



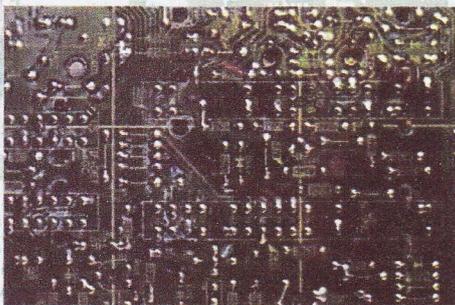
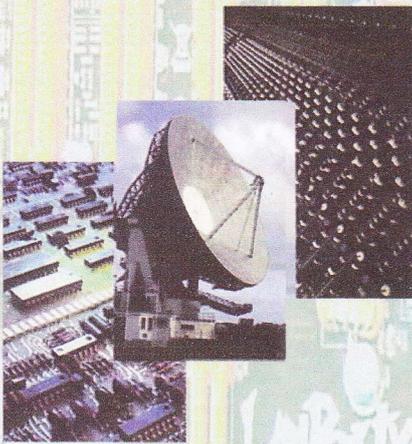
Sinusoida

Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmu Teknik

Sinusoida

Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmu Teknik Elektro

Vol. XV No.2, Oktober 2013



Daftar Isi	Hal
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Implementasi Sistem Per-Packet Load Balancing Antar Router Pada Jaringan LAN</i> Mufti Gafar dan Noor Rifani 	1
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Studi Mini Scada Untuk Menentukan Lokasi Gangguan Pada Jaringan Distribusi SUTM</i> H. Adib Chumaidy dan Sumito 	9
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Rancang Bangun Robot beroda Dua Dengan Sistem Balancing Kendali Proportional Integral</i> Edy Supriadi dan Dhiandru Kusuma A 	19
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Analisa Kinerja Local Area Network Dengan Metode M/M/1</i> Heru Abrianto dan Sucipto Nugroho 	30
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Pemanfaatan Personal Computer Pengembangan Electro-Cardiograph (ECG)</i> Abdul Muis 	41
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Alat Pelatihan Kode Morse Berbasis Mikrocontroller</i> Surya Alimsyah dan Nanang Irawan 	50
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Sistem Monitoring Suhu Pasien Untuk Telemetry Melalui Jaringan GSM</i> Irmayani dan Cepih Faisal A 	57
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Analisa Performansi Jaringan UMTS Jawa Barat</i> M. Hamdani dan M. Reza. M 	68
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Analisa Penambahan RNC pada Proses Load Balancing Dengan Metode Rehomeing</i> Ariman dan Osman RR 	76
<ul style="list-style-type: none"> ■ <i>Analisis Pengaruh Implementasi Refarming UMTS-900 Terhadap Kinerja Jaringan 2G</i> Syamsul El Yumin dan Siti RR 	100

RANCANG BANGUN ROBOT BERODA DUA DENGAN SISTEM *BALANCING* KENDALI PROPORSIONAL INTEGRAL

Eddy Supriyadi, Dhiandru Kusuma Agni
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta

Abstrak

Balancing robot (robot penyeimbang) beroda dua merupakan suatu robot *mobile* yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak akan seimbang apabila tanpa adanya kontroler. *Balancing* robot ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik (*inverted pendulum*) yang diletakkan di atas kereta beroda. Menyeimbangkan *balancing* robot beroda dua memerlukan suatu metode kontrol yang baik dan handal untuk mempertahankan posisi robot dalam posisi tegak lurus terhadap permukaan bumi, tanpa memerlukan pengendali lain dari luar. Tujuan utama dari tulisan ini adalah menggunakan metode kontrol yang baik untuk menjaga badan robot seimbang dalam posisi tegak lurus terhadap permukaan bumi. *Balancing* robot beroda dua ini menggunakan sensor ADXL345 *3-Axis Accelerometer Prototype Board* untuk mendeteksi kemiringan serta sensor ITG3200 *Gyroscope Module* untuk mendeteksi kecepatan sudut badan robot ketika akan terjatuh. Sedangkan untuk penggeraknya digunakan dua buah motor DC. Untuk meyelesaikan permasalahan tersebut digunakan sebuah metode kontrol Proporsional Integral (PI) untuk mengatur kecepatan dan arah putar motor DC. Penentuan nilai (*tuning*) parameter kontrol Proporsional dan Integral dilakukan dengan cara *trial and error*.

Abstract

Balancing robot (robot balancer) is a two-wheeled mobile robot that has two wheels on the right and the left that will not be balanced if without a controller. *Balancing* robot is the development of the model inverted pendulum (*inverted pendulum*) that is placed on a wheeled cart. *Balancing* the two-wheeled balancing robot requires a good control method and powerful tool to maintain the position of the robot in a position perpendicular to the earth's surface, without the need for other control from the outside. The main purpose of this paper is a good control method to keep the robot balanced body in a position perpendicular to the earth's surface. *Balancing* two-wheeled robot uses a sensor ADXL345 *3-Axis Accelerometer Prototype Board* to detect tilt and ITG3200 *Gyroscope* sensor module to detect the angular velocity of the robot when the body will fall. While for driving two DC motors are used. To settle this problem used a method of Proportional Integral control (PI) to control the speed and direction of DC motors turn. Determination of value (*tuning*) parameter Proportional and Integral control is done by *trial and error*.

Kata kunci: *accelerometer, gyroscope, balancing robot, Kontrol Proporsional Integral*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika telah membuat kualitas kehidupan manusia semakin tinggi. Saat ini perkembangan teknologi robotika telah mampu meningkatkan kualitas maupun kuantitas produksi berbagai pabrik. Teknologi robotika juga telah menjangkau sisi hiburan dan pendidikan bagi manusia. Salah satu cara menambah tingkat kecerdasan sebuah robot adalah dengan menambah sensor pada robot tersebut. Makalah ini memaparkan salah satu sudut teknologi robotika yaitu teknologi balancing robot.

Balancing robot (robot penyeimbang) beroda dua merupakan suatu robot mobile yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak akan seimbang apabila tanpa adanya kontroler. Balancing robot ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik (*inverted pendulum*) yang diletakkan di atas kereta beroda. Menyeimbangkan robot beroda dua memerlukan suatu metode kontrol yang baik dan handal untuk mempertahankan posisi robot dalam keadaan tegak lurus terhadap permukaan bumi tanpa memerlukan pengendali lain dari luar. Bahkan sekarang ini konsep balancing robot beroda dua telah digunakan sebagai alat transportasi yang bernama segway.

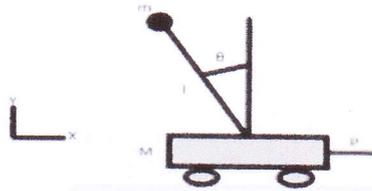
Tugas Akhir ini adalah untuk mendesain dan membangun balancing robot beroda dua yang mampu menyeimbangkan dirinya yang tegak lurus terhadap permukaan bumi di daerah bidang datar. Pada Tugas Akhir ini digunakan mikrokontroler AVR ATmega8535, sensor *accelerometer* dan *gyroscope* serta control *Proporsional Integral (PI)* sebagai metode pengendali. Kontrol Proporsional Integral digunakan untuk menentukan besarnya kecepatan dan arah putar motor DC sebagai

penggerak, berdasarkan sudut kemiringan badan robot terhadap permukaan bidang datar. Sehingga balancing robot ini dapat mempertahankan posisinya tegak lurus dengan seimbang terhadap permukaan bumi pada bidang datar.

II. DASAR TEORI

2.1 *Balancing Robot Beroda Dua dan Pendulum Terbalik*

Balancing robot beroda dua merupakan suatu robot *mobile* yang memiliki dua buah roda disisi kanan dan kirinya yang tidak akan seimbang apabila tanpa adanya kontroler. *Balancing* robot beroda dua ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik yang diletakkan di atas kereta beroda.



Gambar 2.1 Pendulum Terbalik di Atas Kereta Beroda

Saat *balancing* robot beroda dua condong ke depan atau miring ke kanan pada Gambar 2.2, maka tindakan yang perlu dilakukan adalah kedua motor akan memutar roda bersamaan searah jarum jam sehingga *balancing* robot beroda dua berjalan ke arah depan. Gaya yang digunakan untuk menyeimbangkan dihasilkan dari putaran roda. Putaran roda ini berasal dari torsi yang dihasilkan oleh motor.



Gambar 2.2 *Balancing Robot Beroda Dua Tampak Samping Menyeimbangkan Diri*

2.2 Pengendali PID

Pengendali PID adalah suatu sistem pengendali yang merupakan gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PID dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

atau

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

dengan :

$u(t)$ = Sinyal keluaran pengendali PID

K_p = Konstanta Proporsional

T_i = Waktu Integral

T_d = Waktu Turunan

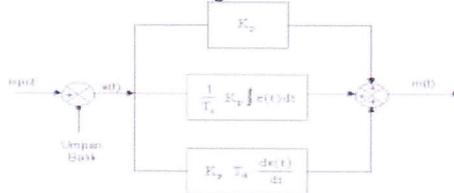
K_i = Konstanta Integral

K_d = Konstanta Turunan

$e(t)$ = Sinyal Kesalahan = Referensi – Output

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

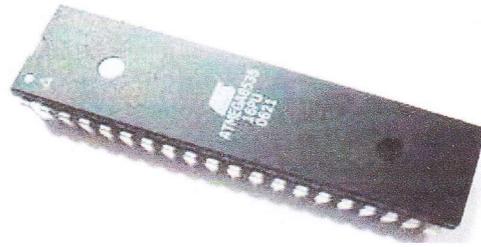
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$



Gambar 2.3 Diagram Blok Pengendali PID

2.3 Mikrokontroler ATmega8535

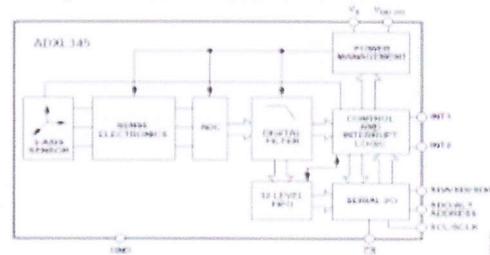
Mikrokontroler dapat diumpakan sebagai bentuk skala mini dari mikrokomputer. Di dalam mikrokontroler terdapat komponen-komponen dasar dari sebuah mikrokomputer, yaitu memori, CPU, dan instruksi-instruksi yang terpadu dalam satu keping IC.



Gambar 2.16 Mikrokontroler ATmega8535

2.4 Sensor Accelerometer

Accelerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi. Sensor *accelerometer* mengukur percepatan dari 3 sumbu gerakan akibat gerakan benda yang melekat padanya.



Gambar 2.20 Diagram Blok

Pada Gambar 2.20 menunjukkan diagram blok fungsional dari *accelerometer* ADXL345, dengan keterangan sebagai berikut :

1. Power Management

Tempat pengolahan suplai tegangan untuk *accelerometer* ADXL345.

2. 3-Axis Sensor

Terdiri dari 3 sumbu gerakan yaitu x, y, z.

3. Sense Electronics

Sebagai masukan yang dirasakan oleh sensor.

4. Analog to Digital Converter (ADC)

Pengubah dari data sinyal analog ke digital.

5. Digital Filter

Digital filter adalah semua filter elektronik yang bekerja dengan menerapkan operasi matematika digital atau algoritma pada suatu pemrosesan sinyal.

6. Control and Interrupt Logic

INT0 dan INT1 merupakan pin yang digunakan sebagai inputan interupsi eksternal 0 dan inputan interupsi eksternal 1.

7. 32 Level FIFO

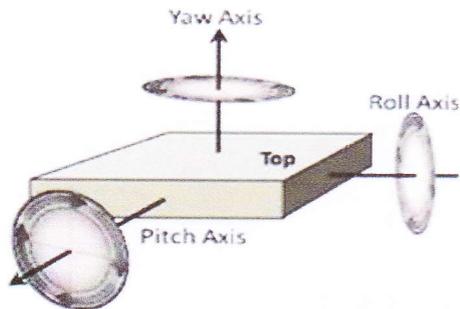
First In First out (FIFO) adalah data yang pertama kali masuk untuk diolah, pertama juga untuk dijadikan keluaran.

8. Serial I/O

SCL dan SDA merupakan pin yang dapat berfungsi sebagai mengatur interface serial 2 jalur.

2.5 Sensor Gyroscope

Gyroscope adalah suatu alat berupa sensor gyro untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada roda atau cakram yang berotasi dengan cepat pada sumbu.



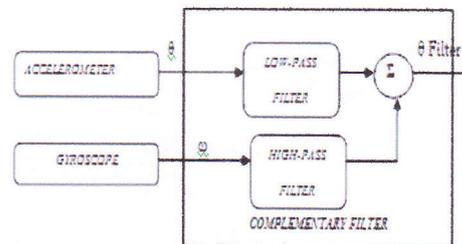
Gambar 2.22 3-Sumbu Sensor Gyroscope

Modul Sensor ITG3200 Gyroscope memiliki output yang peka terhadap kecepatan sudut dari arah sumbu x yang nantinya akan menjadi sudut ϕ (roll), dari sumbu y nantinya menjadi sudut θ (pitch), dan sumbu z nantinya menjadi sudut ψ (yaw).

2.6 Complementary Filter

Accelerometer dapat memberikan pengukuran sudut kemiringan yang akurat ketika sistem sedang diam (statis). Bila sistem sedang bergerak, accelerometer tidak hanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi tetapi dipengaruhi juga oleh pergerakan badan robot, sehingga dapat mengganggu pembacaan kemiringan sudut dan memiliki *noise*. Gyroscope dapat membaca data dari kecepatan sudut yang dinamis. Setelah integrasi data dari waktu ke waktu, perpindahan sudut atau sudut kemiringan dapat dihitung.

Tetapi sudut ini akan menjadi tidak akurat dalam jangka panjang karena efek bias yang dihasilkan oleh gyroscope



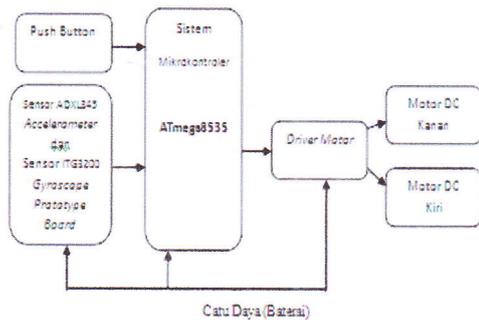
Gambar 2.24 Diagram Blok Complementary filter

Oleh karena itu dibutuhkan sebuah filter digital yang dapat menghilangkan efek dari kekurangan sensor-sensor tersebut.

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada *balancing* robot beroda dua dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras.

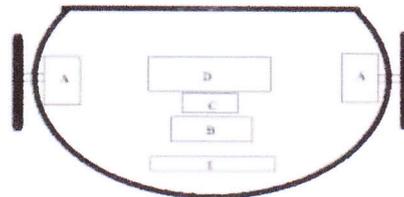
Tiap-tiap bagian dari diagram blok sistem di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor ADXL345 3-Axis Accelerometer digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan robot terhadap permukaan bumi dan Sensor ITG3200 Gyroscope digunakan untuk mendeteksi kecepatan sudut.
2. Push button digunakan sebagai masukan untuk menghidupkan balancing robot.
3. Driver motor DC
4. Motor DC berfungsi sebagai sistem penggerak balancing robot beroda dua.
5. Baterai berfungsi sebagai catu daya sistem.
6. Mikrokontroler ATmega8535 berfungsi sebagai pusat pengendalian pada balancing robot beroda dua.

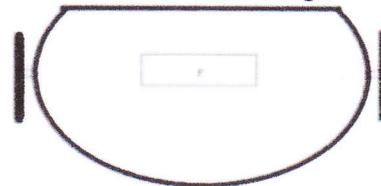
3.2 Perancangan Robot Keseluruhan

Dalam perancangan bentuk robot secara keseluruhan ini akan ditampilkan tiga gambar seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.3, 3.4, 3.5 dan 3.6. Gambar 3.3 dan 3.4 adalah disain bentuk tampilan robot tampak atas dan tampak

bawah dengan keterangan tata letak perangkat mekanik dan elektronika robot per bagian tingkat robot. Sedangkan pada gambar 3.5, dan 3.6 secara berurutan adalah tampilan disain robot tampak samping dan tampak depan.



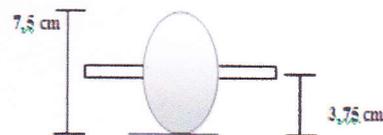
Gambar 3.3 Robot Tampak Atas



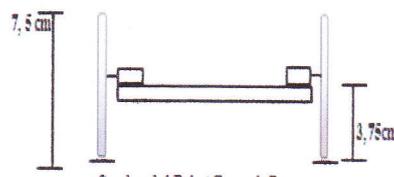
Gambar 3.4 Robot Tampak Bawah

Keterangan gambar 3.3 dan 3.4, sebagai berikut :

- A : Motor DC.
- B : Driver Motor.
- C : Modul Sensor ADXL345 Accelerometer dan ITG3200 Gyroscope.
- D : Mikrokontroler ATmega 8535
- E : Indikator Lampu LED Motor
- F : Baterai 8,4 V



Gambar 3.5 Robot Tampak Samping



Gambar 3.6 Robot Tampak Depan

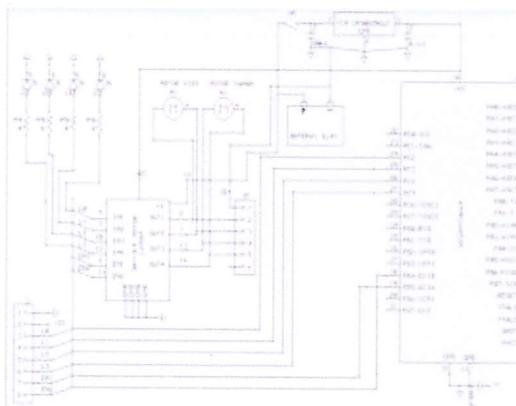
Pada Gambar 3.5 dan 3.6 dapat dilihat bahwa tinggi *balancing* robot keseluruhan diukur dari permukaan tanah adalah 3,75 cm. Adapun diameter roda yang digunakan adalah 7,5 cm

3.3 Perancangan dan Instalasi Robot

Perancangan dari elektronika *balancing* robot dalam tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu: bagian penggerak mobile robot, pendeteksi halangan, penampil pemroses utama dan catu daya.

3.3.1 Penggerak Mobile Robot

Sistem penggerak mobile robot yang diterapkan adalah sistem penggerak diferensial. Penggerak jenis ini terdiri dari dua motor DC, yang tiap bagiannya menggerakkan sebuah roda. Dua buah motor DC yang digunakan dikendalikan menggunakan sebuah pengendali (*driver*) motor dc yang diimplementasikan menggunakan IC L298N. Namun rangkaian pengendali utamanya tetap dilakukan oleh mikrokontroler. Skema rangkaian pengendali motor DC menggunakan IC L298N ini di perlihatkan pada gambar 3.7 .



Gambar 3.7 Skematik Rangkaian Driver Motor

3.3.2 Pendeteksi Halangan (sensing)

Pendeteksi halangan robot menggunakan sensor ADXL345 *Accelerometer* dan sensor ITG3200 *Gyroscope* yang berbentuk menjadi 1 *prototype board*. Sensor ADXL345 3-Axis *Accelerometer* digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan robot terhadap permukaan bumi dan Sensor ITG3200 *Gyroscope* digunakan untuk mendeteksi kecepatan sudut. Keaktifan pendeteksian halangan ini sangat dipengaruhi oleh kemiringan dan kecepatan sudut. Ketika sensor *Accelerometer* mendeteksi kemiringan robot terhadap permukaan bumi, dan sensor *Gyroscope* mendeteksi kecepatan sudut yang dialami robot, maka output dari sensor akan menjadi *high logic*.

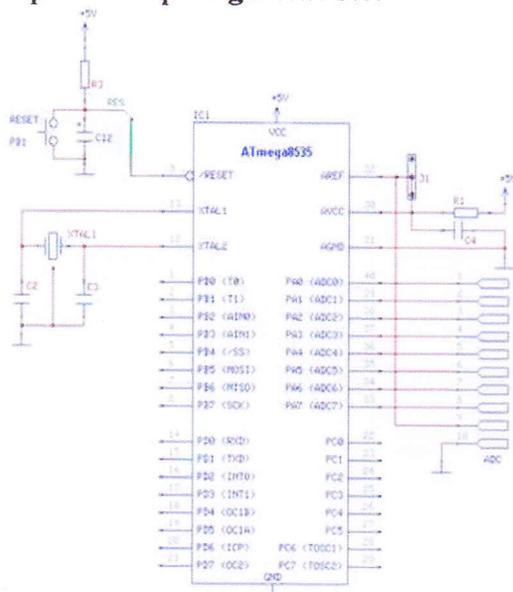
Output dari sensor *accelerometer* dan *Gyroscope* yang berupa "*high logic* atau *low logic*" itu nantinya dihubungkan ke sistem kendali mikrokontroler ATmega8535 sebagai input mikrokontroler. Kemudian pada mikrokontroler ATmega8535 dibuat program kendali atas objek terdeteksi dengan algoritma pemberhentian motor DC. Selanjutnya motor DC pun akan dihentikan atas perintah dari mikrokontroler berdasarkan algoritma tersebut.

3.3.3 Modul Pemroses Utama

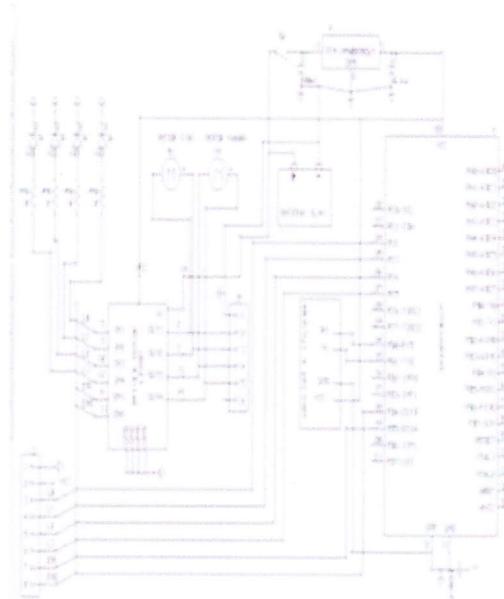
Modul yang digunakan sebagai komponen pemroses utama (otak robot) adalah rangkaian minimum sistem mikrokontroler ATmega8535. Mikrokontroler ATmega8535 berfungsi sebagai pengendali utama dimana algoritma kontrol Proporsional Integral ditanamkan ke dalam mikrokontroler. Mikrokontroler ini dipilih karena fitur-fiturnya yang lebih lengkap seperti ADC internal 10 bit, *timer* dengan kemampuan menghasilkan gelombang PWM,

pemrograman ISP, EEPROM internal, flash memori 8 Kb (4 Kb words) dan fitur-fitur lainnya.

Rangkaian mikrokontroler ini merupakan pusat pengolahan data dan pusat pengendali komponen robot. Di dalam rangkaian mikrokontroler ini terdapat empat buah port yang digunakan untuk menampung input atau output data dan terhubung langsung oleh rangkaian-rangkaian dari alat pengendali. Sistem mikrokontroler ATmega8535 secara utuh dapat dilihat pada gambar 3.8.



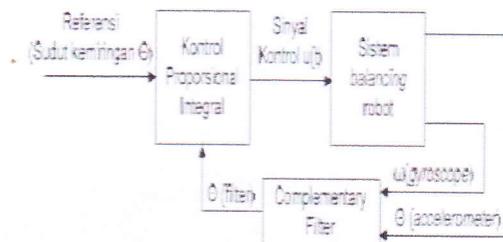
Gambar 3.8 Rangkaian Mikrokontroler ATmega8535



Gambar 3.9 Rangkaian Keseluruhan Robot

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

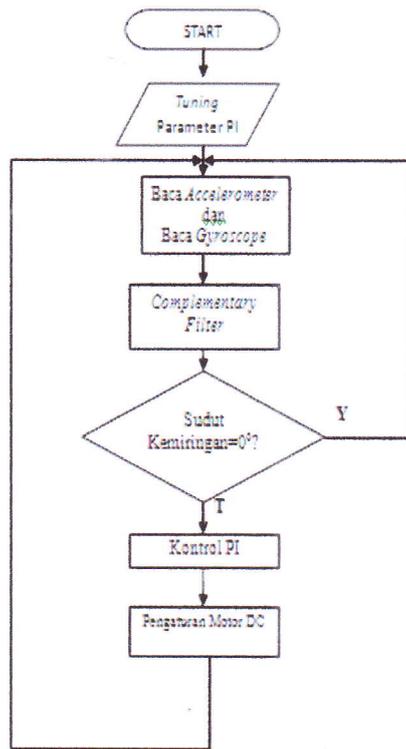
Metode kontrol yang digunakan untuk aplikasi ini adalah kontrol Proporsional Integral, dengan referensi berasal dari kemiringan sudut.



Gambar 3.10 Diagram Blok Sistem Kontrol Balancing Robot Beroda Dua

3.5.1 Flow Chart

Secara Keseluruhan ruang kendali berada pada mikrokontroler yang telah diprogram berdasarkan keadaan yang di terima oleh sensor. Berikut ini Gambar 3.11 adalah flowchart program utama balancing robot beroda dua menggunakan metode proporsional integral.



Gambar 3.11 Flow Chart Program Utama

Program utama dari perancangan perangkat lunak, terdiri dari beberapa subrutin, yaitu:

1. *Tuning* parameter Proporsional Integral
Merupakan subrutin program yang digunakan untuk memasukan nilai dari parameter PI.
2. *Baca Accelerometer*
Merupakan subrutin program yang digunakan untuk membaca data sensor *accelerometer*.
3. *Baca gyroscope*
Merupakan subrutin program yang digunakan untuk membaca data sensor *gyroscope*.
4. *Complementary filter*
Merupakan subrutin program yang digunakan untuk menggabungkan data sensor *accelerometer* dan *gyroscope*.
5. Sudut Kemiringan 0^0

Merupakan subrutin program yang digunakan untuk menanyakan apakah sudut kemiringan sudah 0^0 yang merupakan tegak lurus diatas permukaan bumi.

6. *Kontrol PI*
Merupakan subrutin program yang digunakan sebagai algoritma pengontrolan *balancing* robot.
7. *Pengaturan motor DC*
Merupakan subrutin program yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan arah putar motor DC.

IV. Pengujian dan analisa Hasil

4.1 Pengujian Perangkat Keras

4.1.1 Pengujian Sistem Penggerak Robot

Pengujian sistem penggerak robot adalah pengujian gerak motor yang dikendalikan secara otomatis oleh sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dengan mengukur sudut kemiringan robot. Gambar 4.3 menunjukkan skematik rangkaian pengujian gerak robot yang sudah mengkoneksikan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* dengan *mikrokontroler* sebagai pengendali dan motor DC sebagai penggerak.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Gerak Robot Dipengaruhi Sudut Kemiringan Robot

Sudut Kemiringan	Motor Kanan		Motor Kiri		Gerakan Motor	Lampu Indikator
	Port C.2	Port C.3	Port C.4	Port C.5		
0^0	0	0	0	0	Diam	Mati
$> 0^0 (-)$	1	0	0	1	Roda Kanan Kiri Maju	Biru

Sudut Kemiringan	Motor Kanan		Motor Kiri		Gerakan Motor	Lampu Indikator
	Port C.2	Port C.3	Port C.4	Port C.5		
$< 0^\circ (-)$	0	1	1	0	Roda Kanan Kiri Mundur	Hijau

4.1.2 Pengujian Sensor Accelerometer

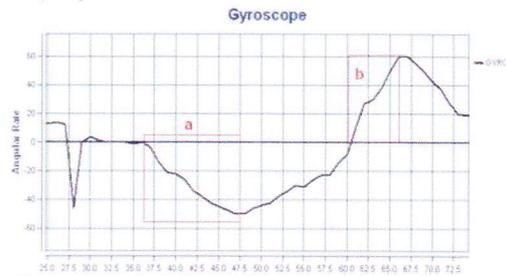
Balancing robot beroda dua hanya membutuhkan pembacaan sudut kemiringan sekitar 40° sampai -40° , maka pengujian hanya dilakukan pada jangkauan 90° sampai -90° dengan kelipatan 10. Cara pengujian sensor ini adalah dengan alat converter FT232R USB UART yang langsung dikoneksikan ke PC atau Laptop.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Sensor Accelerometer

No.	Sudut Aktual (Busur Derajat)	Sudut Keluaran Sensor Accelerometer
1	-90°	$-89,4^\circ$
2	-80°	$-79,3^\circ$
3	-70°	$-69,2^\circ$
4	-60°	$-59,7^\circ$
5	-50°	$-48,9^\circ$
6	-40°	$-40,1^\circ$
7	-30°	$-29,6^\circ$
8	-20°	$-19,0^\circ$
9	-10°	$-8,9^\circ$
10	0°	$-1,1^\circ$
11	10°	$9,6^\circ$
12	20°	$20,7^\circ$
13	30°	$29,2^\circ$
14	40°	$39,4^\circ$
15	50°	$50,9^\circ$
16	60°	$60,3^\circ$
17	70°	$69,2^\circ$
18	80°	$79,8^\circ$
19	90°	$89,3^\circ$

4.1.3 Pengujian Sensor Gyroscope

Pengujian sensor *gyroscope* ini bertujuan untuk menguji bekerja atau tidaknya sensor pada sistem *balancing* robot. Cara pengambilan data sensor *gyroscope* sama dengan saat pengambilan data sensor *accelerometer* yaitu dengan menggunakan converter FT232R USB UART yang dikoneksikan dengan PC / Laptop.



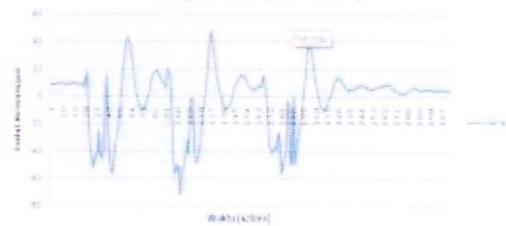
Gambar 4.6 Grafik Output Gyroscope Ketika Berotasi

4.2 Pengujian Perangkat Lunak

4.2.1 Tuning Parameter Kontrol Proporsional Integral

Penentuan nilai parameter (*tuning*) kontrol Proporsional (K_p) dan Integral (K_i) dilakukan dengan cara *trial and error* dengan nilai *set point* 00. Pengujian algoritma kontrol Proporsional Integral ini adalah mencari nilai optimal (*tuning*) parameter kontrol Proporsional dan Integral (K_p dan K_i) terhadap respon sistem *balancing* robot beroda dua.

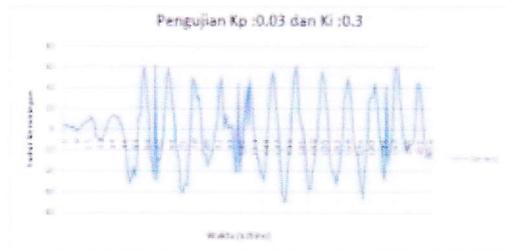
Pengujian $K_p : 0.005$ dan $K_i : 0.05$
Gangguan Besar (3x Sentuhan)



Gambar 4.8 Respon *Balancing* Robot Beroda Dua dengan Nilai $K_p=0.005$ dan $K_i=0,05$ dengan Gangguan Besar



Gambar 4.12 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Nilai $K_p=0.01$ dan $K_i=0,1$ dengan Gangguan Besar



Gambar 4.16 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Nilai $K_p=0.03$ dan $K_i=0,3$

Respon yang terbaik atau optimal ditunjukkan pada Gambar 4.4 dengan nilai $K_p=0.01$ dan $K_i=0.1$.

4.2.2 Pengujian Kontrol Proporsional Integral terhadap Peletakkan Posisi Sudut Awal

Pada pengujian ini gangguan yang diberikan adalah peletakkan posisi sudut awal yang tidak sesuai dengan *set point*. Pengujian ini bertujuan untuk menguji bahwa robot telah mampu kembali ke keadaan sesuai *set point* atau belum. Pengujian dilakukan dengan ambang batas dari 60° sampai dengan -60° .



Gambar 4.17 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Posisi Awal 60°



Gambar 4.23 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Posisi Awal 0°



Gambar 4.29 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Posisi Awal -60°

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan meletakkan robot pada posisi sudut awal tidak sesuai *set point* dengan ambang batas dari sudut kemiringan -60° sampai dengan 60° hasil yang didapat adalah robot dapat kembali ke *set point* dan dapat mempertahankan keadaan stationer.

4.2.3 Pengujian Kontrol Proporsional Integral terhadap Kecepatan diatas Kendaraan

Pada pengujian ini gangguan yang diberikan adalah pengaruh terhadap kecepatan. Pengujian ini bertujuan untuk menguji bahwa robot dapat kembali ke *set point* yang diinginkan meskipun dalam keadaan menumpang diatas kendaraan yang sedang bergerak. Pada pengujian ini dilakukan 3(tiga) tahap pengujian yaitu dengan jarak tempuh 1 meter dengan kecepatan 0,33 m/s , 0,2 m/s, dan 0,14 m/s.



Gambar 4.30 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Kecepatan 0,33 m/s



Gambar 4.31 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Kecepatan 0,2 m/s



Gambar 4.32 Respon *Balancing Robot* Beroda Dua dengan Kecepatan 0,14 m/s

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan menumpangkan robot ke atas kendaraan yang sedang bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda, robot mampu kembali ke *set point*.

V. Kesimpulan

Dari uraian dan pembahasan yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil diimplementasikan sebuah rancang bangun *balancing*

robot beroda dua dengan menggunakan metode kendali proporsional integral.

2. Nilai parameter kontrol Proporsional Integral yang optimal adalah pada saat K_p 0.01 dan K_i 0.1.
3. Jika Nilai K_p dan K_i diperkecil dari nilai optimalnya ($K_p < 0.01$ dan $K_i < 0.1$) respon yang dihasilkan akan menjadi lambat, sedangkan jika nilai K_p dan K_i diperbesar dari nilai optimalnya ($K_p > 0.01$ dan $K_i > 0.1$) maka respon yang dihasilkan adalah peningkatan osilasi.
4. Nilai K_p dan K_i diatas K_p 0.03 dan K_i 0.3 sudah tidak dapat diberikan karena membuat respon robot *berosilasi* terlalu tinggi yang mengakibatkan robot tidak dapat seimbang sesuai dengan *set point*.
5. Robot mampu kembali ke *set point* dengan ambang batas pengujian peletakkan kemiringan 60° sampai dengan -60° .
6. Robot mampu kembali ke *set point* meskipun menumpang di kendaraan bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda yaitu 0,33 m/s, 0,2 m/s, dan 0,14 m/s.