

# KONSEP DESAIN SISTEM KONTROL PADA PERANCANGAN SEGWAY

**Calvin, Agustinus Purna Irawan, Didi Widya Utama**  
 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara  
 e-mail: kevinvalent@yahoo.com

## ABSTRACT

*Segway is one of the two wheeled personal transportation device which is balance themselves and functionally used for short distance. Two electric motors are used as the actuator and must be synchronized by microcontroller. Synchronization do with AVR Studio and Microsoft Visual Basic Software. Synchronization is performed to get a good position of balancing and turning. Result of running test of the programs designed, sensors testing, and motors testing showed that the design of control system can be used to synchronize two electric motors.*

**Keywords:** design, segway, control system

## ABSTRAK

*Segway merupakan salah satu alat transportasi personal roda dua yang dapat menyeimbangkan diri sendiri dan secara fungsional digunakan untuk keperluan jarak dekat. Pada perancangan Segway ini digunakan dua motor listrik sebagai penggeraknya yang harus disinkronisasi dengan menggunakan mikrokontroler. Proses sinkronisasi dilakukan dengan AVR Studio dan Microsoft Visual Basic Software. Proses sinkronisasi bertujuan untuk mendapatkan keseimbangan dan posisi berbelok yang baik. Hasil eksekusi program, pengujian sensor dan motor listrik menunjukkan bahwa program yang dibuat dapat menghasilkan sinkronisasi dua motor listrik yang cukup baik.*

**Kata kunci:** perancangan, segway, sistem kontrol

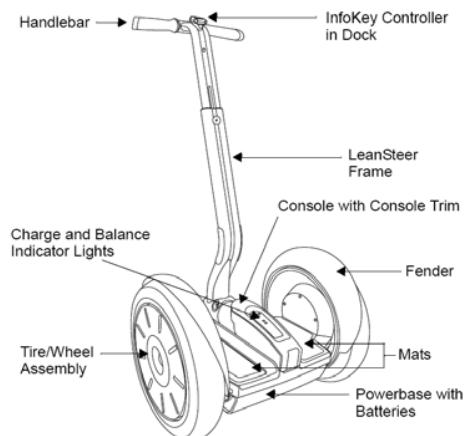
## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang transportasi personal menghasilkan sebuah alat transportasi yang menggunakan motor listrik sebagai tenaga penggeraknya. Alat transportasi personal tersebut dikenal dengan nama segway. Segway diluncurkan pertama kali pada tanggal 3 Desember 2001 oleh Dean Kamen di Amerika Serikat. Sistem teknologi segway menggunakan mikroprosesor dan rangkaian sensor yang berguna untuk menjaga keseimbangan pengendara [1,2,3].

Segway PT atau Segway Personal Transporter adalah kendaraan transportasi personal yang diproduksi oleh perusahaan segway di Amerika Serikat yang didasari oleh komitmen untuk memproduksi alat transportasi yang ramah lingkungan sebagai alternatif alat transportasi jarak dekat [1,2,3].

Segway PT dua roda disebut juga sebagai sekuter seimbang karena

kemampuannya untuk berdiri seimbang walaupun hanya ditopang oleh dua roda di sisi kanan dan kirinya. Selain sebagai sekuter seimbang, Segway PT juga bisa dikatakan sebagai self balancing robot karena kemampuannya untuk mempertahankan keadaan agar tetap seimbang. Segway memiliki sebuah tiang sebagai alat pengendali gerakan belok [1,2,3].



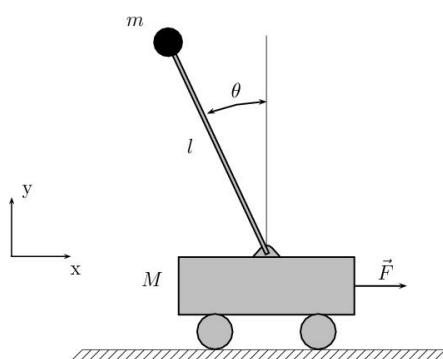
Gambar 1. Segway Personal Transporter [4]

Hal yang paling penting pada perancangan segway adalah sistem keseimbangan pada saat segway bergerak. Sistem kontrol yang baik, diperlukan agar dapat mencapai titik seimbang tersebut. Sistem kontrol yang baik adalah sistem kontrol yang stabil karena kestabilan merupakan persyaratan utama dari sistem kontrol. Di samping kestabilan, suatu sistem kontrol harus cukup cepat dan menunjukkan peredaman yang baik. Suatu sistem kontrol harus mampu memperkecil kesalahan sampai nol atau sampai pada suatu harga toleransi [1,2,3].

Jika sistem kontrol telah dirancang dengan baik dan memenuhi persyaratan di atas, maka diharapkan suatu sistem dapat bekerja dengan baik pula. Segway merupakan alat transportasi personal yang telah menggunakan teknologi sistem kontrol otomatis, sehingga diperlukan teknik pengaturan yang baik untuk mencapai keseimbangan pada titik beratnya.

### Pendulum Terbalik

Segway merupakan suatu kendaraan yang memiliki dua roda dan tidak akan seimbang apabila dalam keadaan diam. Segway merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik. Pendulum terbalik terdiri dari batang yang diletakkan di atas kereta beroda.



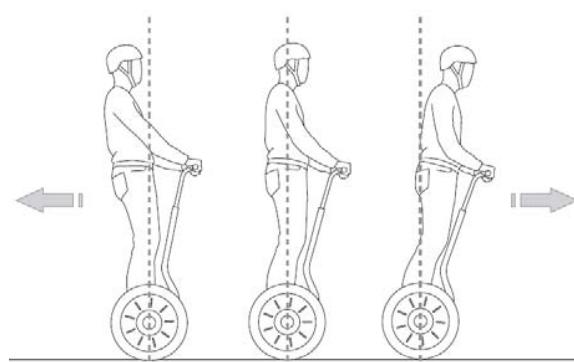
Gambar 2. Pendulum terbalik dengan sebuah kereta [5,6,7]

Dalam keadaan diam, pendulum yang diatur agar pada keadaan awal yang

tegak, akan mulai membentuk sudut  $\theta$  dan lama kelamaan akan jatuh karena adanya gaya gravitasi. Untuk dapat mempertahankan posisi pendulum pada suatu titik, diperlukan sebuah gaya yang dapat menahan pergerakan pendulum. Cara menghasilkan gaya tersebut adalah dengan membuat kereta tersebut maju searah dengan arah kemana pendulum tersebut condong/akan jatuh [5,6,7,8].

Sama dengan pendulum terbalik, dalam keadaan diam, segway tidak akan dapat mempertahankan posisinya untuk dapat berdiri tegak. Hal ini dikarenakan titik berat segway berada di atas sumbu putar sistem. Untuk itu diperlukan gaya yang dapat membuat segway tetap berdiri. Pada saat segway condong ke depan, maka tindakan yang perlu dilakukan adalah motor memutar roda searah jarum jam sehingga segway berjalan ke arah depan [5,6,7,8].

Gaya yang digunakan pada segway untuk menyeimbangkan diri dihasilkan dari putaran roda. Putaran roda ini berasal dari torsi yang dihasilkan oleh motor DC.



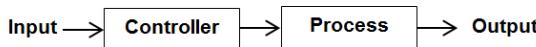
Gambar 3. Posisi Maju dan Mundur Segway [4]

### Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah suatu proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variable, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkaian harga (range) tertentu [9]. Beberapa hal penting pada sistem kontrol antara lain: plant, proses, sistem, gangguan, input, output, error signal, dan kontroler [10]. Terdapat

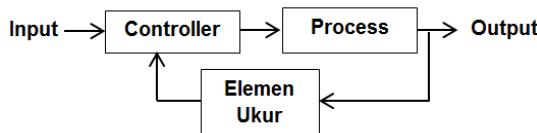
dua jenis sistem kontrol yang umum, yaitu sistem kontrol lup terbuka dan sistem kontrol lup tertutup.

Sistem kontrol lup terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Pada sistem kontrol lup terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpam-balikkan untuk dibandingkan dengan masukan, sehingga untuk setiap masukan acuan terdapat suatu kondisi operasi yang tetap. Ketelitian sistem bergantung pada kalibrasi.



Gambar 4. Diagram blok sistem kontrol lup terbuka [9]

Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem kontrol lup tertutup merupakan sistem kontrol berumpan-balik. Sinyal kesalahan penggerak yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik, diumpulkan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Oleh sebab itu, istilah lup tertutup berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

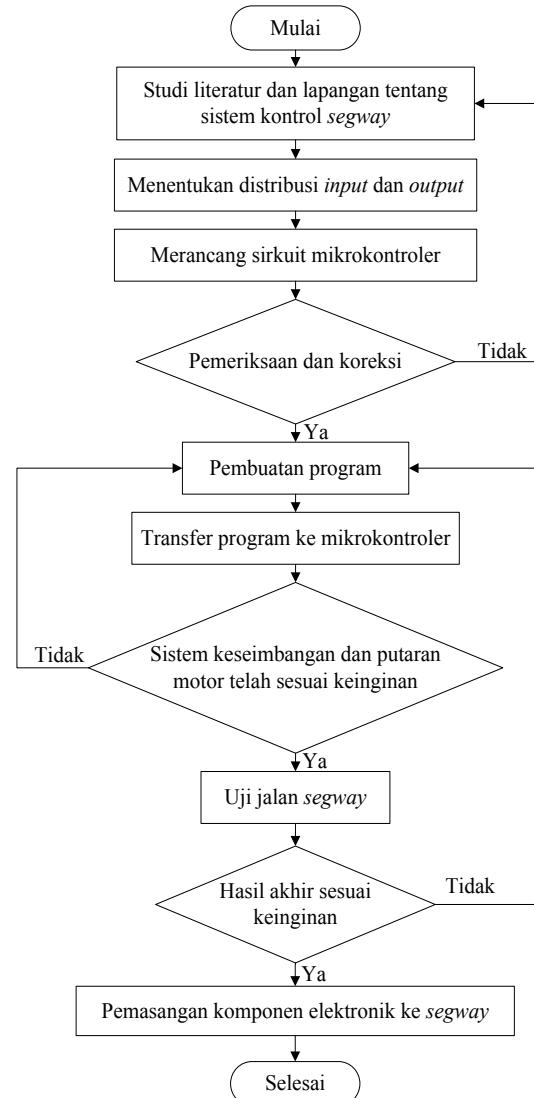


Gambar 5. Diagram blok sistem kontrol lup tertutup [9]

Hal lain yang perlu diperhatikan pada segway selain sistem kontrol ialah sistem konstruksi rangka dan sistem power train. Ketiga hal ini adalah rangkaian sistem yang perlu diperhatikan agar segway dapat bekerja dengan baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang konsep keseimbangan pada segway saat posisi bergerak dengan percepatan tertentu

dan pada saat belok agar aman bagi pengendara.

## METODE PERANCANGAN



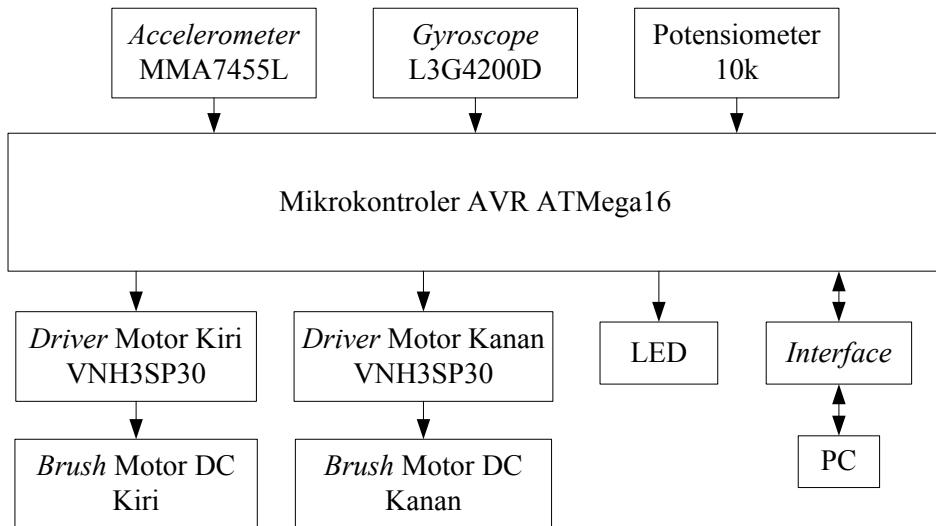
Gambar 6. Diagram Alir Perancangan Sistem Kontrol Segway

Metode perancangan sistem kontrol pada segway digambarkan dalam bentuk diagram alir perancangan dan pembuatan algoritma pemrograman sistem kontrol pada segway. Komponen elektronik yang digunakan dalam perancangan sistem kontrol segway antara lain: Brush Motor DC 24VDC 250W (2 buah), driver brush motor DC VNH3SP30 (2 buah), aki brush motor DC (1 buah), aki komponen

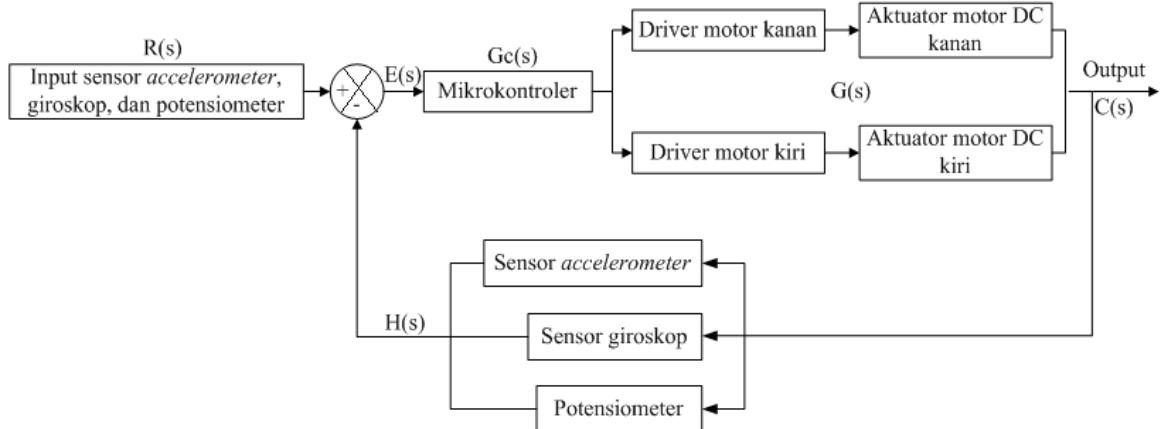
elektronik (1 buah), potensiometer 10k (1 buah), sensor giroskop L3G4200D (1 buah), sensor accelerometer MMA7455L (1 buah), mikrokontroler AVR ATMega16 (1 buah), saklar elektronik DPDT (2 buah), push button (1 buah).

Algoritma pemrograman dimulai dengan melakukan pembacaan sensor accelerometer untuk mengetahui apakah segway harus maju atau harus mundur.

Setelah pembacaan accelerometer, selanjutnya sensor yang dibaca adalah potensiometer. Hal ini dikarenakan segway harus mengetahui posisi maju/mundur berupa gerakan lurus atau gerakan belok. Kecepatan maju dan mundur diatur oleh sensor giroskop yang akan melakukan kalibrasi kecepatan segway agar dapat tetap seimbang.



Gambar 7. Diagram Blok Hardware Elektronik [11]



Gambar 8. Diagram Blok Sistem Kontrol Segway [11]

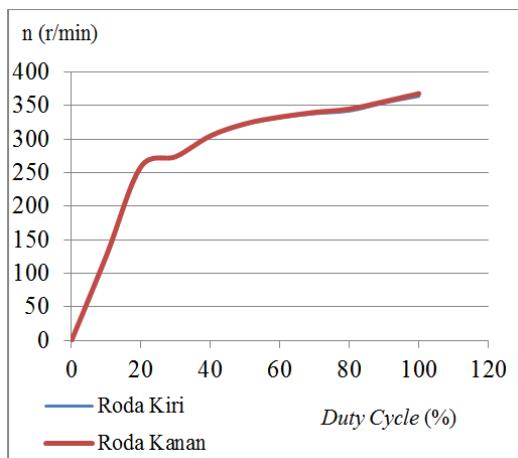
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Kecepatan Putaran Motor DC

Metoda yang digunakan untuk menguji kecepatan putaran motor DC ialah PWM 8 bit dan menggunakan tachometer digital untuk pengukuran putaran roda kanan dan kiri segway.

Tabel 1. Putaran Roda Kiri dan Kanan Pada Uji Motor DC [11]

Duty Cycle (%)	Putaran Roda Kiri (r/min)	Putaran Roda Kanan (r/min)
0	0	0
10	125	126
20	258	259
30	274	274
40	304	305
50	322	323
60	332	333
70	338	340
80	342	345
90	354	356
100	364	368

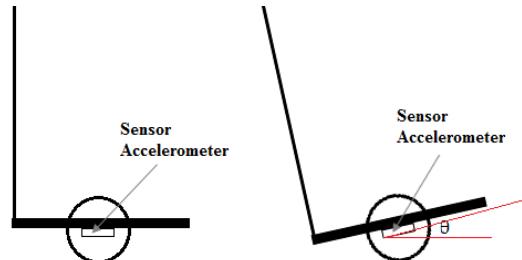


Gambar 9. Grafik Putaran Roda Segway Terhadap Duty Cycle [11]

Pada hasil pengujian putaran roda kiri dan kanan terdapat perbedaan putaran roda kiri dan kanan pada segway. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor, yaitu tingkat ketegangan rantai dan pemasangan baut pengikat pada motor, serta kesalahan dalam pengukuran menggunakan alat ukur yang dikalibrasi. Untuk hasil yang

maksimal putaran roda kiri dan kanan haruslah sama sehingga diperlukan sinkronisasi roda kiri dan kanan segway.

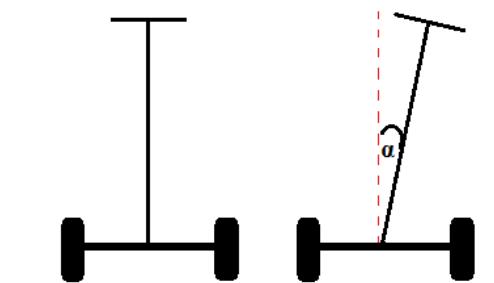
### Pengujian Sensor Accelerometer



Gambar 10. Skema Uji Sensor Accelerometer [11]

Pengujian sensor accelerometer dilakukan seperti Gambar 10 di atas dengan menggunakan bantuan alat ukur busur derajat dan mistar ukur. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh sudut kemiringan maksimal untuk posisi maju sebesar  $5^\circ$  dengan nilai I2C sebesar 24. Kemiringan maksimal untuk posisi mundur sebesar  $12^\circ$  dengan nilai I2C sebesar 2.

### Pengujian Potensiometer Steering



Gambar 11. Skema Uji Potensiometer Steering [11]

Pengujian steering dengan potensiometer dilakukan seperti Gambar 11 di atas dengan menggunakan bantuan alat ukur busur derajat. Pengukuran dilakukan dari arah pengendara segway. Jadi arah kemiringan seperti gambar di atas adalah arah kanan. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh sudut kemiringan maksimal untuk steering kanan dan kiri

sebesar  $20^{\circ}$  dengan nilai ADC tengah 507-517, nilai ADC maksimal steering kiri 435-515, nilai ADC maksimal steering kanan 515-595. Terdapat sedikit delay karena pada nilai ADC 507-515 dan 515-517, steering belum bekerja. Hal ini dikarenakan agar sistem steering segway tidak terlalu sensitif sehingga membahayakan pengendara.

### **Pengukuran Putaran Roda Segway Kondisi Maju**

Tabel 2. Data Pengujian Kondisi Maju Segway [11]

No	Sudut Kemiringan	Putaran Roda Kiri (r/min)	Putaran Roda Kanan (r/min)
1	$0^{\circ}$	0	0
2	$1^{\circ}$	183	184
3	$2^{\circ}$	234	235
4	$3^{\circ}$	287	288
5	$4^{\circ}$	337	339
6	$5^{\circ}$	360	362

Berdasarkan Tabel 2, dapat terlihat bahwa putaran roda yang terjadi berbanding lurus dengan sudut kemiringan yang terjadi pada segway. Akan tetapi terdapat perbedaan putaran roda kiri dan kanan karena beberapa faktor yang telah dijelaskan sebelumnya. Program telah dibuat dengan semaksimal mungkin untuk mengurangi perbedaan putaran yang terjadi. Proses pengukuran dilakukan dengan menaruh segway di atas sebuah bangku tanpa pengendara dan memulai proses pengukuran dengan busur derajat dan tachometer.

### **Pengukuran Putaran Roda Segway Kondisi Mundur**

Berdasarkan Tabel 3, dapat terlihat bahwa putaran roda yang terjadi berbanding lurus dengan sudut kemiringan yang terjadi pada segway. Akan tetapi

terdapat perbedaan putaran roda kiri dan kanan karena beberapa faktor yang telah dijelaskan sebelumnya. Putaran roda segway saat mundur diatur agar lebih rendah dibandingkan dengan putaran untuk kondisi maju segway. Hal ini dilakukan agar pengendara tetap aman saat segway berjalan mundur. Proses pengukuran dilakukan dengan menaruh segway di atas sebuah bangku tanpa pengendara dan proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan busur derajat dan tachometer.

Tabel 3. Data Pengujian Kondisi Mundur Segway [11]

No	Sudut Kemiringan	Putaran Roda Kiri (r/min)	Putaran Roda Kanan (r/min)
1	$0^{\circ}$	0	0
2	$2^{\circ}$	80	81
3	$4^{\circ}$	83	84
4	$3^{\circ}$	90	90
5	$6^{\circ}$	100	101
6	$8^{\circ}$	150	152
7	$12^{\circ}$	170	171

### **Sistem Belok Segway**

Berdasarkan data pengujian sistem belok segway, hasil yang diperoleh telah sesuai dengan apa yang diinginkan, yaitu sistem belok yang baik dan aman. Pada saat kondisi belok kiri terjadi reduksi putaran roda kiri dan untuk kondisi belok kanan terjadi reduksi putaran pada roda kanan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan menaruh segway di atas bangku dan proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan tachometer pada kondisi kecepatan maksimal segway maju.

Tabel 4. Hasil Pengujian Akhir [11]

No	Sudut Kemiringan	Sistem Belok Kiri		Sistem Belok Kanan	
		Putaran Roda Kiri (r/min)	Putaran Roda Kanan (r/min)	Putaran Roda Kiri (r/min)	Putaran Roda Kanan (r/min)
1	0°	350	352	350	347
2	4°	330	351	351	331
3	8°	312	352	351	313
4	12°	389	352	352	291
5	16°	270	350	350	268
6	20°	258	351	352	255

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh berdasarkan data-data hasil dan pembahasan yaitu pembacaan sudut maksimum base plate segway untuk maju adalah 5° dan untuk mundur adalah 12°. Pada sistem steering, sudut kemiringan tiang kemudi yang terjadi sebesar 20° untuk belok kiri dan kanan. Terjadi delay untuk nilai ADC 507-515 dan 515-517 agar pembacaan potensiometer tidak terlalu sensitif dan membahayakan pengendara. Putaran roda yang terjadi berbanding lurus dengan sudut kemiringan yang terjadi pada segway.

Saran adanya penambahan sensor giroskop untuk sistem steering segway agar lebih presisi dan baik, pemilihan sistem transmisi yang lebih baik seperti penggunaan gearbox dan encoder untuk pengambilan data putaran yang lebih akurat, dan lebih teliti.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ayça Göçmen. *Design Of Two Wheeled Electric Vehicle*. A Thesis. The Department Of Mechatronics Engineering. Atilim University. July 2011.
- [2] Susan A. Shaheen, Rachel Finson. *Bridging The Last Mile: A Study Of The Behavioral, Institutional, And Economic Potential Of The Segway Human Transporter*. Transportation Research Board. Paper 03-4470. January 2003.
- [3] Segway Inc. *Explore Segway PT Models for Individuals*.
- [4] www.segway.com/  
Reference Manual Segway PTi2, x2.  
www.segway.com
- [5] Umashankar Nagarajan. *Dynamic Constraint-based Optimal Shape Trajectory Planner for Shape-Accelerated Underactuated Balancing Systems*. Proceedings of Robotics: Science and Systems. 2010. ISBN-13: 978-0-262-51779-9.
- [6] H. Wiratran. *Perancangan dan Implementasi Embedded Fuzzy Logic Controller Untuk Pengaturan Kestabilan Gerak Robot Segway Mini*. Skripsi. ITS. Surabaya. 2011.
- [7] Arnoldo Castro. *Modeling And Dynamic Analysis Of A Two-Wheeled Inverted-Pendulum*. Thesis. School of Mechanical Engineering. Georgia Institute of Technology. 2012.
- [8] Endra Pitowarno, Kamajaya Putra. *Inverted Pendulum Human Transporter Balance Control System Based on Proportional Integral Derivative-Active Force Control*. The 13th Industrial Electronics Seminar 2011. 26 Oct. 2011. ISBN: 978-979-8689-14-7. pp. 170-173.
- [9] K. Ogata, E. Leksono. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [10] I.S. Prastoyo. *Simulasi Visual Tuning dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Pengontrolan Kecepatan Motor DC*. Skripsi. Universitas Kristen Petra. Surabaya, 2008.
- [11] Calvin, Agustinus P. Irawan, Didi W. Utama. *Perancangan Sistem Kontrol Pada Segway*. Skripsi. Universitas Tarumanagara, Jakarta, 2013.