

DESAIN DAN REALISASI PROTOTIPE PLATFORM ROBOT SETIMBANG

Ridwan Solihin

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Bandung
Tlp. 022-2013789 ext 297 Fax. 022-2001539
Email : ridwansolihin@yahoo.com

ABSTRAK

Konsep Robot balance dengan dua roda yang di pasang parallel didasarkan pada teori pendulum terbalik. Tujuan utama penelitian ini adalah menggunakan strategi kontrol yang baik untuk menjaga keseimbangan robot agar tetap tegak lurus. Pemasahan yang timbul dalam balancing robot adalah cara mempertahankan kondisi agar robot dalam keadaan tegak lurus. Penggunaan sensor yang baik dan sebuah sistem kendali di butuhkan dalam mengontrol kesetimbangan. Dengan menggunakan kontroler PID yang dapat dituning dan kombinasi sensor gyro dan accelerometer dapat ditemukan kondisi kesetimbangan, yang dapat menjaga robot dalam keadaan tegak lurus. Pada pengujian keseluruhan sistem Robot balance, penggunaan sensor gyro -accelero meter dan kontroler PID dapat berhasil mempertahankan kondisi tegak lurus dengan baik.

Kata kunci : pendulum terbalik, gyro, accelerometer, Robot Balance

1. PENDAHULUAN

Robot setimbang (*balancing robot*) adalah robot yang berjalan dengan dua roda yang parallel, sehingga kesetimbangan harus terus dijaga agar badan robot tidak jatuh atau menjauhi sumbu vertikal, dengan menjaga pusat gravitasi pada sudut kemiringan 0° (sumbu vertikal). Untuk menjaga pusat gravitasi pada sumbu vertikal, robot harus mengetahui sudut kemiringan yang terjadi dan menggerakkan roda pada arah kemiringan tersebut.

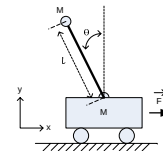
Di Indonesia, khususnya di Politeknik negeri Bandung pengembangan alat transportasi berenergi listrik baru berupa mobil listrik yang dikembangkan oleh dosen dan mahasiswa. Alat transportasi lain belum dikembangkan, oleh karenanya penelitian robot setimbang atau *Robot Balance* yang di usulkan ini adalah awal dari pengembangan transportasi roda dua menggunakan energi listrik. Ide dasar untuk membuat *robot* beroda dua dapat setimbang yaitu dengan cara mengendalikan roda searah dengan arah jatuhnya badan *robot*. Apabila proses tersebut dapat terlaksana maka *robot* tersebut dapat setimbang. Secara praktis ini membutuhkan dua *sensor* sebagai umpan baliknya yaitu sensor kemiringan atau sudut terhadap gaya gravitasi.

Dalam makalah dibahas mengenai desain dan realisasi prototipe platform Robot balance dengan menggunakan kontroler PID dan sensor Gyro yang dikombinasikan dengan accelerometer

2. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep robot setimbang didasarkan pada model pendulum terbalik. Model ini telah banyak digunakan oleh peneliti di seluruh dunia dalam mengendalikan sistem tidak hanya dalam merancang robot beroda tapi jenis lain dari robot seperti robot berkaki.

Pendulum terbalik adalah bandul yang memiliki massa yang bergerak diatas titik tumpu dan sering digambarkan seperti pada gambar 1. dibawah ini,



Gambar 1. Skematis Pendulum Terbalik pada Kereta

Sebuah bandul terbalik memiliki sifat tidak stabil, dan harus setimbang aktif untuk tetap tegak, baik oleh tenaga putaran (torsi) yang berlaku pada persendian atau dengan menggerakkan kereta.

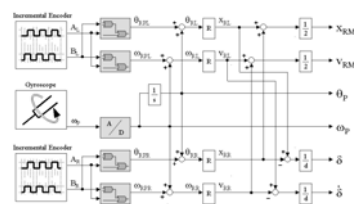
Kontroler PID

Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari elemen tersebut dapat di set lebih menonjol dibandingkan yang lainnya. Konstanta yang menonjol itu akan memberikan kontribusi pengaruh yang lebih pada respon sistem keseluruhan.

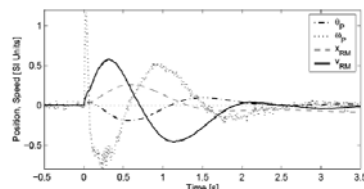
Proporsional kontroler (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak, Integral kontroler (K_i) akan memberikan efek menghapus keadaan tunak tetapi berakibat memburuknya respon transien, Diferensial kontroler (K_d) mengurangi *over shoot* dan meningkatkan stabilitas sistem.

Studi Literatur

Dalam penelitian JOE [1]. Sistem dapat berputar terhadap sumbu z (*pitch*), pergerakannya dideskripsikan sebagai posisi P (θ_p) dan ω_p (kecepatan sudut /*angular velocity*). Pergerakan linier dideskripsikan dalam translasi (xRM) dan kecepatan linier (vRM). Perputaran sumbu vertikal (*yaw*) dikarenakan putaran roda. Putaran tersebut dapat dideskripsikan sebagai δ dan kecepatan sudut $d(\delta)$. JOE menggunakan beberapa sensor yaitu *tilt sensor*, *Tilt* dan *gyroscope*. *Tilt sensor* digunakan untuk mengukur *pitch angle* (sudut anggukan) terhadap gaya gravitasi; mengukur perubahan *pitch angle*. Accelerometer digunakan untuk mengukur static dan dynamic acceleration. Sedangkan *gyroscope* digunakan untuk mengukur *pitch rate*. Berikut ini diagram dari sistem JOE.

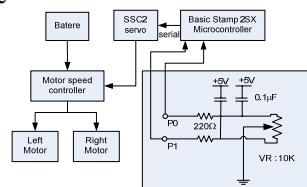


Gambar 2. Diagram sensor JOE



Gambar 3. Respon hasil pengujian JOE

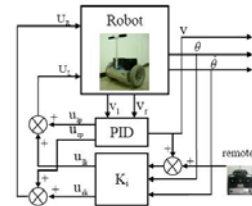
Dalam Penelitian Balancing Robot yang dilakukan Daniel Bauen dan Brent Ziegler[4], sensor yang digunakan adalah potensiometer untuk mengukur sudut robot relative terhadap lantai, sebuah mikrokontroller dengan algoritma control dan mengimplementasikan PID dalam sistem loop tertutup dengan feedback, berikut diagram sistem dari robot balance



Gambar 4. Diagram Sistem Robot Balance

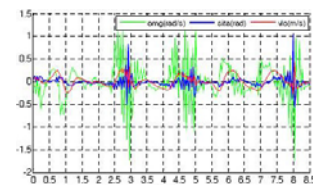
Pada cara ini pemberian controller PI dapat memberikan kesetimbangan yang paling baik.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Li Chaoquan[5], digunakan metode *hybrid controller* yaitu perpaduan antara PID kontroler ,rangkai RC dan Filter Kalman , suatu metode kontrol yang sistematis untuk meningkatkan stabilitas dari robot balance dua-roda di bawah dampak gangguan. Blok diagram seperti pada Gambar 5. dibawah ini,

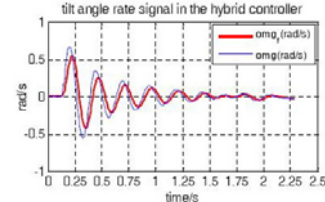


Gambar 5. Hybrid kontroler

Berhasil memperbaiki kestabilan meskipun dibawah gangguan berupa tumbukan. Pada gambar 6 dan 7 hasil system *hybrid kontroler*.



Gambar 6. Sudut kemiringan tanpa hybrid kontroler



Gambar 7. Sudut Kemiringan dalam hybrid kontroler

3. METODE PERANCANGAN

Pada bagian ini akan dijelaskan langkah-langkah dan pertimbangan-pertimbangan yang diambil dalam merancang dan merealisasi sistem *robot balance* seperti yang dimaksudkan dalam tujuan. Pertama-tama menentukan model sistem mekanik dari *robot balance*, agar dapat memperkirakan motor yang diperlukan, berikutnya kita menentukan menentukan diagram blok sistem robot balance, untuk menetapkan kontroler apa yang dibutuhkan, selanjutnya dilakukan perancangan rangkaian elektronik *robot balance*.

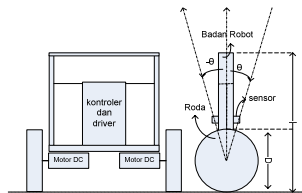
3.1 Model Sistem Mekanik

Membuat model sistem mekanik dengan menghitung seberapa cepat robot akan jatuh dengan menggunakan asumsi sebagai berikut , Inertia dari bagian dasar dan bagian atas = 0, semua massa robot terkonsentrasi pada satu titik (pusat gravitasi) dan saling terhubung dengan demikian dapat dihitung percepatan jatuh badan robot dan berapa besar motor dc harus digunakan.

T_j = torsi akibat inertia
 J = momen inertia of point mass
 T_g = torsi akibat gravitasi
 m = massa
 r = jarak titik berat sistem
 θ = sudut yang diukur dari vertikal, positif untuk arah jarum jam

$$\begin{aligned}
 T_j &= \alpha J \\
 J &= mr^2 \\
 T_j &= \alpha mr^2 \\
 T_g &= -mgr \sin(\theta) \\
 T_j + T_g &= 0 \\
 \alpha mr^2 - mgr \sin(\theta) &= 0 \\
 \alpha r - g \sin(\theta) &= 0 \\
 \alpha &= \frac{g \sin(\theta)}{r}
 \end{aligned}$$

Persamaan diatas menunjukan bahwa percepatan sudut dari badan robot berbanding terbalik dengan titik berat dari sistem. Keseimbangan antara kebutuhan torsi puncak dan percepatan sudut maksimum dilihat oleh motor harus dapat ditentukan. Model sistem yang akan dibangun adalah seperti pada gambar 3. dibawah ini :



Gambar 8. model sitem mekanik

Perancangan model mekanik pada sistem ini dibuat sederhana berdasarkan pendulum terbalik, sistem mekanik tersebut menggunakan dua buah motor DC, yang bersatu dengan rangka robot, yang merupakan badan robot, motor dipasang simetris, pada badan dipasang sensor yang dapat mendeteksi kemiringan robot tersebut.

3.2 Model fungsi alih sistem Robot Balance

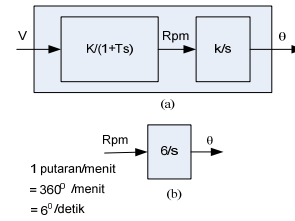
Perancangan control pada penelitian ini adalah untuk mengontrol gerak robot agar tetap posisi seimbang.

- Menentukan Model matematika motor DC

Untuk mendapatkan model matematika dari motor DC dapat dicari dari persamaan fungsi alih, dimana persamaan fungsi alih adalah perbandingan sinyal output dalam transformasi Laplace dibagi dengan sinyal input dalam transformasi Laplace, dimana fungsi awal sama dengan nol.

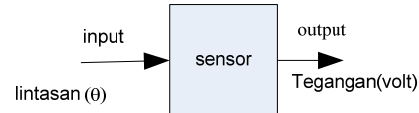
Fungsi alih motor DC dapat ditulis sebagai

$$F(s) = V_o(s)/V_i(s)$$



Gambar 9. (a) Blok diagram motor DC
(b) konversi dari Nilai Rpm ke Posisi

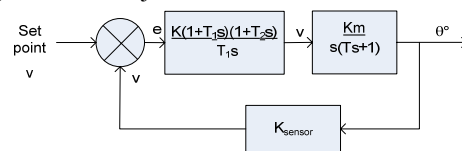
- Menentukan model matematik sensor



Gambar 10. Blok diagram sensor

Model matematika sensor didapat dengan cara mengukur hubungan antara sinyal input dan sinyal output, $K_s = (\text{rata-rata } \Delta \text{ input})/(\text{rata-rata } \Delta \text{ output}) = 0,013 \text{ Volt}/^\circ$

Diagram blok menjadi



Gambar 11. Diagram blok sistem Robot Balance

Dalam menentukan besar Konstanta Kp, Kid an Kd, kita harus mempunyai asumsi spesifikasi yang diharapkan oleh sistem, dalam hal ini saya menetapkan overshoot sebesar 16%, berasal dari kemiringan badan robot sebesar 15° dari garis vertikal, $\zeta = 0,5$ tp dapat ditetapkan dengan demikian puncak semu dari respon sistem dengan persamaan

$$\zeta p = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \dots \dots \dots (1)$$

ω_n dapat dihitung. Selanjutnya dapat ditentukan fungsi alih sistem

$$G(s) = \frac{K(1 + T1s)(1 + T2s)}{T1s}, \frac{Km}{s(Ts + 1)} \dots \dots \dots (2)$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat diasumsikan bahwa $T_2 = Ts$, sehingga persamaan menjadi

$$G(s) = \frac{K.Km(1 + T1s)}{T1s} \dots \dots \dots (3)$$

$$H(s) = Ksensor \dots \dots \dots (4)$$

Fungsi alih sistem menjadi

$$= \frac{K.Km(1 + T1s)}{T1s^2 + K.Km.Ksensor.T1s + K.Km.Ksensor} \dots \dots \dots (5)$$

Persamaan dapat ditulis dalam bentuk

$$\frac{a_0}{b_2 s^2 + b_1 s + b_0} \dots\dots\dots(6)$$

Dengan

$$\begin{aligned} a_0 &= K.K_m \\ b_2 &= T_1, \\ b_1 &= K.K_m.K_{sensor}.T_1, \\ b_0 &= K.K_m.K_{sensor} \end{aligned}$$

Dari persamaan umum orde 2

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$K = \frac{a}{b_0} \dots\dots\dots(8)$$

$$\xi = \frac{b_1}{2\sqrt{b_2 b_0}} \dots\dots\dots(9)$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{b_2}{b_0}} \dots\dots\dots(10)$$

Dari persamaan PID

$$= T_2 s + \frac{K(T_1 + T_2)}{T_1} + \frac{K}{T_1 s} \dots\dots\dots(11)$$

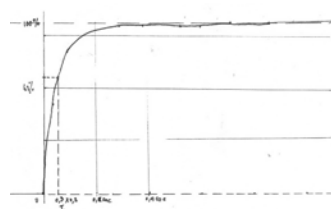
Dengan demikian konstanta dari kontroler dapat dibuat berdasarkan spesifikasi yang diinginkan dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$K_d = T_2 \dots\dots\dots(12)$$

$$K_p = \frac{K(T_1 + T_2)}{T_1} \dots\dots\dots(13)$$

$$K_i = \frac{T_1}{K} \dots\dots\dots(14)$$

Identifikasi motor dc berdasarkan respon step, Model matematika untuk mendapatkan fungsi alih motor dc, untuk tegangan 12 V motor DC menghasilkan putaran 330 rpm dan respon step seperti dibawah ini



Gambar 11. Respon Step Motor DC
Amplitude/div : 0,5 V ; Time /div : 0,2 s

$$G(s) = \frac{K_m}{s(2.016s + 1)}$$

$$K_{sensor} = 0.0133 \text{ V/}^\circ$$

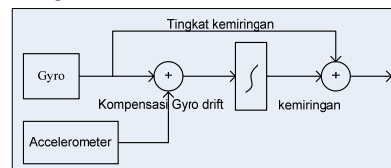
Untuk $t_p = 0.2s$, $T_2 = T_m = 0.06 \text{ s}$, $k_m = 27.5 \text{ rpm/volt}$, maka dapat ditentukan konstanta PID, sebagai berikut, $K_i = 416.2$, $K_d = 1.227$, $K_p = 15.37$ dan torsi Motor Dc yang dibutuhkan harus lebih besar dari 1.00162 kg.cm.

3.3. Perancangan Rangkaian Sensor

Pemasalahan berikutnya dalam mengontrol posisi *balance*, adalah pembacaan kemiringan yang akurat keadaan robot.

Dalam mengukur kemiringan, gyro mempunyai kelemahan adanya factor kesalahan akibat suhu dan juga adanya *drift*. Demikian pula dalam mengukur kemiringan dengan accelerometer, karena sensor ini pada keadaan bergerak akan juga mengukur percepatan yang terjadi, sehingga informasi kemiringan tidak akurat pada saat robot bergerak. Oleh karenanya penggunaan salah satu sensor saja tidak akan dapat memberikan hasil yang baik. Dengan demikian perlu dicari cara pembacaan kemiringan yang akurat dengan menggunakan kombinasi dari kedua sensor tersebut.

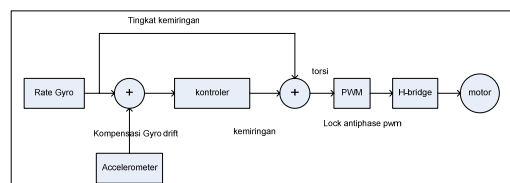
Kombinasi dari dua sensor akan dapat mengatasi masalah ini, dengan menggunakan gyro plus integrator sebagai sensor kemiringan utama ditambah dengan accelerometer untuk mengoreksi waktu *drift* gyro plus integrator disaat percepatan nol atau sangat kecil. Data accelerometer dilemahkan agar tidak menimbulkan kesalahan yang besar. Berikut blok diagram rangkaian sensor,



Gambar 12. Blok Diagram Rangkain Sensor

3.4 Blok Diagram Sistem Robot Balance

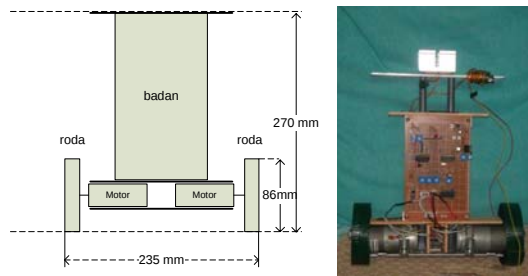
Dari analisa dan pembahasan mengenai sistem *robot balance* dapat dibuat desain blok diagram sistem robot balance seperti pada gambar 13 .



Gambar 13. Blok Diagram sistem Robot Balance

4. UJI COBA DAN HASIL

4.1 Sistem Mekanik



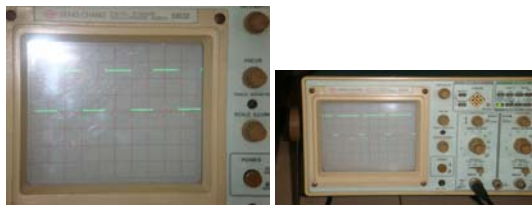
Gambar 14. Robot Balance

Tabel 1. Massa Robot Balance

no		quantity	Berat(gram)	Jumlah bobot(gram)
1	Motor dc	2	220	440
2	roda	2	50	100
3	Rangkaian dan sensor	1	80	80
4	Rangka dan badan robot	1	280	280
Total berat robot				900

4.2 Pengujian Kontrol Motor

Keluaran PWM pada dasarnya adalah pulsa-pulsa yang mengalir secara seri dengan variasi lebar pulsa yang berbeda beda. Perbedaan lebar pulsa Keluaran PWM memungkinkan h-bidge (L298) mengontrol kecepatan putar motor DC. Torsi yang dihasilkan oleh motor adalah fungsi dari nilai rata-rata arus yang disuplai ke motor. Dibawah ini adalah gambar hasil pengukuran keluaran rangkaian PWM dengan frekuensi 20 khz.

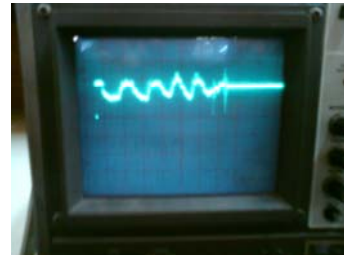


Gambar 15. Pengukuran Pulsa PWM, (a) pada keadaan setimbang (b) pada kemiringan $\pm 20^\circ$

Dapat dilihat bahwa dalam keadaan setimbang pulsa PWM mempunyai duty cycle sebesar 50%, pada keadaan miring motor berputar menggerakkan badan robot kearah kemiringan tersebut.

4.3. Pengujian Kontroler pada robot balance

Respon kontroler robot balance sangat menentukan dapat tidaknya robot mencapai keadaan setimbang, Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop storage seperti terlihat pada gambar 28. dibawah ini,



Gambar 16. Respon Kontroler pada Rangkaian Robot setimbang

Dari Gambar 28. Dapat dilihat bahwa sinyal berosilasi kemudian konstan pada satu harga, artinya sistem robot balance akan stabil setelah beberapa saat berosilasi, jika dilihat selanjutnya pada osiloskop sebenarnya akan terjadi lagi osilasi berikutnya yang menandakan bahwa robot bergerak miring kekiri kemudian miring kekanan beberapa kali kemudian diam.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan realisasi sistem *robot balance* kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa maka dapat disimpulkan bahwa, dalam pengujian dengan beberapa kali tuning pada kontroler PID, sistem *Robot Balance* dapat mencapai kestabilan yaitu mampu mempertahankan posisi pada keadaan tegak lurus. Pada pengujian dengan memberikan gaya dorong pada saat keadaan setimbang, akan direspon kembali oleh sistem dengan pemberian torsi pada motor kearah yang berlawanan dengan gaya tersebut sehingga kesetimbangan kembali. Penggunaan sensor *Gyro* dan *accelerometer* menghasilkan informasi yang akurat kepada kontroler sehingga *robot balance* dapat mencapai kesetimbangannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grasser, Felix; D'arrigo, Aldo; Colombi Silvio; Rufer, Alfred (2001), "JOE: A Mobile Inverted Pendulum", *Laboratory of Industria. Electronics Swiss Federal Institute of Technology Lausanne*
- [2] Ho,Khoo Chye Randal. "Balancing Wheelec Robot" Faculty of Engineering and Surveying- University of Southern Queensland; 2005
- [3] Kevin C, "Developing a Two Wheel Self-Balancing transport Platform, Birmingham UK : Packt Publishing, 2006.
- [4] Daniel Bauen et Brent Ziegler, *Balancing Robot*, internet dilihat 2 juni 2011,
- [5] Li Chaoquan, Gao Xueshan et Li Kejie Smooth Control the Coaxial Self-BalanceRobot Under Impact Disturbances Intelligent Robotics Institute, Beijing Institute of Technology, 2011