

INVERTED PENDULUM PADA *PROTOTYPE* MOBIL DENGAN METODE KENDALI PROPORSIONAL INTEGRATIF DERIVATIF

Sigit Priyo Jatmiko¹, Wijaya Kurniawan, S.T., M.T.², Barlian Henryranu Prasetyo, S.T., M.T.³

Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya

e-mail: signsigit@gmail.com¹, wjaykurnia@ub.ac.id², barlian@ub.ac.id³

Abstrak

Penelitian tentang pendulum terbalik yang mempunyai karakteristik yang tidak stabil dan nonlinier banyak dilakukan diberbagai belahan dunia. Salah satu penelitian pendulum terbalik adalah pendulum terbalik pada model kereta, penelitian model kereta ini tidak bisa berpindah tempat hanya terpaku pada relnya saja, agar bisa berpindah – pindah supaya bisa dipergunakan untuk alat transportasi diperlukan perubahan dari model kereta ke penelitian Inverted Pendulum pada prototipe mobil. Penelitian ini membuat setimbang bandul atau pendulum pada badan prototipe mobil dengan cara roda prototipe mobil maju atau mundur sesuai dengan arah jatuhnya bandul agar bandul dapat berdiri tegak, kontroller PID digunakan untuk mengatur pergerakan 4 roda terpasang pada prototipe mobil sehingga memungkinkan bandul atau pendulum dalam posisi setimbang atau tegak dengan cara bergerak maju atau mundur sesuai pembacaan sensor. Dengan menggunakan metode proporsional integratif derivatif yang ditanamkan pada kontroller arduino uno dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$ dan $K_d = 0$ sistem dapat berjalan sesuai yang diinginkan yaitu bandul atau pendulum dapat setimbang dan motor mampu bergerak sesuai arah jatuhnya bandul atau pendulum.

Kata kunci : *pendulum terbalik model kereta, Inverted Pendulum, Kontroller PID*

1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang pendulum terbalik sudah lama dilakukan diberbagai belahan dunia, dengan berbagai cara dan bentuk penelitian yang dilakukan agar dapat membuat kesimpulan tentang kontroller pendulum terbalik tersebut. Berbagai metode digunakan dalam penelitian yang dilakukan untuk mencari metode apa yang terbaik untuk menyetimbangkan pendulum tersebut. Pendulum terbalik mempunyai karakteristik yang tidak stabil dan *nonlinier*, titik berat berada pada atas titik tumpunya sehingga perlu disetimbangkan (anyakrawati, 2015)¹.

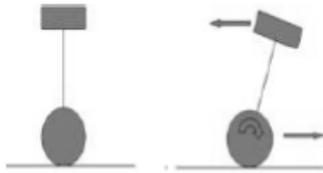
Prinsip kerja dari pendulum terbalik membuat banyak penelitian seperti pendulum terbalik pada model kereta adalah salah satu penelitian yang dilakukan, karakteristik dari sistem non linier yang sederhana tapi sulit untuk dikontrol sehingga sering digunakan berbagai metode untuk mengkontrolnya (Agustinah, 2014)², balancing robot beroda dua juga menggunakan prinsip kerja dari pendulum terbalik karena robot menyetimbangkan badan robot agar mampu berdiri tegak lurus terhadap permukaan bumi dibidang yang datar (Ketaren, 2015)³. Pengaplikasian prinsip kerja pendulum terbalik dapat berguna dalam menunjang aktifitas manusia dalam kesehariannya, seperti yang diberitakan di liputan6 (Liputan6.com, 2015)⁴ one self-balancing electric unicycle menjadi salah satu alat transportasi yang dipamerkan dalam ajang Consumer Electronic Show (CES) tahun 2015,

alat ini mampu setimbang terhadap permukaan bumi dan mampu dikendarai oleh satu orang.

Beberapa hal yang disebutkan diatas membuktikan bahwa penelitian pendulum terbalik penting untuk dilakukan, tujuan dari penelitian tidak berhenti pada pendulum dengan model kereta, akan tetapi berlanjut pada penelitian pendulum terbalik sebagai alat transportasi yang mampu membawa manusia pindah dari satu tempat ke tempat yang lain. Penelitian pendulum dengan model kereta yang titik beratnya terhadap gravitasi bumi terpaku pada rel kereta yang tidak mampu dipindah-pindah, sedangkan pada alat transportasi harus mampu dipindah-pindah, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian yang memodelkan sistem pendulum kereta ke pendulum yang mempunyai roda agar selanjutnya bisa dibuat alat transportasi (*segway*) yang mampu berpindah-pindah pada titik beratnya. Pada penelitian “Inverted Pendulum pada *prototype* mobil dengan metode proporsional, integratif derivatif” yaitu memodelkan sistem pendulum kereta ke model prototipe mobil yang mampu berpindah-pindah tempat, sehingga pada akhirnya bisa membuat alat transportasi dengan prinsip pendulum terbalik yaitu *segway*. Penelitian ini menggunakan metode PID, kontroller arduino uno sebagai kontroller utama sistem, driver motor L298N sebagai driver motor, dan motor DV sebagai penggerak prototipe mobil agar bandul atau pendulum yang mempunyai sifat dinamis atau tidak menentu pergerakannya (maju atau mundur) yang terpasang di body mobil bagian atas mampu setimbang sesuai yang diharapkan.

2. INVERTED PENDULUM

Dasar untuk membuat robot beroda dua dapat setimbang adalah mudah dengan cara mengendalikan roda searah dengan jatuhnya bagian atas sebuah robot. Apabila proses tersebut dapat terlaksana maka robot tersebut dapat setimbang (Kataren et al., 2015)³.



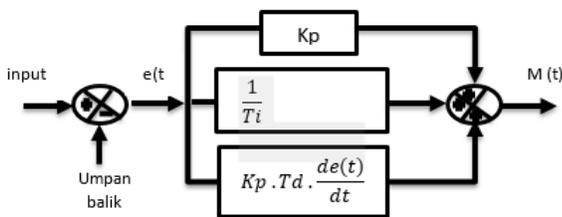
Gambar 1.1 Balancing Robot

Saat balancing robot beroda dua condong kedepan atau miring ke kanan seperti Gambar 1.1 maka tindakan yang perlu dilaksanakan adalah motor bergerak searah dengan arah kemiringan yang terjadi, sehingga robot akan kembali tegak lurus dengan permukaan bodang datar, gaya yang digunakan untuk menyetimbangkan robot didapat dari putaran roda yang dihasilkan dari motor DC.

3. METODE PID

PID adalah (proportional-integral-derivative controller) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut .

Komponen PID terdiri dari tiga jenis Proportional, Integrative dan Derivatif dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.



Gambar 1.2 Diagram Blok Kontrol PID

4. SISTEM KENDALI

Sistem kendali adalah suatu susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain. Di dalam dunia engineering dan science sistem kendali cenderung dimaksudkan untuk sistem kendali dinamis (Agustian, 2013)⁵.

Sistem kendali terdiri dari sub-sistem dan proses (atau plants) yang disusun untuk mendapatkan keluaran(output) dan kinerja yang diinginkan dari input yang diberikan. Gambar 1.3 di bawah ini menunjukkan blok diagram untuk sistem kendali paling sederhana, sistem kendali membuat sistem dengan input yang diberikan menghasilkan output yang diharapkan.



Gambar 1.3 Deskripsi Sederhana Sistem Kendali

5. MOTOR DC

Motor DC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan DC. Motor DC atau motor arus searah sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung dan tidak langsung/direct-unidirectional. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas (Zonaelektro, 2013)⁶.



Gambar 1.4 Motor DC

6. ARDUINO UNO

Arduino Uno adalah papan sirkuit berbasis mikrokontroler ATmega328. IC (integrated circuit) ini memiliki 14 input/output digital (6 output untuk PWM), 6 analog input, resonator kristal keramik 16 MHz, Koneksi USB, soket adaptor, pin header ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontrol secara mudah terhubung dengan kabel power USB atau kabel power supply adaptor AC ke DC atau juga battery (Ihsan, 2015)⁷. Bentuk dari board arduino uno dapat dilihat pada gambar 1.5.



Gambar 1.5 Board Arduino Uno

7. SENSOR GYROSCOPE DAN ACCELEROMETER

Erosi merupakan proses pengikisan objek pada citra biner. Gyroscope merupakan suatu alat elektronik yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sudut dengan satuan ($^{\circ}/s$) yang dialami oleh suatu benda pitch, roll dan yaw. Sedangkan sensor accelerometer sendiri merupakan suatu piranti elektronik yang digunakan untuk mengukur percepatan yang terjadi pada keadaan tertentu. Sensor accelerometer dapat digunakan untuk mendapatkan posisi dari suatu benda dengan melakukan percepatan itu sendiri sebanyak dua kali terhadap waktu (Seifert, et al, 2007)⁸.

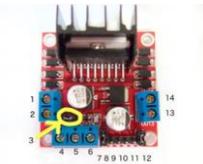
Sensor MPU-6050 membutuhkan tegangan kerja 3,3V. Tetapi modul ini telah dilengkapi dengan regulator tegangan 3,3V sehingga bisa langsung dihubungkan ke tegangan 5V. Sensor ini mempunyai dua buah keluaran yaitu SCL dan SDA masing-masing dihubungkan ke PC.0 dan PC.1



Gambar 1.6 Sensor MPU-6050

8. DRIVER MOTOR L298N

L298N adalah contoh IC yang dapat digunakan sebagai driver motor DC. IC ini menggunakan prinsip kerja H-Bridge. Tiap H-Bridge dikontrol menggunakan level tegangan TTL yang berasal dari output mikrokontroler. L298N dapat mengontrol 2 buah motor DC. Tegangan yang dapat digunakan untuk mengendalikan robot bisa mencapai tegangan 46 Vdc dan arus mencapai 2 A untuk setiap kanalnya (Intructables.com. 2015)⁹.

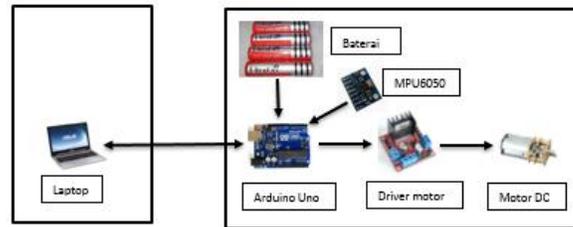


Gambar 1.8 Driver Motor L298N

9. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

9.1. Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan dilakukan secara bertahap, dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Gambar 2.1 dapat dilihat gambaran sistem secara umum.



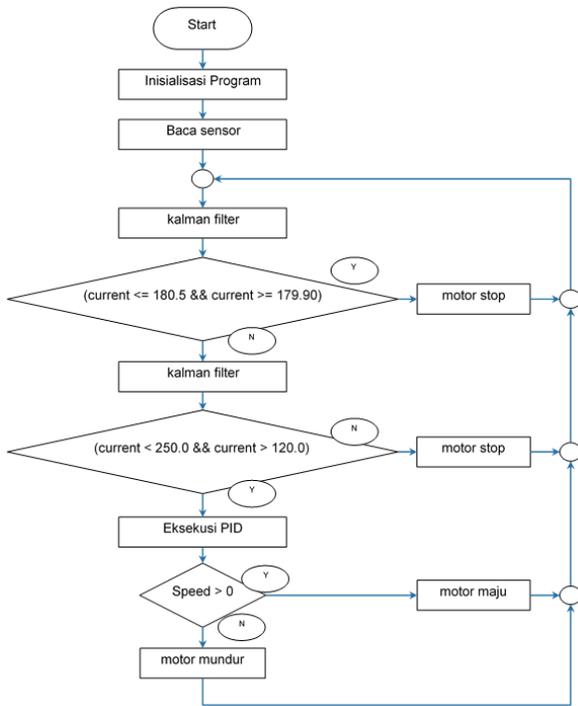
Gambar 2.1 Gambaran Umum Sistem

Pada Gambar 2.1, elemen-elemen yang digunakan dalam perancangan sistem dapat dijelaskan seperti berikut:

- *Laptop* digunakan sebagai antar muka serial monitor arduino uno, memprogram dan *upload* program ke controller arduino uno.
- Arduino uno sebagai minimum sistem untuk menjalankan sistem yang dibuat.
- sensor IMU6050 digunakan untuk mendeteksi kemiringan bandul.
- Driver LM298N sebagai pengatur arah gerak motor.
- *Baterai* sebagai catu daya sistem.
- Motor DC sebagai penggerak roda *prototipe* mobil.

9.2. Flowchart Program Utama

Pada gambar 2.2 dapat dilihat alur dari program utama dari sistem dimulai dengan inialisasi program, setelah itu pembacaan sensor, hasil pembacaan sensor masuk pada pemfilteran kalman filter, dipemfilteran ini dimaksudkan untuk mengurangi noise pada hasil pembacaan sensor. Nilai dapatan sensor didapat nilai sudut (current), dan dibuat kondisi dimana ($current \leq 180.5$ && $current \geq 179.90$) jika bernilai benar maka motor stop jika bernilai tidak maka mengambil nilai dari hasil pemfilteran dan masuk kondisi selanjutnya ($current < 250.0$ && $current > 120.0$) jika bernilai tidak benar maka motor stop dan jika bernilai benar maka nilai akan dieksekusi pada metode pid yang menghasilkan nilai yang berupa pwm (speed), selanjutnya masuk pada kondisi $speed > 0$ jika bernilai benar maka motor bergerak maju dan jika bernilai tidak maka motor bernilai mundur. Kalman filter sudah ada pada library arduino uno untuk pemfilteran sensor IMU6050 maka dari itu tidak dijelaskan pada laporan ini melainkan hanya menggunakan library dari arduino uno.



Gambar 2.2 Flochart Program Utama

9.3. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan mekanik menjelaskan tentang perancangan perangkat keras seperti perancangan body prototipe mobil, tempat baterai, tempat motor dan gearbox, bandul atau pendulum.

A. Perancangan *body prototipe* mobil

Desain body prototipe mobil keseluruhan dibuat dari bahan akrilik, akrilik dipotong menjadi dua bagian dengan panjang 25,5 cm dan lebar 15,5 yang sama, kedua potongan tadi diberi lubang-lubang dengan diameter 1mm untuk tempat baut, dipotong untuk tempat roda.

B. Perancangan tempat baterai

Desain tempat baterai dibuat dari kayu triplek yang dipotong membentuk sebuah kotak dengan panjang 13 cm dan lebar 6 cm menyesuaikan dengan bentuk baterai. Tempat baterai disini dibuat hanya untuk 4 baterai saja, untuk sambungan baterai atau konektor dibuat dari seng dan pir tempat batrei bekas, konektor tersebut disambung dengan 2 kabel (satu + dan satu -) dengan cara disolder.

C. Perancangan motor dan *gearbox*

Desain motor dan gearbox menyesuaikan dengan bentuk motor, disini motor yang digunakan adalah motor DC N20 yang sudah ada gearboxnya. Untuk menempatkan motor dc ke body atau chasis prototipe mobil, pertama motor diletakan pada chasis diukur bentuknya, setelah itu dibuat 2 lubang baut disamping kiri dan kanan motor DC untuk membaut pangkon

motor DC supaya motor DC tidak lepas saat motor berputar.

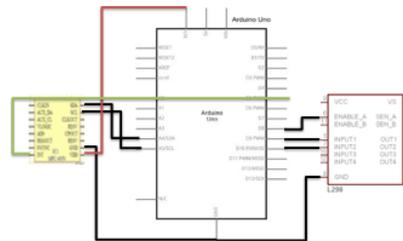
D. Perancangan bandul atau pendulum

Desain bandul atau pendulum dibuat dari akrilik yang dipotong dengan panjang 30cm dan lebar 2cm. Bentuknya memanjang dengan ujung lebih kecil dari pangkal bandul atau pendulum. Pada pangkal bandul atau pendulum dibuat lubang untuk meletakan potensio meter, ini dimaksudkan agar bandul atau pendulum bergerak bebas kedepan atau kebelakang. Pada bandul atau pendulum juga dibuat tempat untuk meletakan sensor mpu6050.

9.4. Perancangan Perangkat Keras

A. Perancangan elektrik

Perancangan elektrik yang digunakan pada sistem ini yaitu sensor mpu6050 6dof, mikrokontroler arduino, dan driver motor L298N. Rangkaian dari masing alat akan dijelaskan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Perancangan Elektrik

B. Perancangan komunikasi

Perancangan komunikasi pada sistem ini adalah komunikasi antara kontroller arduino uno dengan laptop secara serial. Untuk menghubungkan laptop dengan arduino uno menggunakan USB A, setelah dihubungkan apabila lampu led yang ada pada arduino uno berkedip-kedip warna kuning maka arduino uno sudah terhubung dengan laptop.

C. Perancangan Kontroller

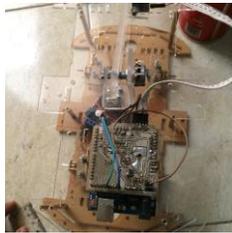
Kontroller yang digunakan pada penelitian ini adalah kontroller Proporsional, Integratif dan Derivatif atau disingkat PID. Penelitian ini menggunakan salah satu tuning dari PID yaitu trial dan error yaitu dengan cara memasukan nilai proporsional (Pi), integratif (Ki), dan derivatif (Kd). Setiap nilai mempunyai pengaruh yang berbeda seperti nilai Pi mengurangi error steady state (waktu awal), menurunkan rise time (waktu naik), dan meningkatkan overshoot (titik maksimum), selanjutnya nilai ki menghilangkan error steady state (waktu awal), menurunkan rise time (waktu naik) dan meningkatkan overshoot (titik maksimum), dan yang terakhir ki menurunkan overshoot (titik maksimum) atau memberi efek redaman. Pada penelitian ini didapat

nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$ dan $K_d = 0$ mempunyai respons paling baik.

9.5. Implementasi Sistem

Implementasi perangkat keras pada inverted pendulum pada prototipe mobil yang digunakan adalah mikrokontroler arduino uno, driver motor menggunakan L298N, driver motor ini membutuhkan tegangan 12volt, sensor yang digunakan adalah sensor MPU6050 6dof.

Keseluruhan alat dihubungkan satu sama lain melalui port dimasing-masing alat agar terbentuk sebuah sistem yang dapat bekerja dengan baik. Pada gambar 2.4 akan ditunjukkan implementasi perangkat keras yang sudah terhubung satu sama lain.



Gambar 2.4 Implementasi Perangkat Keras

Spesifikasi dari perangkat keras inverted pendulum pada prototipe mobil sebagai berikut:

- Perangkat komputer / laptop.
- Baterai.
- Arduino uno.
- Driver motor.
- Sensor IMU 6050.
- Motor DC 12volt.

10. PENGUJIAN

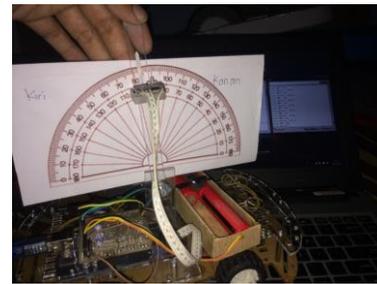
10.1. Pengujian Sensor

Dalam melakukan pengujian sensor yang diuji adalah perubahan sudut gyroscope dan accelerometer yang ada pada sensor MPU6050. Pengujian gyroscope dan accelerometer bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari gyroscope dan accelerometer dalam membaca perubahan sudut bandul atau pendulum.

Sensor terpasang pada bandul atau pendulum dan terhubung dengan mikrokontroler arduino uno dan kemudian data dari keluaran sensor akan dibuat input dan keluarannya adalah nilai RPM. Kemiringan bandul atau pendulum dapat diubah – ubah sesuai dengan papan sudut yang sudah disediakan.

Perubahan sudut yang terjadi akan ditampilkan lewat serial monitor arduino uno pada komputer. Cara pengambilan data pada sensor MPU6050. Gambar 3.1 menunjukkan cara pengambilan data pada sensor

MPU6050 dan tabel 3.1 menunjukkan pengamatan pada sensor MPU6050.



Gambar 3.1 Cara Mendapatkan Data Sensor MPU6050

Tabel 3.1 Data Pengamatan Pada Sensor MPU6050

No	DATA			
	Sudut sensor (°)	Sudut Aktual (°)	Akurasi (0-100%)	Arah pendulum
1	40.40	40	99%	Miring kiri
2	50.30	50	99.40%	Miring kiri
3	60.41	60	99.32%	Miring kiri
4	70.34	70	99.51%	Miring kiri
5	80.61	80	99.24%	Miring kiri
6	90.07	90	99.92%	Tegak lurus
7	100.57	100	99.43%	Miring kanan
8	110.39	110	99.64%	Miring kanan
9	120.40	120	99.66%	Miring kanan
10	130.35	130	99.73%	Miring kanan
Rata-rata			99.48%	

Dari tabel 3.1 terlihat bahwa pembacaan sudut gyroscope dan accelerometer sudah akurat, terlihat dari selisih sudut sensor dengan sudut aktual yang kecil.

Akurasi sensor didapat dari perhitungan akurasi= $(\text{sudut aktual})/(\text{sudut sensor}) \times 100\%$

Contohnya perhitungan akurasi sensor akurasi= $90/90.07 \times 100\% = 99.92\%$

10.2. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mengetahui kerja dari perangkat keras dan perangkat lunak setelah diintegrasikan dalam sebuah sistem yang terpadu.

Mula – mula prototipe mobil diletakan pada bidang datar (0°) kemudian pendulum ditegakkan ke atas terhadap posisi prototipe mobil kemudian pendulum dilihat berapa derajat dan berapa nilai PWM yang dihasilkan pada serial monitor, untuk melihat cara pengambilan datanya dapat dilihat pada gambar 3.2, gambar tersebut memperlihatkan pengukuran hasil derajat sensor dan nilai PWM dan posisi pendulum dalam ukuran derajat.



Gambar 3.2 Cara Pengambilan Data

Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah perubahan nilai derajat sensor dengan nilai PWM yang dihasilkan perhitungan sistem. Tabel 3.2 menunjukkan data hasil pengujian keseluruhan sistem.

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Nilai Derajat Sensor Terhadap Nilai PWM

No	Nilai derajat (°)	Nilai PWM	Posisi pendulum (derajat)	Gerak Motor DC (RPM)	Akurasi (0-100%)
1	87.61	0	Lurus (87°)	Diam (0 RPM)	100%
2	90.85	28	Lurus (90°)	Diam (121 RPM)	100%
3	105.60	154	miring ke kanan (105°)	Bergerak pelan (664 RPM)	100%
4	110.46	195	miring ke kanan (110°)	Berputar cepat (841 RPM)	100%
5	120.40	255	Miring ke kanan (120°)	Berputar cepat (1100 RPM)	100%
6	80.56	-58	Miring ke kiri (80°)	Berputar pelan (-250 RPM)	100%
7	70.64	-140	Miring ke kiri (70°)	Berputar pelan (-603 RPM)	100%
8	65.10	-190	Miring ke kiri (65°)	Berputar cepat (-820 RPM)	100%
9	50.70	-255	Miring ke kiri (50°)	Berputar cepat (-1100 RPM)	100%

Nilai RPM didapat dari perhitungan $RPM = PWM/255$ x kecepatan motor

Contohnya $RPM = 195/255 \times 1100 = 841 \text{ RPM}$

11. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi dan pengujian yang dilakukan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian yang sudah dilakukan mendapatkan hasil rata-rata keakuratan pengukuran sensor sebesar 99.48%, dari hasil pengamatan tersebut disimpulkan sensor yang dipakai akurat.
2. Dari pengujian keseluruhan sistem mendapatkan akurasi 100%, sensor mampu membaca sudut dengan baik, gerak motor DC sesuai dengan arah jatuhnya bandul atau pendulum.
3. Dengan menggunakan metode proporsional integratif yang ditanamkan pada

kontroller arduino uno dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$ dan $K_d = 0$ sistem dapat berjalan sesuai yang diinginkan yaitu bandul atau pendulum dapat setimbang dan motor mampu bergerak sesuai arah jatuhnya bandul atau pendulum.

12. SARAN

Pengembangan yang lebih lanjut diharapkan dapat menghasilkan sistem yang lebih baik dan kompleks dengan memperbaiki kinerja sistem yang telah dibuat, dari itu dapat ditarik beberapa saran sebagai berikut:

1. Sistem ini dapat dikembangkan dan di implementasikan pada alat transportasi dua roda atau satu roda.
2. Disarankan untuk menggunakan sensor selain MPU6050 dan metode yang lain agar menghasilkan sistem yang lebih baik pada penelitian selanjutnya.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan merubah bentuk body prototipe mobil menjadi alat transportasi sesungguhnya agar lebih bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anyakrawati, Aretasiwi. 2015. "Implementasi Model Reference Adaptive Systems (Mras) Untuk Kestabilan Pada Rotary Inverted Pendulum," Jurnal Seminar 1:6-1
- Tanzania, Niora Fatimah., Agustinah, Trihastuti. "Stabilisasi Pada Sistem Pendulum-Kereta dengan Menggunakan Metode Fuzzy-Sliding Mode Control". JURNAL TEKNIK POMITS. Vol. 3, No.1, 2014
- Ketaren, Lio Prisko., et al. 2015. *Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Kontrol Proporsional Integral dan Derivatif*. ELEMENTER 1:48-39
- Mahardy, Denny. 2015. Walkherwheel 350, alat transportasi canggih masa depan. [teks dan image online] Tersedia di: <http://tekno.liputan6.com/read/2157465/walkherwheel-350-alat-transportasi-canggih-masa-depan> [Diakses 15 Agustus 2016]
- Agustian, Indra. M.Eng. 2013. Definisi Sistem Kendali. [Teks dan image online] Tersedia di: <http://te.unib.ac.id/lecturer/indraagustian/2013/06/definisi-sistem-kendali/> [diakses 5 Februari 2015]

- Zonaelektro. 2013. Motor DC. [Teks online]
Tersedia di: <http://zonaelektro.net/motor-dc/>
[diakses 5 Februari 2015]
- Ihsan. 2013. Pengertian Arduino UNO Mikrokontroler Atmega328. [Teks dan image online]
Tersedia di:
<http://www.caratekno.com/2015/07/pengertian-arduino-uno-mikrokontroler.html>
[diakses 5 Februari 2015]
- Seifert, Kurt., Camacho Oscar. (2007). Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers, freescale Semiconductor, Rev 0.
- Instructables. 2015. Control DC stepper motor with L298N Dual Motor Controller Moduler Arduino. [Teks online]
Tersedia di:
<http://www.instructables.com/id/Control-DC-and-stepper-motors-with-L298N-Dual-Moto/>
[diakses 30 Januari 2015]