\circ/\text{s}$ , $\pm 500^\circ/\text{s}$ , or $\pm 2000^\circ/\text{s}$ |



Gambar 4. Arduino uno rev 3

(*HighPower*) *micro metal gearmotors* sebagai penggerak utamanya yang dapat memberikan torsi dan dengan kecepatan puncak mencapai 60 cm/detik. Motor DC ini memiliki dimensi 10x12 mm dengan panjang shaft 9 mm dan diameter shaft 3 mm. Pada tegangan kerja 6V, motor dapat berputar dengan kecepatan maksimum 400 RPM, arus 120 mA, dan torsi 1,6 kg-cm. Gambar 5 menunjukkan *micro metal gear*.

*Chassis* robot dapat bekerja dengan baik menggunakan 4 baterai AA dengan total nominal tegangan 6V tetapi tegangannya akan turun sesuai dengan beban kerja robot. Sebagai suplai tegangan direkomendasikan menggunakan 4 *rechargeable* baterai AA NiMH.

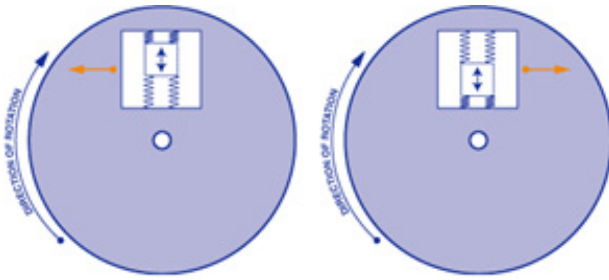
Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah giroskop tiga sumbu L3GD20H dari ST electronic yang akan mengukur perubahan kecepatan sudut rotasi pada sumbu *roll* (X), *pitch* (Y), and *yaw* (Z). Sensitifitas pengukuran kecepatan sudut dapat diatur pada rentang nilai  $\pm 245^\circ/\text{s}$ ,  $\pm 500^\circ/\text{s}$ , atau  $\pm 2000^\circ/\text{s}$ . Sensor ini dapat dihubungkan dengan *interface* I<sup>2</sup>C atau SPI. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi sensor giroskop L3GD20H yang digunakan.

Giroskop adalah perangkat untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, yang berlandaskan pada prinsip-prinsip momentum sudut. Sensor giroskop bisa mendeteksi gerakan sesuai gravitasi, atau dengan kata lain mendeteksi gerakan. Penggunaan sensor ini semakin populer karena banyak digunakan pada perangkat telepon genggam cerdas. Giroskop awalnya dikembangkan secara mekanis dimana sebuah roda atau cakram berputar pada sumbu putarnya. Saat ini, yang banyak digunakan adalah giroskop berbasis MEMS (*Micro Electro-Mechanical System*) seperti yang terlihat pada Gambar 6.

MEMS giroskop menggunakan bahan piezoelektrik material didalamnya yang berukuran 1 – 100 micrometer. Piezoelektrik material ini akan bergetar (vibrasi) dengan



Gambar 5. Micro metal motorgear (sumber: www.pololu.com)



Gambar 6. Prinsip kerja giroskop MEMS

frekuensi tertentu. Ketika giroskop berputar atau berubah orientasinya maka piezoelektrik ini akan bergeser sesuai dengan perubahan kecepatan sudut tersebut. Perubahan ini akan dikonversi ke sinyal listrik yang dapat dibaca oleh mikrokontroler.

### C. Prosedur Penelitian

Teknik identifikasi sistem digunakan pada penelitian ini dengan giroskop sebagai umpan untuk mendapatkan model robot. Pemodelan dengan teknik ini untuk mendapatkan model fungsi transfer robot. Fungsi transfer adalah merupakan hubungan antara transformasi laplace sinyal output dan transformasi laplace input. Dengan mengetahui fungsi transfer sistem, maka dapat diperoleh relasi langsung antara masukan dan keluaran dari sistem. Secara matematis, fungsi transfer dapat ditulis:

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (1)$$

dimana:

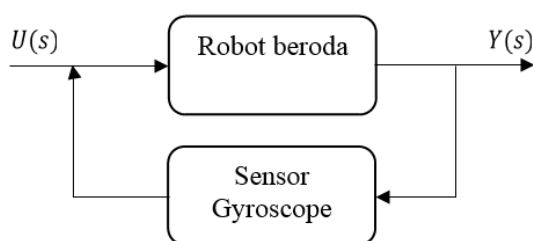
$F(s)$  : fungsi transfer robot.

$U(s)$  : sinyal input dalam domain s dan

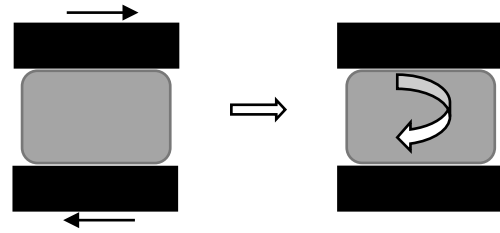
$Y(s)$  : sinyal output sistem dalam domain s.

Proses awal pada pemodelan robot ini berupa pemberian sinyal input kepada robot lalu respon robot diamati dengan menggunakan sensor giroskop. Giroskop digunakan karena input yang diberikan kepada robot adalah gerakan rotasi. Diagram blok dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.

Sinyal input yang diberikan kepada robot berupa fungsi step. Dalam hal ini input ke robot berupa gerakan rotasi dengan kecepatan sudut  $\omega$  konstan. Input diberikan berupa sinyal PWM ke motor dc sebesar 100 RPM selama 2,5 detik atau setara dengan 110 derajat/detik. Untuk



Gambar 7. Blok diagram sistem



Gambar 8. Gerak rotasi robot

memperoleh gerakan rotasi pada robot, maka input yang diberikan pada motor dc berupa putaran motor dengan arah yang berlawanan seperti yang terlihat pada Gambar 8. Motor sebelah kiri berputar searah dengan arah jarum jam sedangkan motor kanan berputar dengan arah berlawanan arah jarum jam.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 9 menunjukkan respon robot terhadap input step yang terbaca oleh sensor giroskop. Terlihat bahwa robot mulai merespon setelah 0,5 detik.

Ketika robot mencapai keadaan tunak (*steady*) terdapat osilasi. Hal ini disebabkan oleh adanya gesekan antara lantai dengan karet penggerak robot sehingga menimbulkan efek osilasi pada robot.

Gambar 10 memperlihatkan grafik respon transien robot pada 0,8 detik pertama. Gambar tersebut memperlihatkan grafik respon robot terhadap input step. Grafik yang dihasilkan menyerupai bentuk fungsi transfer sistem order 2. Fungsi transfer sistem orde 2 secara umum dapat ditulis:

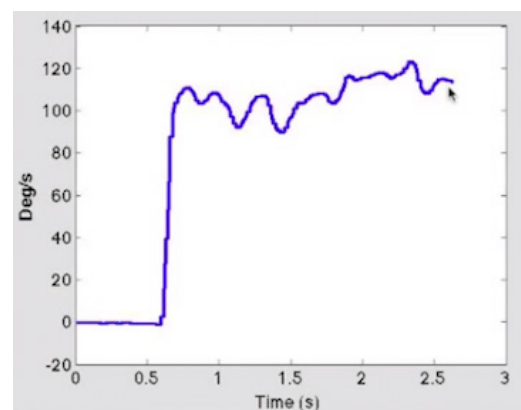
$$F(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)}, \quad (2)$$

dimana:

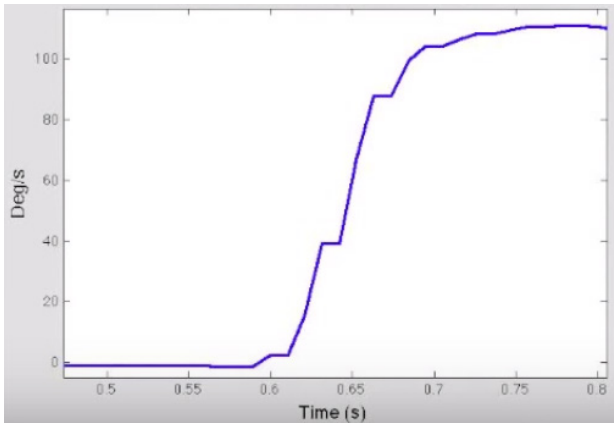
$\omega_n$  : frekuensi natural sistem

$\zeta$  : rasio redaman.

Untuk memperoleh fungsi transfer robot dari persamaan [2] di atas maka perlu diketahui 2 parameter yaitu frekuensi natural robot dan juga rasio redaman. Frekuensi natural didapat dengan mengetahui parameter



Gambar 9. Grafik respon robot terhadap input step



Gambar 10. Grafik respon transien robot

rise time robot. Sedangkan rasio redaman diperoleh dari kurva redaman pada Gambar 11.

Untuk memperoleh parameter rasio redaman dapat dilakukan dengan melihat kurva rasio redaman seperti yang terlihat pada Gambar 11. Kurva ini menggambarkan sistem orde 2 dengan rasio redaman  $\zeta$  yang berbeda-beda.

Jika dibandingkan antara grafik respon robot pada Gambar 10 dengan grafik rasio redaman di atas, maka terlihat bahwa rasio redaman robot  $\zeta$  sebesar 1,4 dan dengan perioda  $\sim 2\pi$ .

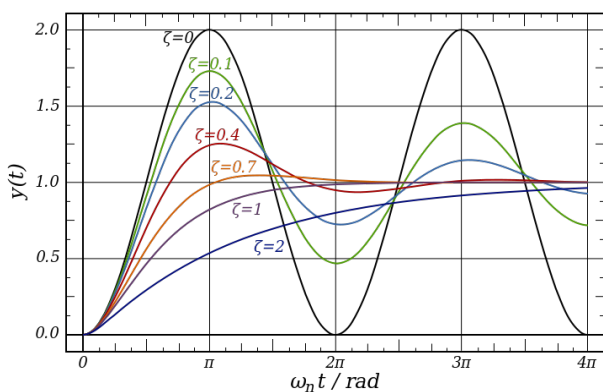
Dari Gambar 10, terlihat bahwa robot mulai merespon pada waktu 0.59 detik dan mencapai dalam keadaan tunak (*steady*) ketika 0.75 detik. Sehingga diperoleh *rise time* robot sebesar  $0,75 - 0,59 = 0,16$  detik. Frekuensi natural robot diperoleh:

$$\omega_n = \frac{2,5\pi}{0,16} = 49 \text{ rad/ detik.}$$

Dengan demikian, fungsi transfer robot diperoleh dengan mensubstitusi  $\omega$  dan  $\zeta$  ke Persamaan 2 dan didapat fungsi transfer/model robot adalah:

$$F(s) = \frac{49^2 \times 1,1}{(s^2 + 137,2s + 2401)}$$

$$F(s) = \frac{2641,1}{(s^2 + 137,2s + 2401)}$$



Gambar 11. Kurva redaman

#### IV. KESIMPULAN

Paper ini telah menjelaskan tentang penggunaan teknik identifikasi sistem untuk mendapatkan model sebuah robot beroda dengan umpan balik giroskop. Yaitu untuk mendapatkan fungsi transfer/model robot beroda yang diberi input step selama 2,5 detik. Respon robot beroda yang diperoleh memperlihatkan respon sistem orde 2. Frekuensi natural robot yang diperoleh sebesar  $\omega = 2,5\pi/0,16 \text{ s} = 49 \text{ rad/s}$ . Sehingga fungsi transfer robot yang diperoleh adalah

$$F(s) = \frac{2641,1}{(s^2 + 137,2s + 2401)}$$

Teknik identifikasi sistem yang digunakan untuk pemodelan robot beroda relatif lebih mudah diterapkan pada robot beroda.

#### REFERENSI

- [1] C. Perez-Montenegro, E. Canuto, A. Cardenas-Olaya and W. Acuna-Bravo, "Mobile robot modelling and autonomous guidance," *Automatic Control (CCAC), 2015 IEEE 2nd Colombian Conference on*, Manizales, 2015, pp. 1-6.
- [2] M. K. Oplenskedal, P. Herrmann and J. O. Blech, "Model-based development of a controller and simulator for a mobile robot," *2016 Fifth ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC)*, Nakhon Pathom, 2016, pp. 61-64.
- [3] I. Kecskés, Z. Balogh and P. Odry, "Modeling and Fuzzy control of a four-wheeled mobile robot," *2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*, Subotica, 2012, pp. 205-210.
- [4] P. Tan and Z. Cai, "Modelling and Planning of Mobile Robot Navigation Control in Unknown Environment," *2015 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN)*, Jabalpur, India, 2015, pp. 1532-1536.
- [5] J. Jiang; P. Di Franco; A. Astolfi, "Shared Control for the kinematic and Dynamic Models of a Mobile Robot," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. PP, no.99, pp.1-13
- [6] G. Y. Morales, S. A. Plazas and L. F. Cómbita, "Implementation and Closed Loop Identification of a Two Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot," *Robotics Symposium and Latin American Robotics Symposium (SBR-LARS), 2012 Brazilian*, Fortaleza, 2012, pp. 97-102.
- [7] J. Jahaya, S. W. Nawawi and Z. Ibrahim, "Multi input single output closed loop identification of two wheel inverted pendulum mobile robot," *Research and Development (SCORED), 2011 IEEE Student Conference on*, Cyberjaya, 2011, pp. 138-143.
- [8] Yixu Song, Dalong Tan and Yu Tian, "Experimental identification of the dynamics parameters of an omnidirectional wheeled mobile robot," *Intelligent Control and Automation, 2002. Proceedings of the 4th World Congress on*, 2002, pp. 1175-1178 vol.2.
- [9] P. Nourizadeh, M. Ayati and A. Yousefi-Koma, "System identification and model validation of nonholonomic wheeled mobile robots," *Robotics and Mechatronics (ICROM), 2015 3rd RSI International Conference on*, Tehran, 2015, pp. 586-592.
- [10] P. N. Guerra, P. J. Alsina, A. A. Medeiros, A. P. Araujo, "Linear modelling and identification of a mobile robot with differential drive," *ICINCO 2004, Proceedings of the First International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*,

Setúbal, Portugal, August 25-28, 2004.

- [11] A. S. Conceicao, P. J. Costa, A. P. Mereira, "Control and model identification of a mobile robot's motors based in least squares and instrumental variable methods," *11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, 2005, Miedzydroje, Poland.
- [12] J. G. Marquardt, J. Alvarez and K. D. von Ellenrieder, "Characterization and System Identification of an Unmanned Amphibious Tracked Vehicle," in *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 39, no. 4, pp. 641-661, Oct. 2014.

**Penerbit:**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: [rekayasa.elektrika@unsyiah.net](mailto:rekayasa.elektrika@unsyiah.net)

Telp/Fax: (0651) 7554336

