

**PENERAPAN METODE KENDALI PID (PROPORTIONAL
INTEGRAL DERIVATIVE) PADA ROBOT KESEIMBANGAN
BERODA DUA**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

BAYU WIRAWAN INDARTO

NIM. 13.12.221

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2017

ABSTRAK

PENERAPAN METODE KENDALI PID (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE) PADA ROBOT KESEIMBANGAN BERODA DUA

Bayu Wirawan Indarto, NIM 1312221
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Aryunto Soetedjo. ST, MT dan
M. Ibrahim Ashari, ST, MT

Konsentrasi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro S-1
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo Km.2 Malang
E-mail : bayuwirawan49@yahoo.co.id

ABSTRAK

Perkembangan Teknologi yang semakin pesat di bidang robotika telah membuat banyak perubahan besar dalam hal peningkatan efisiensi waktu, kualitas dan kuantitas pekerjaan dalam bidang industry, perorangan maupun alat transportasi. Selain itu, perkembangan teknologi robotika ini juga memberikan dampak yang besar bagi dunia pendidikan dan hiburan. seiring bertambahnya tahun, bidang ini sangat sekali di minati, karena manfaatnya yang sangat banyak bagi kehidupan manusia.

Robot keseimbangan beroda dua merupakan sebuah robot dimana hanya memiliki dua roda di sisi kanan dan sisi kirinya dimana robot tersebut tidak akan seimbang tanpa adanya sensor dan kontroller. Robot ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik yang terletak di atas kereta beroda.

Pada makalah tugas akhir ini telah direalisasikan suatu robot keseimbangan beroda dua yang dapat menyeimbangkan badan robot secara otomatis. Dalam perancangan sistem menggunakan board mikrokontroler Genuino UNO 101 sebagai kontroler, sensor accelerometer dan gyroscope yang telah diolah oleh Complementary filter dan dua buah motor DC sebagai aktuator untuk menyeimbangkan robot. Robot keseimbangan beroda dua ini menyeimbangkan badannya secara otomatis menggunakan metode kendali PID (Proportional Integral Derivative).

Kata Kunci : *Robot Keseimbangan Beroda Dua, Genuino UNO 101, PID, Accelerometer, Gyroscope, Complementary filter.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan sebanyak – banyaknya kepada Allah SWT karena dengan kehendak-Nya lah skripsi yang berjudul ” **PENERAPAN METODE KENDALI PID (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE) PADA ROBOT KESEIMBANGAN BERODA DUA**” Dapat terselesaikan.

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan laporan ini merupakan salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Elektro S-1. Sebagai penulis sangat menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka laporan ini tidak dapat diselesaikan dengan baik, oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak banyaknya kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. F. Yudi Limpraptono, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. Bapak Dr. Eng. I Komang Womawirata, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
5. Bapak Dr. Eng. Aryuanto Soetedjo, ST, MT dan Bapak M. Ibrahim Ashari, ST, MT selaku Dosen pembimbing.
6. Keluarga, sahabat dan rekan-rekan yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu baik dari segi teknis maupun dukungan moral dalam terselesaikanya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan yang terdapat pada skripsi ini, oleh karena itu penulis berharap para pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang membangun agar penelitian ini menjadi lebih sempurna.

Malang, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GRAFIK.....	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II.....	5
LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Robot Keseimbangan.....	5
2.2 Genuino UNO 101	6
2.3 <i>Intergrated Circuit Motor Driver</i> L298 ^[3]	7
2.3.1 Konsep <i>H-Bridge</i> ^[4]	8
2.3.2 PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>) ^[5]	9
2.3.3 Rangkaian driver motor L298N ^[4]	10
2.4 Motor DC ^[6]	11
2.5 Complementary Filter	14
2.6 Kontroler PID (Proportional Integral Derivative) ^[8]	14
2.6.1 <i>Proportional</i> (elemen P).....	15

2.6.2	<i>Integral</i> (elemen I)	15
2.6.3	<i>Derivative</i> (elemen D)	15
2.7	Respon Waktu Sistem Kendali ^[10]	16
2.8	Sensor Accelerometer dan Gyrometer BMI 160 Axis	16
2.9	Bluetooth HC-05 ^[10]	16
BAB III		18
PERANCANGAN SISTEM		18
3.1	Pendahuluan	18
3.2.	Perancangan Sistem	18
3.3	Prinsip Kerja	19
3.4	Perancangan Mekanik	20
3.5.	Perancangan Perangkat Keras	21
3.5.1	Perancangan Rangkaian Motor Driver	21
3.5.2	Pengkabelan	22
3.6	Perancangan Perangkat Lunak	22
3.6.1	Perancangan Algoritma Sistem Kontrol PID	24
3.7	Perancangan Algoritma Complementary Filter ^[11]	25
BAB IV		26
PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM		26
4.1	Pendahuluan	26
4.2	Pengujian Pengiriman Data melalui Bluetooth HC-05	26
4.2	Pengujian Sensor Accelerometer dan Gyroscope BMI160	28
4.2.1	Pengujian Sensor Accelerometer Satu Sumbu Derajat Kebebasan	28
4.2.2	Pengujian Sensor Accelerometer dengan Dua Derajat Kebebasan.....	30
4.3	Pengujian Sensor Gyroscope	31
4.4	Pengujian Sudut Keluaran Menggunakan Complementary Filter	33
4.5	Pengujian Driver Motor L298.....	35

4.6	Pengujian Kontroler PID.....	37
4.6.1	Pengujian Parameter PID Pada Saat Tanpa Beban.....	37
4.6.2	Pengujian Parameter PID Pada Saat dengan Beban	45
4.7	Pengujian dengan Beban Berbeda	48
4.8	Analisa Respon Waktu Kendali PID.....	51
4.8.1	Analisa Respon Waktu pada Grafik Tanpa Beban	51
4.8.2	Analisa Respon Waktu pada Grafik dengan Beban.....	52
4.9	Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC yang Telah di Kalkulasi dengan PID.....	53
4.9.1	Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan Beban..	53
4.9.2	Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan Beban..	54
4.10	Pengujian Seluruh Sistem	55
4.11	Permasalahan pada saat Pengujian.....	57
BAB V	57
PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pendulum Terbalik Pada Kereta Beroda Dua	5
Gambar 2. 2 Proses Penyeimbangan Robot Keseimbangan	6
Gambar 2. 3 Genuino UNO 101	7
Gambar 2. 4 L298N <i>pinout</i>	8
Gambar 2. 5 Blok diagram L298N	8
Gambar 2. 6 Konfigurasi <i>H-Bridge</i>	9
Gambar 2. 7 Variasi presentase Duty Cycle	9
Gambar 2. 8 Rangkaian Skematik Driver Motor L298N.....	10
Gambar 2. 9 Rangkaian Ekvivalen Motor DC Magnet permanen.....	12
Gambar 2. 10 Penggunaan Transmisi <i>Gear</i> Hubungan Langsung	13
Gambar 2. 11 Diagram Blok Complementary Filter	14
Gambar 2. 12 Sensor BMI 160	16
Gambar 2. 13 Modul Bluetooth HC-05	17
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem	18
Gambar 3. 2 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 1	19
Gambar 3. 3 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 2	20
Gambar 3. 4 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 3	20
Gambar 3. 5 Desain Mekanik Bagian Depan	20
Gambar 3. 6 Desain Mekanik Bagian Bawah.....	21
Gambar 3. 7 Rangkaian Driver Motor L298n.....	21
Gambar 3. 8 Pengkabelan	22
Gambar 3. 9 Flowchart Robot Keseimbangan Beroda Dua.....	23
Gambar 3. 10 Flowchart PID	25
Gambar 4. 1 Konfigurasi Software Hercules.....	27
Gambar 4. 2 Hasil Pembacaan Serial Data Bluetooth Pada Software Hercules.....	27
Gambar 4. 3 Pembacaan Serial Data Bluetooth Pada Software Hercules	28
Gambar 4. 4 Pengujian Sudut Complementary Filter Pada Serial Monitor.....	34
Gambar 4. 5 Sudut Pada Protractor	35
Gambar 4. 7 Robot Keseimbangan Beroda Dua 0 Derajat Tampak Samping.....	56
Gambar 4. 8 Robot Keseimbangan Beroda Dua 0 Derajat Tampak Depan.....	56
Gambar 4. 9 Robot Keseimbangan Beroda Dua Pada Medan Kemiringan 11 Derajat .	57
Gambar 4. 10 Medan Kemiringan 11 Derajat.....	57

DAFTAR TABEL

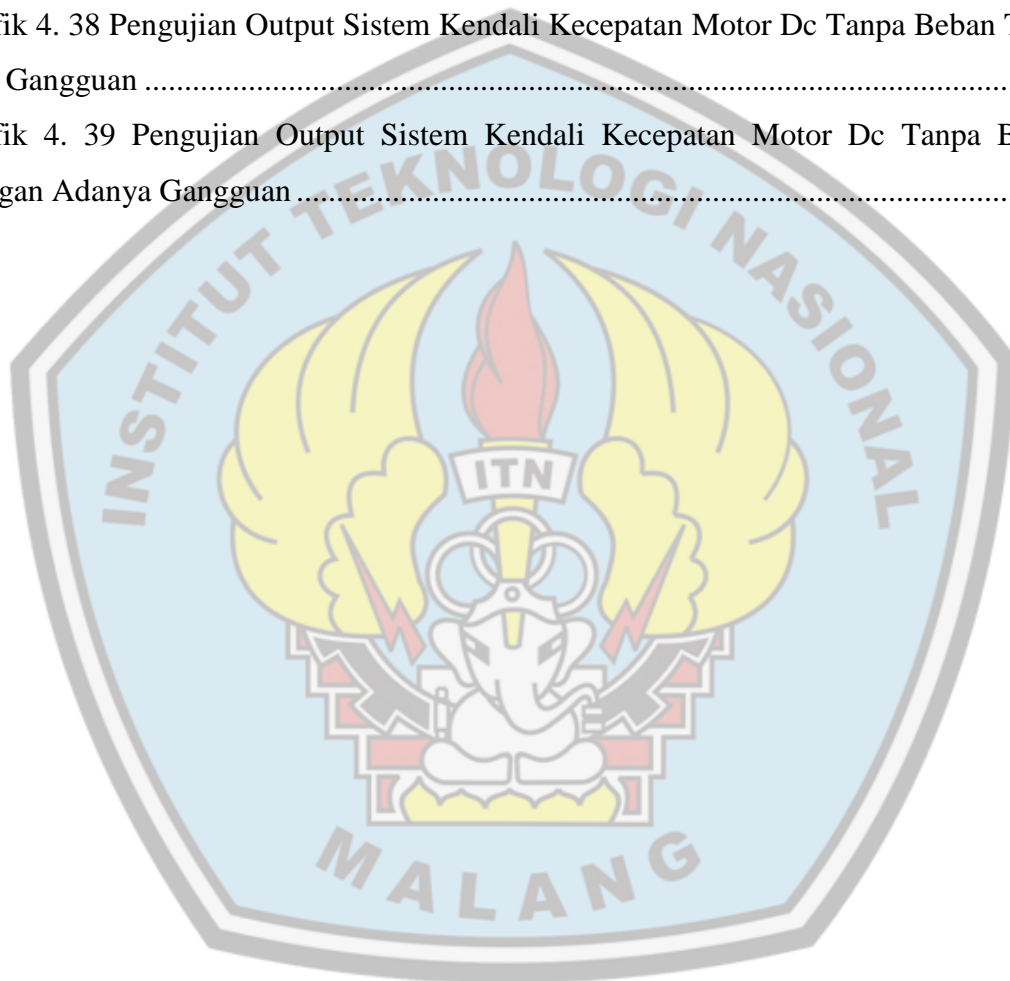
Tabel 2. 1 Fungsi Pin Kontrol IC L298	10
Tabel 2. 2 Tabel Kebenaran Input 1 dan Input 2 L298.....	11
Tabel 2. 3 Tabel Kebenaran Input 3 dan Input 4 L298.....	11
Tabel 2. 4 Karakteristik Pengendali Pid	15
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Accelerometer.....	28
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Accelerometer Yang Telah Di Filter .	31
Tabel 4. 3 hasil sudut kemiringan complementary filter	34
Tabel 4. 4 Konfigurasi Pin driver motor L298	36
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Arah Putaran Motor.....	36



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Pembacaan Sudut Sensor Accelerometer	29
Grafik 4. 2 Pengujian Sudut Sensor Accelerometer Pada Sudut 0°	29
Grafik 4. 3 Pengujian Nilai Akselerasi Sensor Accelerometer.....	30
Grafik 4. 4 Pengujian Nilai Keluaran Sensor Gyro Saat Nol Derajad.....	32
Grafik 4. 5 Pengujian Sensor Gyro Nilai Setelah Dibagi Dengan Sensitifitas Dan Waktu	32
Grafik 4. 6 Pengujian Sensor Gyro Searah Jarum Jam Dan Berlawanan Jarum Jam.....	33
Grafik 4. 7 $K_p = 3$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$	38
Grafik 4. 8 $K_p = 5$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$	38
Grafik 4. 9 $K_p = 6$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$	39
Grafik 4. 10 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$	39
Grafik 4. 11 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 1$	40
Grafik 4. 12 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 5$	40
Grafik 4. 13 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 10$	41
Grafik 4. 14 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 15$	41
Grafik 4. 15 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 40$	42
Grafik 4. 16 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 80$	42
Grafik 4. 17 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 150$	43
Grafik 4. 18 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 250$	43
Grafik 4. 19 $K_p = 8$, $K_i = 1$ dan $K_d = 0$	44
Grafik 4. 20 $K_p = 8$, $K_i = 0.5$ dan $K_d = 0$	44
Grafik 4. 21 $K_p = 8$, $K_i = 0.5$ dan $K_d = 250$	45
Grafik 4. 22 $K_p = 45$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$	45
Grafik 4. 23 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$	46
Grafik 4. 24 $K_p = 45$, $K_i = 0$ dan $K_d = 50$	46
Grafik 4. 25 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 500$	47
Grafik 4. 26 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 600$	47
Grafik 4. 27 $K_p = 35$, $K_i = 0,5$ dan $K_d = 400$	48
Grafik 4. 28 Tidak Ada Beban.....	49
Grafik 4. 29 Dengan Beban 0,1 Kg	49
Grafik 4. 30 Dengan Beban 0,2 Kg	50
Grafik 4. 31 Dengan Beban 0,3 Kg	50

Grafik 4. 32 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Tanpa Beban.....	51
Grafik 4. 33 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Tanpa Beban Diperbesar	52
Grafik 4. 34 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Dengan Beban	52
Grafik 4. 35 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Dengan Beban Diperbesar.....	53
Grafik 4. 36 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Dengan Beban Tidak Ada Gangguan	54
Grafik 4. 37 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Dengan Beban Dengan Adanya Gangguan	54
Grafik 4. 38 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Tanpa Beban Tidak Ada Gangguan	55
Grafik 4. 39 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Tanpa Beban Dengan Adanya Gangguan	55



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Teknologi yang semakin pesat di bidang robotika telah membuat banyak perubahan besar dalam hal meningkatkan efisiensi waktu, kualitas dan kuantitas pekerjaan dalam bidang industry maupun perseorangan. Selain itu, perkembangan teknologi robotika ini juga memberikan dampak yang besar bagi dunia pendidikan, hiburan dan transportasi. Karena itu bidang robotika sangat sekali di minati, karena manfaatnya yang sangat banyak bagi kehidupan manusia karena perannya yang dapat membantu pekerjaan manusia. Salah satu bidang robotika yang terus dikembangkan saat ini adalah robot yang dapat berkerja secara seimbang.

Robot akan berjalan ketika robot tersebut di gabungkan dengan sensor dan system kendali. Kecerdasan sebuah robot akan semakin bertambah ketika banyak sensor yang digabungkan dalam pembuatannya, dan akan lebih sempurna ketika robot juga diberikan sebuah kecerdasan buatan. Salah satu kecerdasan buatan yang populer saat ini adalah metode kendali PID. Metode ini sangat populer karena strukturnya yang sederhana hanya memiliki 3 parameter saja yaitu proportional – integral – derivative, dan tidak membutuhkan perhitungan yang kompleks.

Robot keseimbangan beroda dua merupakan sebuah robot mobile yang hanya memiliki dua roda di sisi kanan dan sisi kirinya. Robot ini bekerja dengan mempertahankan keseimbangan, ketika robot jatuh kedepan maka roda akan berputar kebelakang begitupun sebaliknya sampai robot mendapatkan titik keseimbangan. Robot ini tidak akan dapat berdiri tegak tanpa adanya sensor dan kendali yang pas untuk bias membuatnya bekerja. Robot ini merupakan sebuah pengembangan dari model pendulum terbalik yang diletakkan pada kereta beroda yang saat ini sudah berkembang menjadi alat transportasi seperti segway. Maka dari itu metode kendali PID dengan kecerdasan buaatannya mungkin akan dapat membantu membuat system kendali yang pas pada sebuah robot keseimbangan agar dapat bekerja dengan baik, sehingga dapat berdiri dengan baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diutarakan di atas, maka dapat disimpulkan permasalahan yang diutarakan dalam penulisan skripsi ini, yaitu :

1. Bagaimana merancang sebuah robot keseimbangan yang dapat berdiri dengan baik tanpa terjatuh menggunakan board mikrokontroler Genuino Uno 101 yang didalamnya sudah terintegrasi dengan sensor IMU (Inertial Measuring Unit) yang memiliki 3 sumbu accelerometer dan 3 sumbu gyroskop?
2. Bagaimana mendapatkan nilai sudut yang akurat dengan menggunakan sensor Accelerometer Gyroskop BM160 yang telah terintegrasi pada board microcontroller Genuino UNO 101
3. Bagaimana menerapkan system kontrol PID (Proportional Integral Derivative) untuk mempertahankan sudut atau titik seimbang robot keseimbangan tersebut?

1.3 Tujuan

Perancangan dan pembuatan robot keseimbangan ini bertujuan untuk menerapkan metode kendali PID agar robot keseimbangan tersebut dapat berdiri dengan baik dan nantinya dapat dijadikan dasar untuk mengikuti perkembangan teknologi saat ini.

1.4 Batasan Masalah

Agar tidak terjadi penyimpangan, maksud dan tujuan utama penyusunan skripsi ini maka perlu diberikan batasan masalah, antara lain:

1. Robot keseimbangan dioperasikan di tempat yang tidak licin
2. Pemodelan matematis dari system tidak diketahui sehingga proses tuning parameter dari kontrol PID dilakukan secara trial and error tanpa menggunakan simulasi perhitungan.
3. Berat maksimal pada beban bawaan robot sebesar 0.3 Kg
4. pengambilan data sensor gyroscope di dasarkan pada rumus yang telah ditetapkan oleh complementary filter.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah:

1. Studi literatur

Mencari referensi-referensi yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan alat yang akan dibuat.

2. Perancangan alat

Sebelum melaksanakan pembuatan terhadap alat, dilakukan perancangan terhadap alat yang meliputi merancang rangkaian setiap blok, metode yang digunakan.

3. Pembuatan alat

Pada tahap ini realisasi alat yang dibuat, dilakukan perakitan sistem terhadap seluruh hasil rancangan yang telah dibuat.

4. Pengujian alat

Untuk mengetahui cara kerja alat, maka dilakukan pengujian secara keseluruhan, dan menganalisa hasil pengujian alat untuk membuat kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan arah yang tepat mengenai hal-hal yang akan dibahas maka dalam skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori mengenai permasalahan yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perencanaan dan proses pembuatan meliputi perencanaan, pembuatan alat, cara kerja dan penggunaan alat.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

Menjelaskan hasil analisa dan kesulitan dari proses pengujian pada alat yang telah dibuat.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang semua kesimpulan yang berhubungan dengan penulisan skripsi, dan saran yang digunakan sebagai pertimbangan dalam pengembangan program selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA



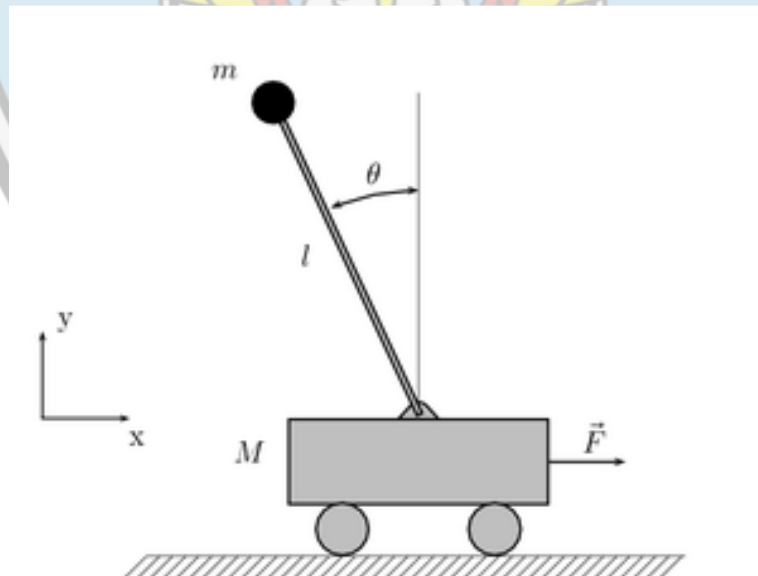
BAB II

LANDASAN TEORI

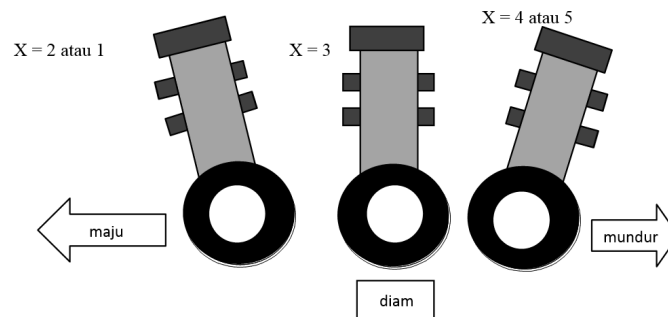
2.1 Robot Keseimbangan

Robot keseimbangan merupakan robot yang dapat menyeimbangkan badan robot tersebut dengan sendirinya dengan menggunakan sensor tertentu sebagai acuan data untuk menyeimbangkannya. Robot ini menerapkan prinsip kerja dari pendulum terbalik, dimana pendulum terbalik yang ada pada kereta beroda, yang bisa bergerak maju dan mundur dan pendulum yang pada ujungnya menyatu dengan kereta beroda sehingga ketika kereta beroda bergerak maka pendulum akan jatuh. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu sistem kendali yang baik sehingga pendulum dapat tetap seimbang dan berdiri tegak^[1].

Pada penyusunan skripsi ini, peneliti menggunakan sensor accelero gyro yg sudah terintegrasi dengan board mikrokontroler Genuino101, dimana sensor tersebut akan diletakkan pada permukaan datar di bagian badan robot, sehingga sensor akan membaca atau mengambil data sudut kemiringan robot untuk mengetahui kondisi robot saat itu.



Gambar 2. 1 Pendulum Terbalik Pada Kereta Beroda Dua



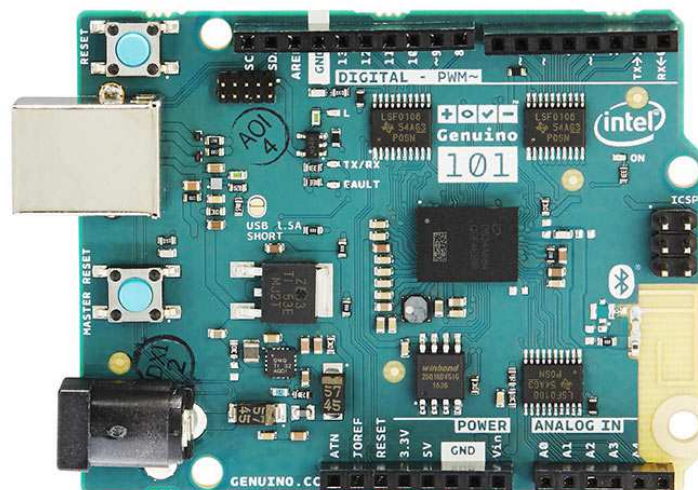
Gambar 2. 2 Proses Penyeimbangan Robot Keseimbangan

2.2 Genuino UNO 101

Genuino UNO 101 merupakan sebuah papan modul mikrokontroler pengembangan dari produk produk Arduino / Genuino sebelumnya. Genuino uno 101 menggunakan processor keluaran intel yaitu Intel® Curie™ yang memiliki inti ganda yaitu Intel® Quark x86 dan ARC 32-bit yang berjalan dengan frekuensi yang sama yaitu 32 MHz. Genuino UNO 101 terintegrasi dengan sensor IMU (*Inertial Measuring Unit*) yang memiliki 3 sumbu *accelerometer*, 3 sumbu *gyroskop*, 3 *magnet* dan juga Bluetooth 4.0. Genuino UNO 101 mempunyai 14 pin *digital input / output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation*), 6 *input analog*, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan dua buah tombol reset. Genuino UNO 101 dapat dihubungkan dengan PC (*Personal Computer*) melalui kabel USB^[2].

Spesifikasi Genuino UNO 101 :

- Mikrokontroler : Intel® Curie
- Tegangan kerja : 3.3 Volt
- Tegangan *Supply* : 7 – 12 Volt
- Jumlah pin *I/O digital* : 14 pin (4 pin di antaranya menyediakan keluaran *Pulse Width Modulation*)
- Jumlah pin *input analog* : 6 pin
- Arus *DC* tiap pin *I/O* : 7 mA (maksimal)
- Memori *Flash* : 384 KB (192 KB tersedia untuk program)
- *SRAM* : 80 KB (24 KB tersedia untuk program)
- *Clock Speed* : 32 MHz
- Fitur : Bluetooth LE, 6 sumbu *accelerometer* dan Gyro



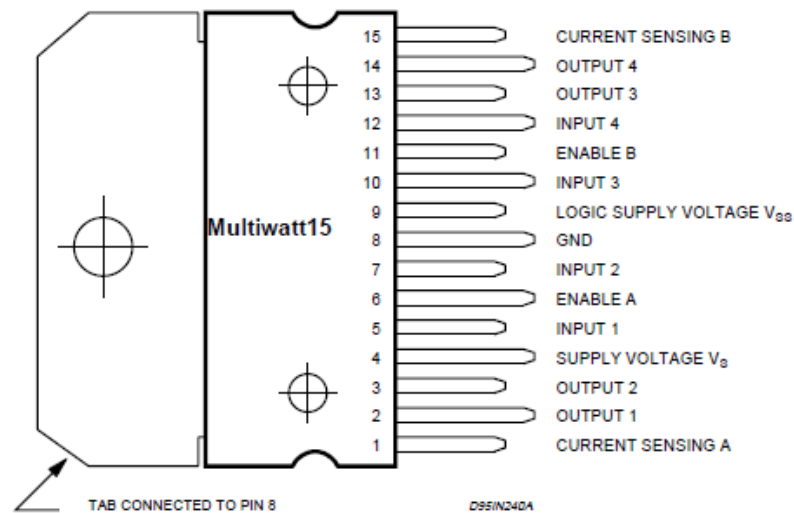
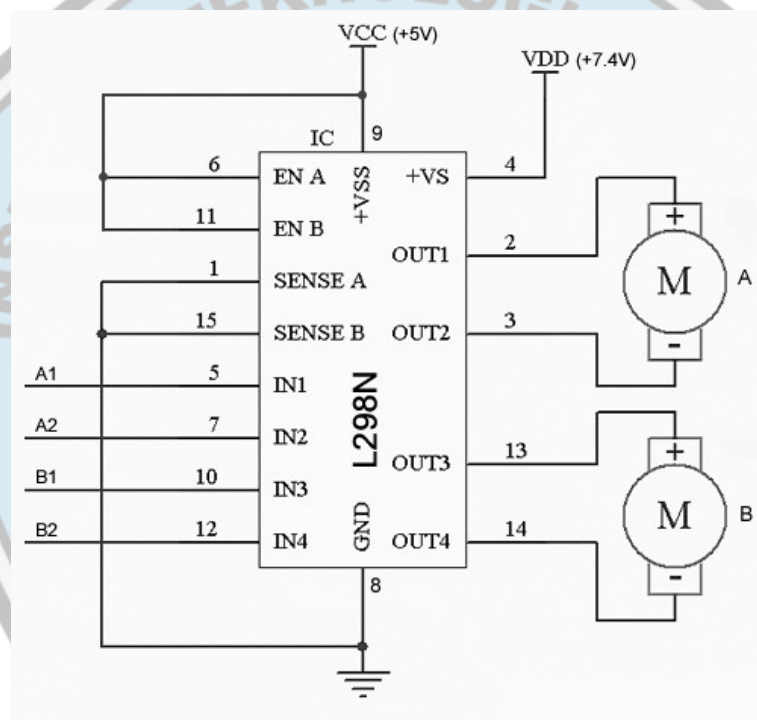
Gambar 2. 3 Genuino UNO 101

2.3 *Intergrated Circuit Motor Driver*L298^[3]

Penggunaan driver motor diperlukan sebagai penguat arus yang keluar dari mikrokontroler hal itu dikarenakan arus yang keluar dari port mikrokontroler saat kondisi high IOH = 20 mA sehingga dengan adanya Driver motor L298 maka arus kecil yang keluar dari mikrokontroler dapat menggerakkan motor DC. IC L298 merupakan driver H-Bridge yang didesain untuk menghasilkan drive 2 arah dengan arus kontinyu sampai dengan 2 A pada level tegangan 4.8 Volt sampai dengan 46 Volt. Tiap H-Bridge dilengkapi dengan sebuah sensor arus beban yang dapat digunakan untuk umpan balik ke pengendali (kontroler). IC Driver L298 Ini mampu men-drive beban-beban induktif seperti misalnya relay, selenoida, motor DC, motor Stepper, dan berbagai macam beban yang lain. Pada IC driver L298 telah dilengkapi dengan fitur PWM yang digunakan untuk pengendali kecepatan.

Rating maksimum IC L298N:

- Tegangan *supply* : 50 Volt
- Tegangan *logic supply* : 7 Volt
- *Logic highinput* dan *enable* : 7 Volt
- *Logic low input* dan *enable* : -0.3 Volt
- Arus output setiap *channel* : 2 Ampere
- Total daya yang dikonsumsi : 25 Watt

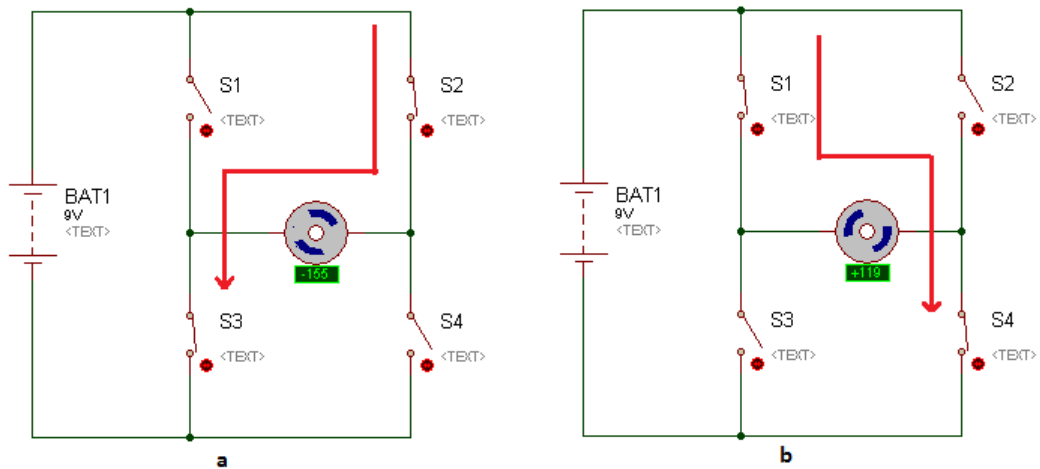
Gambar 2. 4 L298N *pinout*

Gambar 2. 5 Blok diagram L298N

2.3.1 Konsep *H-Bridge*^[4]

Arah Putaran motor pada prinsipnya terdiri dari dua macam arah gerakan yaitu CW (*Counter Wise*) atau CCW (*Counter Clock Wise*). CW Adalah gerakan motor searah dengan jarum jam sedangkan CCW adalah gerakan motor berlawanan arah dengan putaran jarum jam. Untuk itulah agar kontroler dapat menggerakakkan motor ini secara searah dan berlawanan arah maka dibutuhkan konsep *H-bridge*. Konsep *H-*

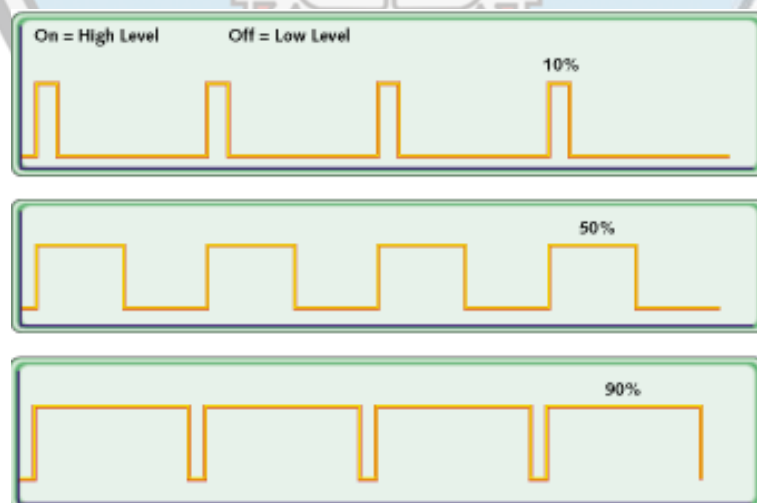
bridge pada dasarnya adalah menggunakan teknik *switch* yang bekerja bergantian untuk mengganti polaritas dari motor.



Gambar 2. 6 Konfigurasi *H-Bridge*

2.3.2 PWM (*Pulse Width Modulation*)^[51]

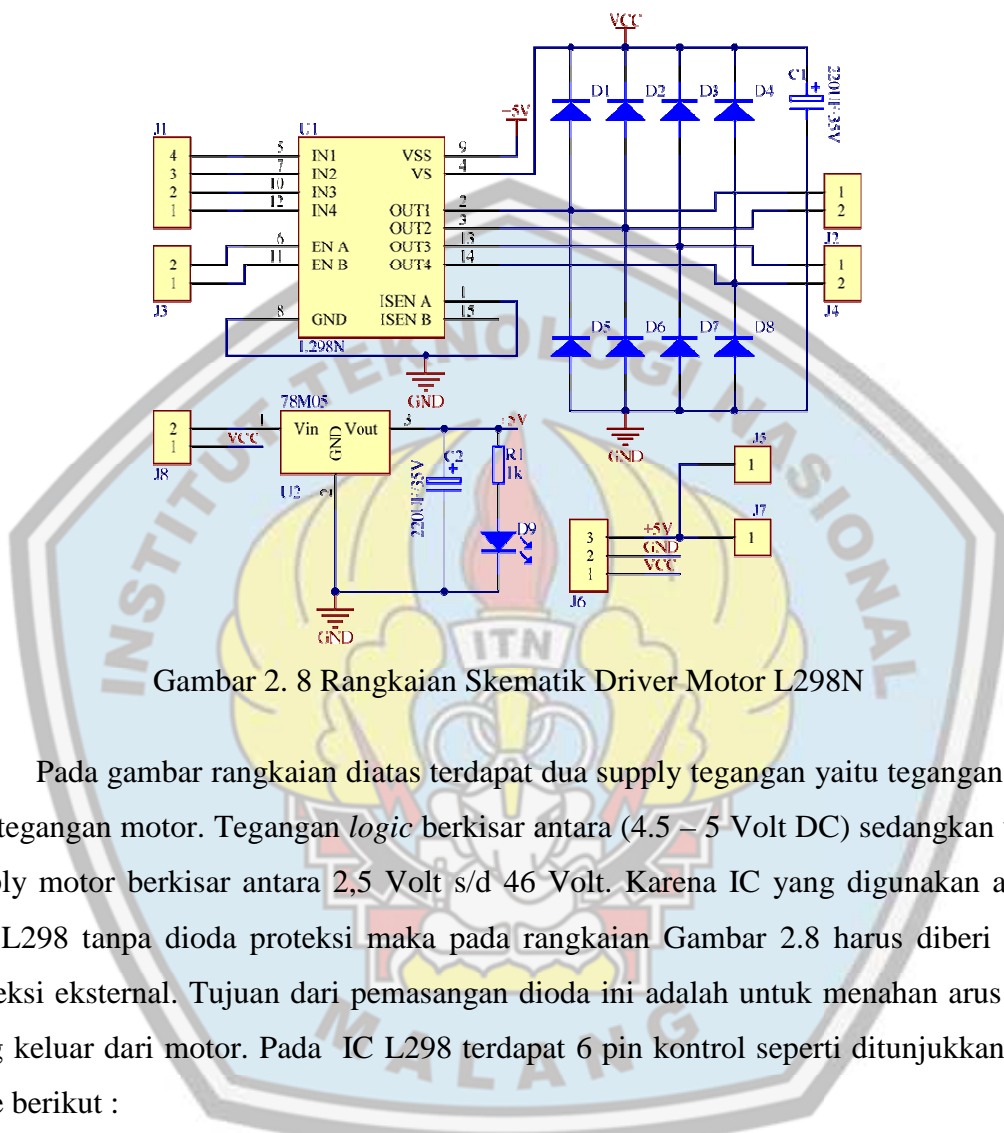
Pulse Width Modulation adalah suatu modulasi lebar pulsa yang merupakan rasio antara pulsa *high* dan pulsa *low*. Dari perbandingan tersebut dapat dinyatakan dalam nilai *Duty Cycle*. Nilai *Duty Cycle* dinyatakan dalam nilai presentase keadaan logika *high* (pulsa) dalam suatu periode sinyal. Satu siklus diawali dengan transisi antara *low* ke *high* dari sinyal dan berakhir pada transisi yang berikutnya. Pada satu siklus, jika sinyal waktu pada keadaan *high* sama dengan keadaan *low* maka dapat dikatakan bahwa sinyal memiliki *duty cycle* sebesar 50 %.



Gambar 2. 7 Variasi presentase *Duty Cycle*

2.3.3 Rangkaian driver motor L298N^[4]

IC driver yang berada di pasaran ada dua jenis yaitu seri L298 dan L298D. Huruf D menandakan bahwa di dalam IC tersebut telah terdapat dioda proteksi sehingga tidak perlu menambahkan komponen dioda dalam rangkaiannya. Rangkaian driver L298 tanpa dioda proteksi internal ditunjukkan pada gambarberikut :



Gambar 2. 8 Rangkaian Skematik Driver Motor L298N

Pada gambar rangkaian diatas terdapat dua supply tegangan yaitu tegangan *logic* dan tegangan motor. Tegangan *logic* berkisar antara (4.5 – 5 Volt DC) sedangkan untuk supply motor berkisar antara 2,5 Volt s/d 46 Volt. Karena IC yang digunakan adalah seri L298 tanpa dioda proteksi maka pada rangkaian Gambar 2.8 harus diberi dioda proteksi eksternal. Tujuan dari pemasangan dioda ini adalah untuk menahan arus balik yang keluar dari motor. Pada IC L298 terdapat 6 pin kontrol seperti ditunjukkan pada table berikut :

Tabel 2. 1 Fungsi Pin Kontrol IC L298

Nama	I/O	Fungsi
Input 1	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 1
Input 2	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 2
Input 3	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 3
Input 4	I	Pin <i>Direction</i> untuk menentukan polaritas Out 4
Enable A	I	Pin PWM untuk pasangan Out 1 dan Out 2
Enable B	I	Pin PWM untuk pasangan Out 3 dan Out 4

Masukan *Enable A* dan *Enable B* merupakan input PWM dimana semakin besar nilai presentase *duty cycle* maka kecepatan motor akan semakin cepat. Tabel kebenaran untuk pin kontrol ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. 2 Tabel Kebenaran Input 1 dan Input 2 L298

INPUT			OUTPUT		Fungsi
Enable A	Input 1	Input 2	Out 1	Out 2	
H	H	L	V Motor	GND	Maju
H	L	H	GND	V Motor	Mundur
H	L	L	GND	GND	Stop/Brake
H	H	H	V Motor	V Motor	Stop/Brake
L	X	X	Z	Z	Free Running Motor Stop

Tabel 2. 3 Tabel Kebenaran Input 3 dan Input 4 L298

INPUT			OUTPUT		Fungsi
Enable B	Input 3	Input 4	Out 3	Out 4	
H	H	L	V Motor	GND	Maju
H	L	H	GND	V Motor	Mundur
H	L	L	GND	GND	Stop/Brake
H	H	H	V Motor	V Motor	Stop/Brake
L	X	X	Z	Z	Free Running Motor Stop

Keterangan:

H = *High*

L = *Low*

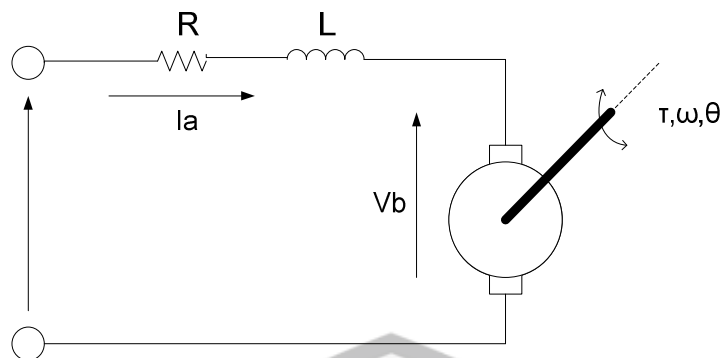
Z = *High Impedance*

X = *Don'tcare*

2.4 Motor DC^[6]

Motor DC (*Direct Current*) adalah suatu peralatan dibidang elektromekanik dasar yang fungsinya sebagai pengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik dimana desain awalnya diperkenalkan oleh Michael Faraday lebih dari seabad yang lalu.

Rangkaian Ekivalen dari sebuah Motor DC magnet permanen dapat ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 2. 9 Rangkaian Ekivalen Motor DC Magnet permanen

Keterangan :

V_a = Tegangan armatur

I_a = Arus Motor

R = Resistansi armatur

L = Induktansi lilitan armatur

V_b = tegangan induksi balik, emf (*elektro motor force*)

τ = torsi motor

ω = kecepatan putar motor

θ = sudut putaran poros motor

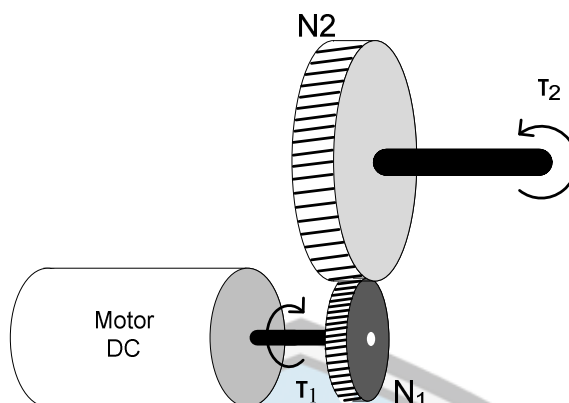
persamaan tegangan V_a adalah ,

$$V_a = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + K_b \omega$$

Dengan K_b adalah konstanta yang diukur dari tegangan yang dihasilkan oleh motor ketika berputar setiap satuan kecepatan (Volt.det/rad). *Magnitude* dan polaritas K_b adalah fungsi dari kecepatan angular, ω dan arah putaran poros motor.

Hal dasar yang perlu diperhatikan dalam suatu desain mekanik robot adalah perhitungan kebutuhan torsi dalam menggerakkan roda. Motor yang digunakan sebagai penggerak utama (*prime-mover*) yang sering dipakai umumnya akan bekerja secara optimal (torsi dan kecepatan putar yang paling ideal) pada putaran yang relatif tinggi hal ini tidak sesuai jika porosnya dihubungkan langsung ke sendi gerak atau roda. Sebab kebanyakan gerak yang diperlukan dalam sisi anggota badan robot adalah relatif pelan namun bertenaga. Untuk itu diperlukan cara-cara transmisi daya motor (atau aktuator

secara umum) secara tepat. Salah satu metoda yang paling umum adalah menggunakan sistem *gear*.



Gambar 2. 10 Penggunaan Transmisi *Gear* Hubungan Langsung

Pada gambar tersebut, N_1 adalah jumlah gigi pada gear poros motor, N_2 adalah jumlah gigi pada poros output, τ_1 adalah torsi pada poros motor, dan τ_2 adalah torsi pada poros output. Torsi output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\tau_2 = \frac{N_2}{N_1} \tau_1$$

Sedangkan putaran output dapat dihitung sebagai :

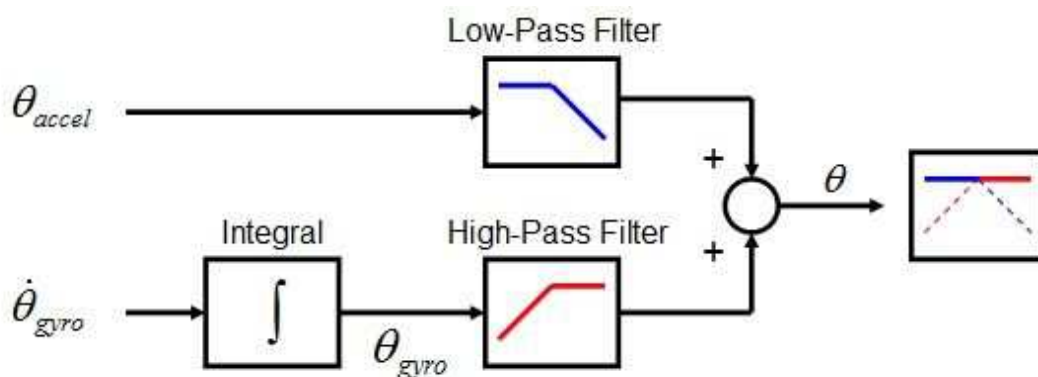
$$Putaran_{OUT} = \frac{N_1}{N_2} Putaran_{Motor}$$

Arah putaran poros pada transmisi gear hubungan langsung seperti pada Gambar 2.11 adalah selalu berlawanan untuk tiap sambungan serial. Untuk bisa mendapatkan arah putar yang sama seperti pada poros motor, maka *gear* harus disusun dengan jumlah yang ganjil.

Transmisi *gear* hubungan langsung ini terkenal mudah instalasinya, namun memiliki kelemahan utama yaitu pada jeda gerakan ketika dikemudikan pada arah yang berlawanan. Hal ini dikenal dengan nama *backlash*. Kelemahan lain yang sering muncul adalah masalah friksi antara gir dan friksi poros. Namun demikian, tipe gir ini adalah yang paling banyak dipakai karena untuk mendapatkan rasio gir yang bear (transmisi dicapai dengan susunan gir yang relatif banyak) arsitekturnya dapat dibuat ringkas dalam satu rumah.

2.5 Complementary Filter

Complementary filter merupakan sebuah filter yang digunakan untuk menggabungkan dua buah data dengan karakter derau atau noise yang berbeda, satu data dengan frekuensi derau tinggi dan satu lagi dengan frekuensi derau rendah. Kedua data ini akan diolah dengan filter low-pass untuk memiliki frekuensi derau tinggi dan high-pass untuk yang memiliki frekuensi derau rendah. Hasil olahan dua data ini kemudian akan di kombinasikan untuk membentuk nilai yang lebih baik^[7].



Gambar 2. 11 Diagram Blok Complementary Filter

2.6 Kontroler PID (Proportional Integral Derivative)^[8]

Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan kontroler yang banyak digunakan dalam sistem control industri. Sinyal keluaran dari PID didefinisikan sebagai berikut :

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

Dimana :

$m(t)$ = Keluaran PID

K_p = Konstanta *proportional*

K_i = Konstanta *integral*

K_d = Konstanta *derivative*

$e(t)$ = Nilai *error* sekarang

$de(t)$ = Nilai *error* sebelumnya – nilai *error* sekarang

dt = *Time sampling*

2.6.1 *Proportional* (elemen P)

Proportional menangani kesalahan (*error*) dengan segera, yang mana kesalahan tersebut dikalikan dengan suatu nilai konstanta K_p . Jika nilai kesalahan sama dengan nol, maka keluaran dari kontroler *proportional* juga sama dengan nol. Akan tetapi, kontroler *proportional* tidak akan mencapai nilai *setpoint*-nya jika nilai keluarannya yang dibutuhkan bukan nol untuk menjaga *setpoint*-nya.

2.6.2 *Integral*(elemen I)

Integral mempelajari nilai yang telah lalu (lampau), kesalahan diintegrasikan dan dikalikan dengan konstanta K_i . Bentuk integrasi memungkinkan kontroler untuk menghilangkan kondisi kesalahan tetap (*steady-state error*) jika proses membutuhkan nilai masukan bukan nol untuk mendapatkan *setpoint* yang diinginkan.

Suatu *integral* kontroler akan bereaksi terhadap kesalahan (*error*) oleh peningkatan nilai yang ditambahkan ke nilai keluarannya. Sehingga hal ini akan memaksa kontroler untuk mencapai nilai *setpoint*-nya lebih cepat dibandingkan dengan hanya kontroler *proportional* dan menekan atau menghilangkan kondisi kesalahan tetap, hal ini juga menjamin bahwa proses *overshoot* di *setpoint* diawali dari nilai *integral* yang secara berkelanjutan ditambahkan ke nilai keluarannya.

2.6.3 *Derivative* (elemen D)

Derivative untuk mengantisipasi nilai yang akan datang, *derivative* yang pertama dari kesalahan yang terjadi (*error*) dikalikan dengan suatu konstanta K_d . Hal ini dapat dipakai untuk mengurangi besarnya *overshoot* yang dihasilkan oleh komponen *proportional* dan *integral*, tetapi kontroler akan sedikit lebih lambat untuk mencapai *setpoint*.

Tabel 2. 4 Karakteristik Pengendali Pid

Respon	<i>Overshoot</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady-state error</i>
K_p	<i>Increase</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>
K_i	<i>Increase</i>	<i>Decrease</i>	<i>Increase</i>	<i>Eliminate</i>
K_d	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>	<i>Decrease</i>	<i>Small Change</i>

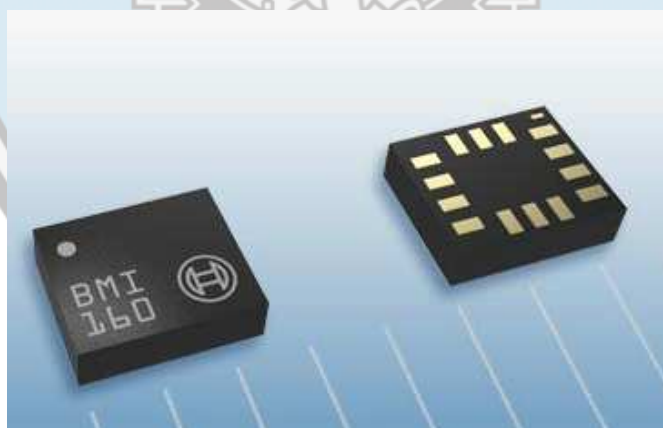
2.7 Respon Waktu Sistem Kendali^[10]

Respon waktu sistem adalah perubahan nilai output terhadap perubahan sinyal input. Respon Waktu digunakan untuk mengetahui respon waktu suatu sistem kendali. Parameter yang digunakan dari respon waktu terdiri dari empat respon waktu yaitu;

1. Peak Time (T_p) : waktu yang diperlukan untuk mencapai titik puncak pertama, atau puncak maksimum
2. Steady State : keadaan dimana sistem berjalan stabil
3. Settling Time (T_s) : besarnya waktu yang diperlukan oleh osilasi teredam (damped) untuk bertahan pada $\pm 2\%$ nilai akhir.
4. Rise Time (T_r) : waktu yang diperlukan untuk perubahan dari 10% menjadi 90% nilai akhir.

2.8 Sensor Accelerometer dan Gyrometer BMI 160 Axis

Sensor Accelerometer merupakan Sensor yang dapat mengukur percepatan benda dalam satuan gravitasi, Sedangkan sensor Gyro merupakan sebuah sensor yang dapat mengukur kecepatan sudut. BMI160 merupakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terdiri dari 3 sumbu *accelerometer* dan 3 sumbu *gyroscope*. Sensor ini didisain *low power*, tingkat kepresisian pengambilan data yang akurat. Bekerja pada tegangan 1.7 V – 3.6 V. Sensor ini sudah terintegrasi dengan board Genuino UNO 101.



Gambar 2. 12 Sensor BMI 160

2.9 Bluetooth HC-05^[10]

Modul Bluetooth HC-05 merupakan modul yang digunakan untuk mengirimkan data serial Transistor Transistor Logic (TTL) melalui Bluetooth. Modul Bluetooth HC-

05 merupakan modul bluetooth ber-nomor seri ganjil, modul ini memiliki dua tipe yakni, tipe master dan slave.



Gambar 2. 13 Modul Bluetooth HC-05

Penggunaan utama dari modul BT ini adalah menggantikan komunikasi serial via kabel, sebagai contoh:

1. Ketika akan menghubungkan dua sistem yang menggunakan mikrokontroler agar dapat berkomunikasi dengan serial port maka dipasang sebuah modul *Bluetooth* Master pada sistem yang satu dan modul *Bluetooth* Slave pada sistem lainnya. Komunikasi dapat dilakukan setelah kedua modul tersebut melakukan pairing. Koneksi dengan perangkat atau modul bluetooth ini menyerupai komunikasi serial, yaitu menggunakan TXD dan RXD.
2. Jika suatu sistem mikrokontroler dipasang sebuah modul *Bluetooth* Slave maka sistem tersebut akan dapat berkomunikasi dengan perangkat lain yang terdapat *device bluetooth* juga

Pemakaian modul Bluetooth pada suatu sistem komunikasi seperti antar dua sistem mikrokontroler maupun antar suatu sistem ke device lain, tidak perlu adanya driver, tetapi komunikasi tersebut dapat terjadi jika memenuhi dua syarat yaitu :

1. Komunikasi terjadi antara modul *Bluetooth* Master dan *Bluetooth* Slave, dan komunikasi tidak akan bisa terjadi jika kedua modul sama-sama Master atau sama-sama Slave, karena tidak akan bisa pairing antar keduanya.
2. Password yang dimasukkan sama dengan password yang di berikan.

BAB III

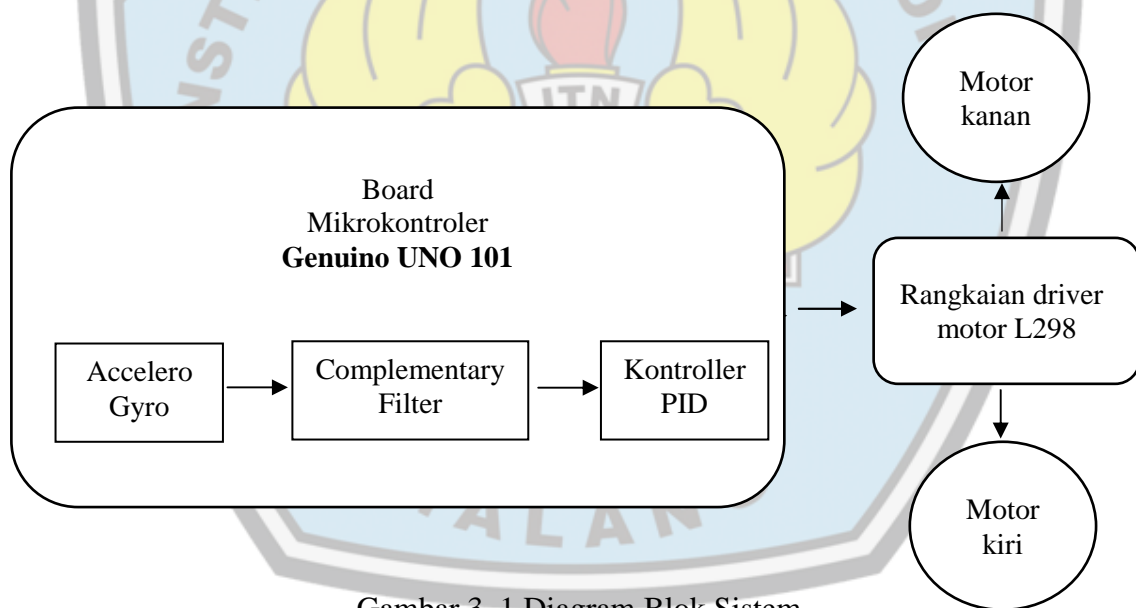
PERANCANGAN SISTEM

3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan membahas mengenai perancangan sistem, prinsip kerja, perancangan mekanik, perancangan perangkat keras, dan perancangan perangkat lunak. Pada perancangan ini akan diimplementasikan konsep dan teori dasar yang telah dibahas sebelumnya, sehingga tujuan dari perencanaan dapat tercapai dengan baik. Untuk itu pembahasan difokuskan pada desain yang direncanakan pada diagram blok sistem.

3.2. Perancangan Sistem

Sistem yang akan dirancang harus mengacu pada diagram blok yang telah dibuat oleh penulis. Diagram blok sistem dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

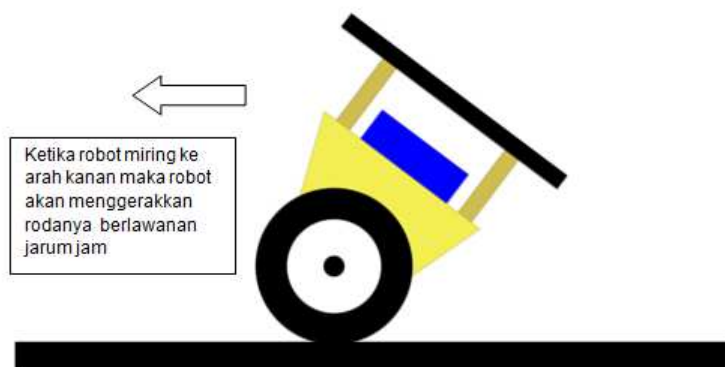
Sistem pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian antara lain input data dari sensor Accelero dan Gyro yang telah terintegrasi dalam board Genuino UNO 101 akan diakses melalui perangkat lunak melalui Sistem kontrol yang berupa *board minimum system* Genuino UNO 101. Dan sistem output yang berupa driver motor L298 sebagai penggerak motor dc.

Berikut adalah penjelasan diagram blok :

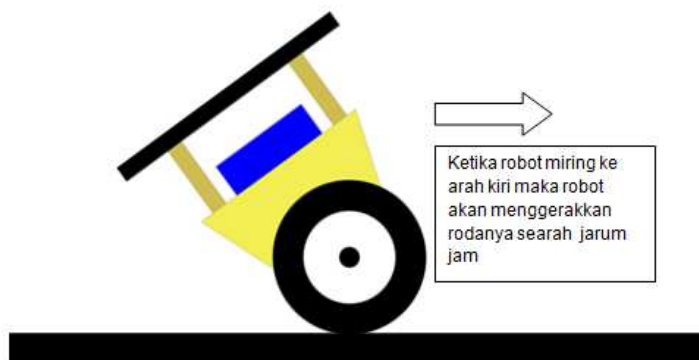
- 1) Sensor Accelerometer digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan robot terhadap permukaan bumi.
- 2) Sensor Gyro digunakan untuk mendeteksi kecepatan sudut.
- 3) Sistem kontrol merupakan bagian pengolah data yang dibaca oleh sensor dan memberikan nilai output yang berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) kepada motor *driver* L298N. Kontroler pada perancangan ini menggunakan *board minimum system* Genuino UNO 101
- 4) Motor *driver* L298N berfungsi sebagai pengontrol motor dc, sehingga motor dapat bergerak searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan yang bisa diatur dengan menggunakan sistem PWM.

3.3 Prinsip Kerja

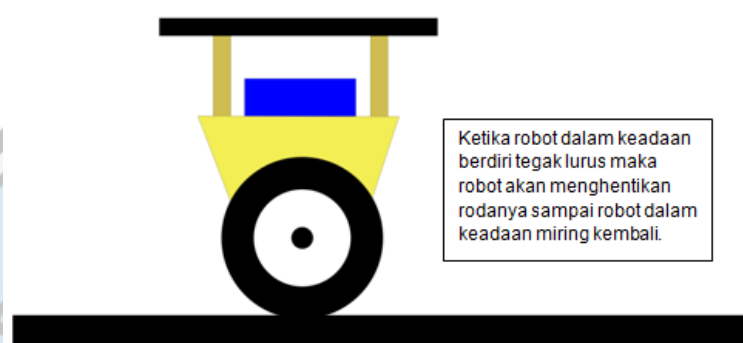
Prinsip kerja dari Robot keseimbangan adalah robot akan menggerakkan roda berputar searah jarum jam atau tidak artinya maju dan mundur untuk mendapatkan titik keseimbangannya. Robot keseimbangan ini akan menggunakan sensor Accelerometer dan Gyroscope sebagai acuan dalam menggerakkan rodanya. Board Genuino UNO 101 diletakkan pada permukaan datar pada badan robot dengan ini sensor yang tadi telah terintegrasi akan membaca sudut kemiringan robot terhadap permukaan bumi dan membaca kecepatan sudutnya. Data yang dibaca dari sensor tersebut merupakan data masukan dari sistem. board Mikrokontroler Genuino 101 berfungsi sebagai pengolah data masukkan sistem dan menghasilkan data keluaran dari sistem. Data keluaran sistem akan diterima oleh motor *driver* L298, motor *driver* akan menggerakkan dua buah motor dc berdasarkan data keluaran sistem.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 1



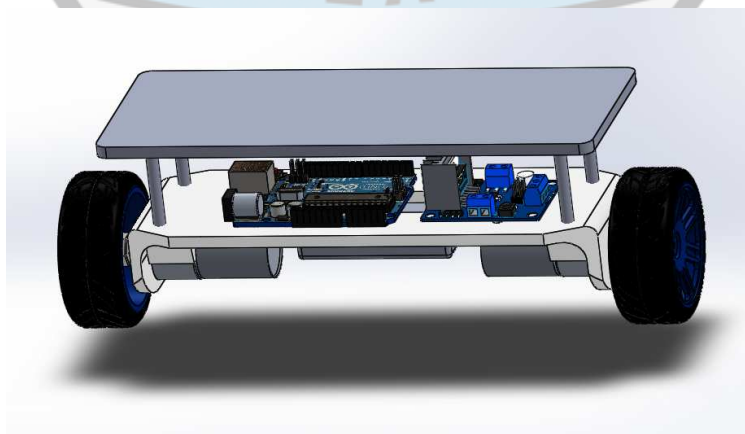
Gambar 3. 3 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 2



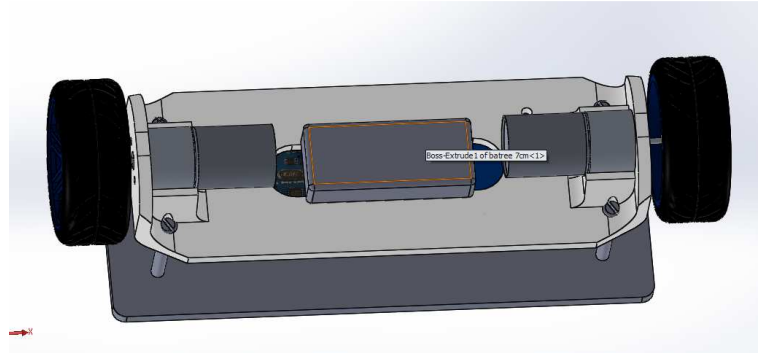
Gambar 3. 4 Ilustrasi Prinsip Kerja Bagian 3

3.4 Perancangan Mekanik

Desain mekanik dari robot keseimbangan beroda dua ini terdiri dari frame utama yg digunakan untuk peletakan motor DC, *microcontroller*, baterai dan *driver* motor. Roda diletakkan dengan posisi sejajar di bagian kanan dan kiri robot dan mikrokontroler Genuino 101 diletakkan pada bagian tengah robot. Desain mekanik robot dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 5 Desain Mekanik Bagian Depan



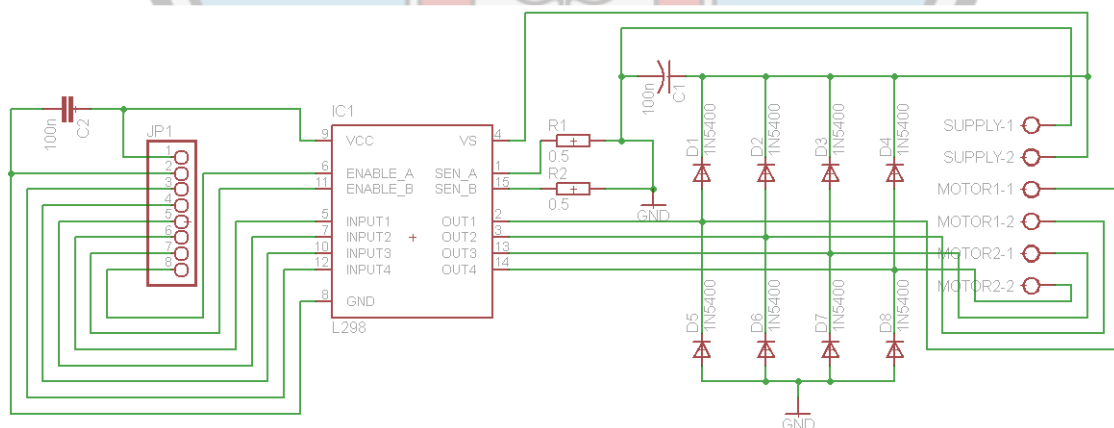
Gambar 3. 6 Desain Mekanik Bagian Bawah

3.5. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan rangkaian motor driver dan pengkabelan.

3.5.1 Perancangan Rangkaian Motor Driver

Rangkaian motor driver berfungsi sebagai penguat arus yang keluar dari port mikrokontroler sehingga mampu menggerakkan motor DC. Rangkaian motor driver ini juga berfungsi sebagai pengatur kecepatan dari motor DC dengan menggunakan fungsi PWM (*Pulse Width Modulation*). Rangkaian motor driver ini menggunakan IC L298 dengan konsep H-bridge yang dapat menggerakkan motor searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. IC L298 tidak dilengkapi dengan dioda internal, sehingga diperlukan rangkaian dioda eksternal. Rangkaian dioda berfungsi sebagai proteksi terjadinya impuls tegangan induksi motor DC.



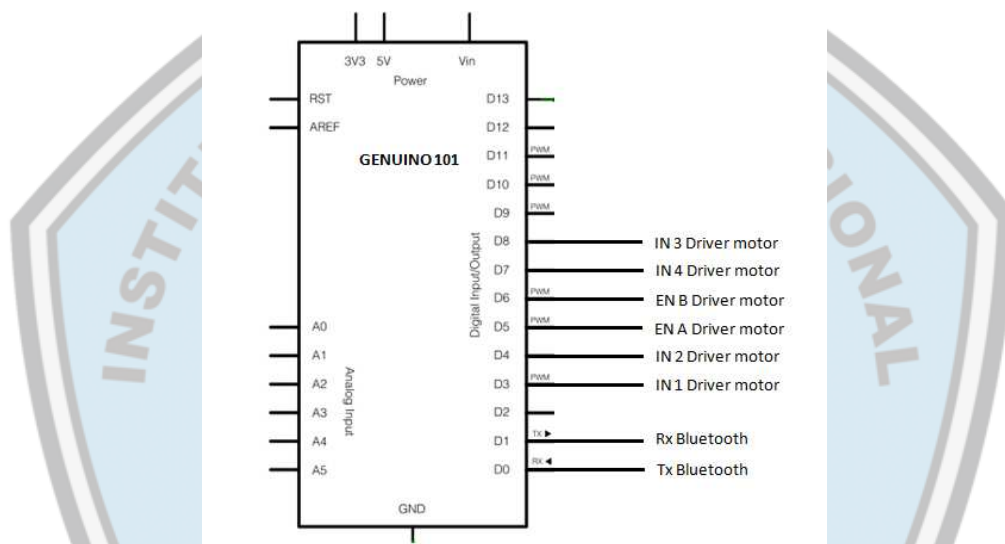
Gambar 3. 7 Rangkaian Driver Motor L298n

Pemberian resistor pada pin SEN_A dan SEN_B, serta kapasitor C1 dan C2 merupakan rekomendasi dari datasheet IC L298. Rekomendasi nilai yang digunakan

adalah 100nF pada kapasitor C1 dan C2, sedangkan R pada pin SEN_A dan SEN_B bernilai $0,5\Omega$. Dioda proteksi yang digunakan harus mampu melewatkan arus sebesar 2A. IC L298 memerlukan catudaya sebesar 5V yang dihubungkan pada pin VCC, sedangkan motor DC memerlukan catudaya sebesar 11,1V (tegangan baterai) yang dihubungkan pada pin VS.

3.5.2 Pengkabelan

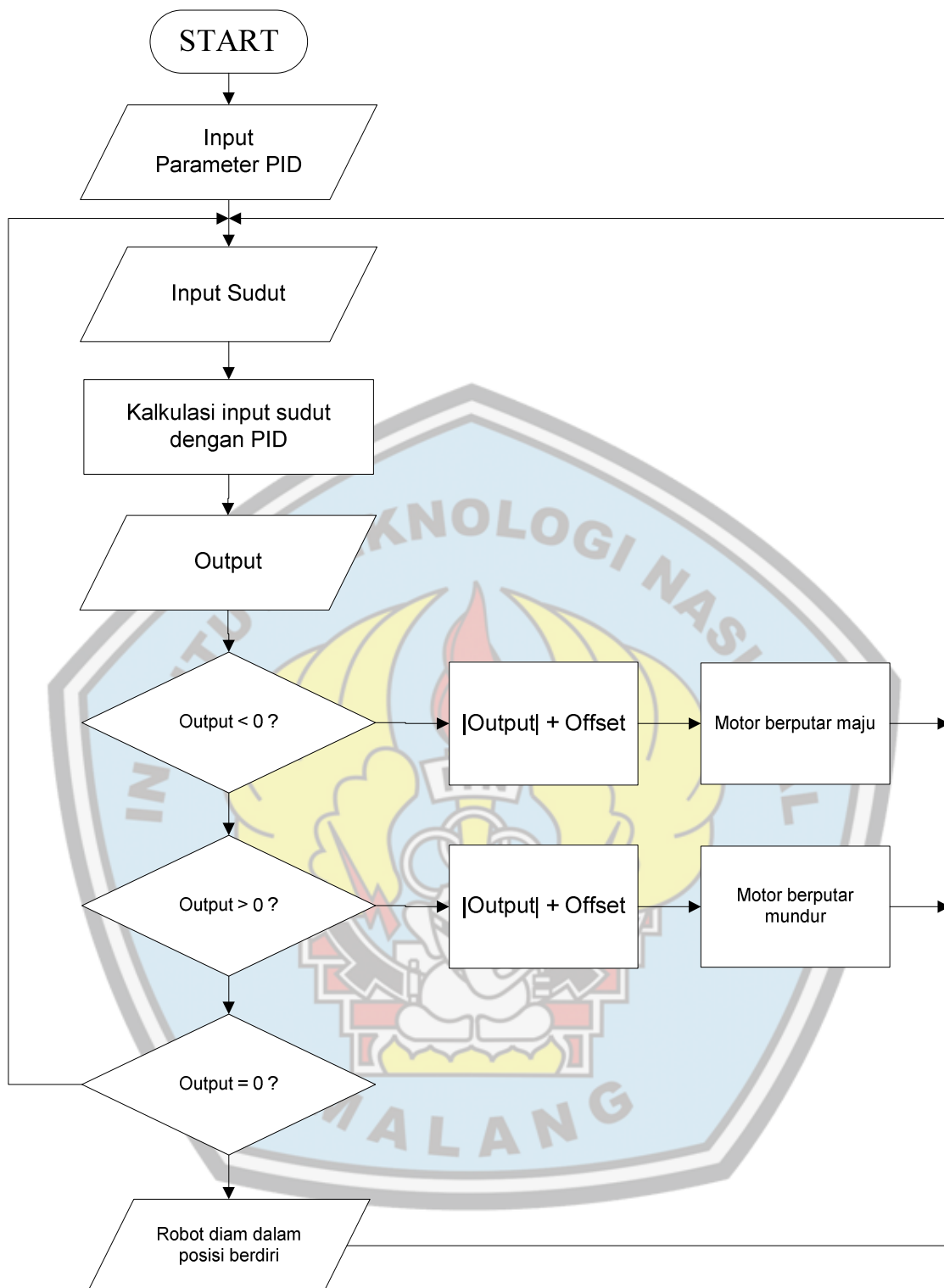
Seluruh sistem elektronika di hubungkan menggunakan kabel atau *jumper* karena tidak berada dalam satu PCB (*Printed Circuit Board*). Berikut gambar rancangan untuk proses pengkabelan seluruh sistem elektronika:



Gambar 3. 8 Pengkabelan

3.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dari robot keseimbangan beroda dua dirancang berdasarkan diagram blok sistem dan flowchart yang telah disusun oleh penulis. Diagram blok sistem yang telah disusun oleh penulis dapat dilihat pada Gambar 3.9 Berikut gambar flowchart yang telah disusun oleh penulis :



Gambar 3. 9 Flowchart Robot Keseimbangan Beroda Dua

3.6.1 Perancangan Algoritma Sistem Kontrol PID

Sistem kontrol PID pada umumnya hanya berbentuk suatu rumus matematika dan bukan berbentuk algoritma pemrograman, sehingga memerlukan proses konversi dari rumus tersebut menjadi suatu algoritma pemrograman. Berikut merupakan rumus dari PID :

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

Dimana :

Output(t) = Keluaran PID

Kp = Konstanta *proportional*

Ki = Konstanta *integral*

Kd = Konstanta *derivative*

e(t) = Nilai *error* sekarang

de(t) = Nilai *error* sebelumnya – nilai *error* sekarang

dt = *Time sampling*

jika dikonversikan menjadi suatu algoritma pemrograman maka akan menjadi :

$$Output = (k_p \times error) + (k_i \times integral\ error) + (k_d \times delta\ error \div ts)$$

Dimana :

Output = Keluaran PID

Kp = Konstanta *proportional*

Ki = Konstanta *integral*

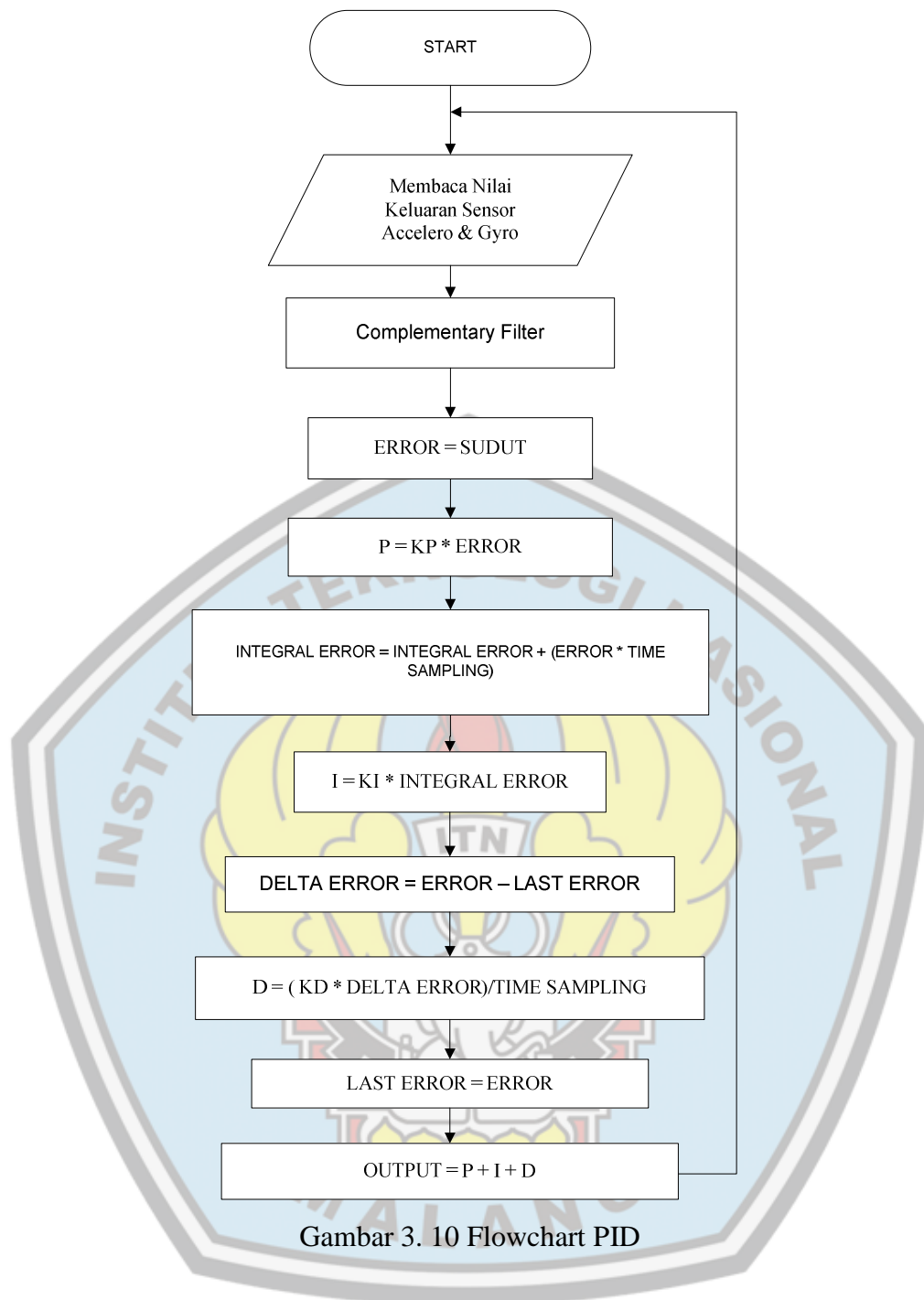
Kd = Konstanta *derivative*

error = Nilai *error* sekarang

delta error = Nilai *error* sebelumnya – nilai *error* sekarang

integral error = Nilai *error* sebelumnya + (nilai *error* sekarang \times *time sampling*)

ts = *time sampling*



3.7 Perancangan Algoritma Complementary Filter^[11]

Complementary filter yang akan digunakan akan dirumuskan menjadi algoritma pemrograman sebagai berikut :

$$Sudut = a \times (sudut + out\ gyro) + (1 - a) \times (\theta a)$$

Dimana :

θc = Sudut complementary filter

a = koefisien filter

sudut = pembacaan sudut

out gyro = keluaran nilai gyro setelah di filter

θ_a = sudut accelerometer



BAB IV

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN SISTEM

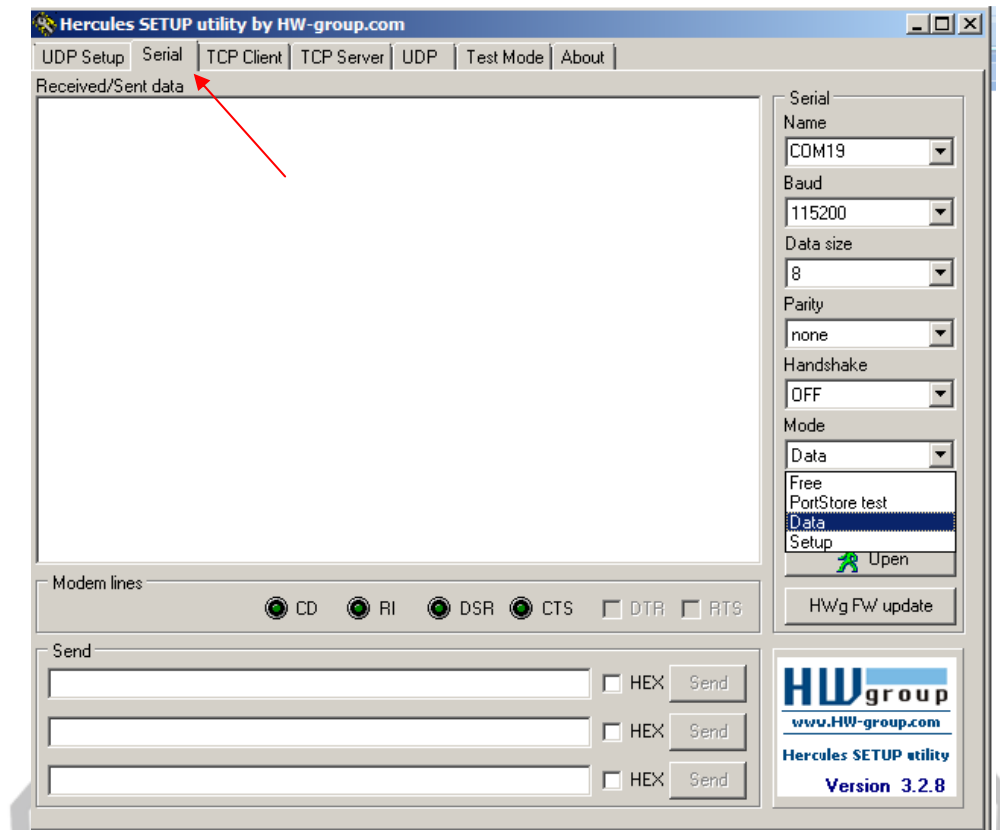
4.1 Pendahuluan

Pada bab ini ditunjukkan untuk melakukan pengujian dan pembahasan dari sistem yang telah dirancang sebelumnya agar dapat diketahui bagaimana kinerja dari keseluruhan sistem maupun kinerja masing-masing bagian. Dari hasil pengujian tersebut akan dijadikan dasar untuk menentukan kesimpulan serta point-point kekurangan yang harus segera diperbaiki agar kinerja keseluruhan sistem dapat sesuai dengan perencanaan dan perancangan yang telah dibuat.

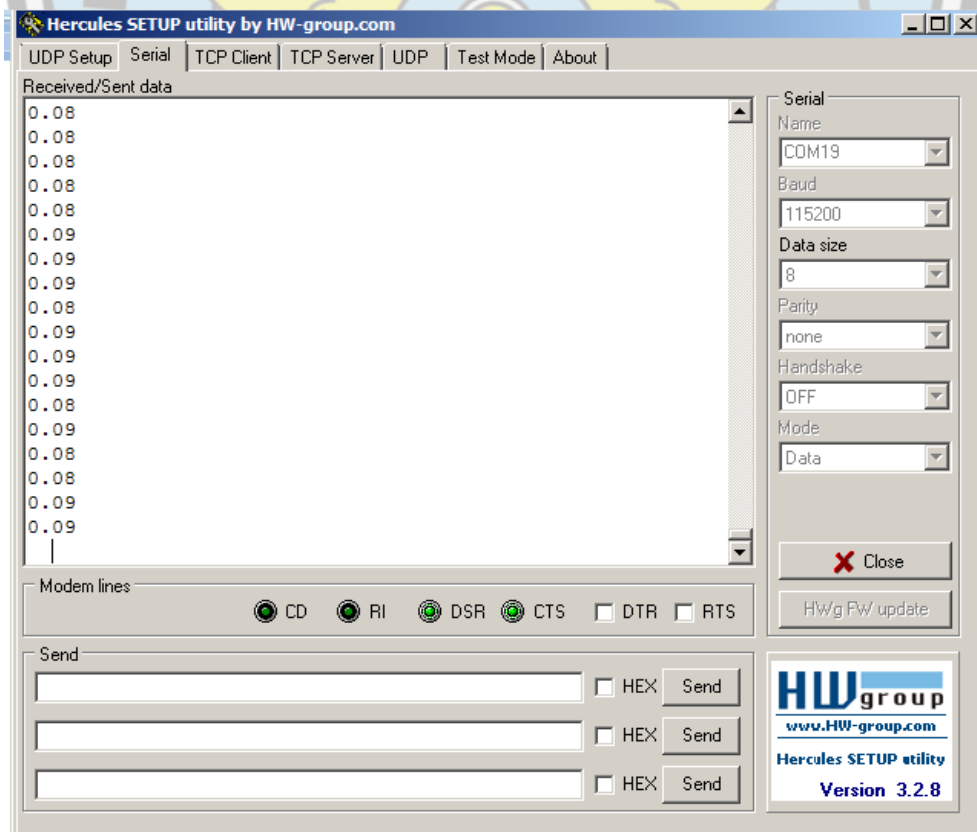
4.2 Pengujian Pengiriman Data melalui Bluetooth HC-05

Pengujian dilakukan dengan mengirim data serial menggunakan bluetooth HC-05 ke bluetooth laptop menggunakan baudrate 115200 dan menggunakan software hercules pada laptop. Pengujian pengiriman data ini dilakukan hanya dengan menggunakan perintah serial print pada mikrokontroler genuino UNO 101. Akan tetapi sering kali penulis menemui kendala bluetooth yang dipakai tiba tiba off dengan sendirinya, karena pengiriman yang dilakukan oleh mikrokontroler datanya begitu cepat (mencapai 90 data per detik) maka dari itu perlu merubah pengaturan pada software hercules. Hanya dengan Mengubah mode dari free ke data. Seperti pada gambar

4.1



Gambar 4. 1 Konfigurasi Software Hercules



Gambar 4. 2 Hasil Pembacaan Serial Data Bluetooth Pada Software Hercules



Gambar 4. 3 Pembacaan Serial Data Bluetooth Pada Software Hercules

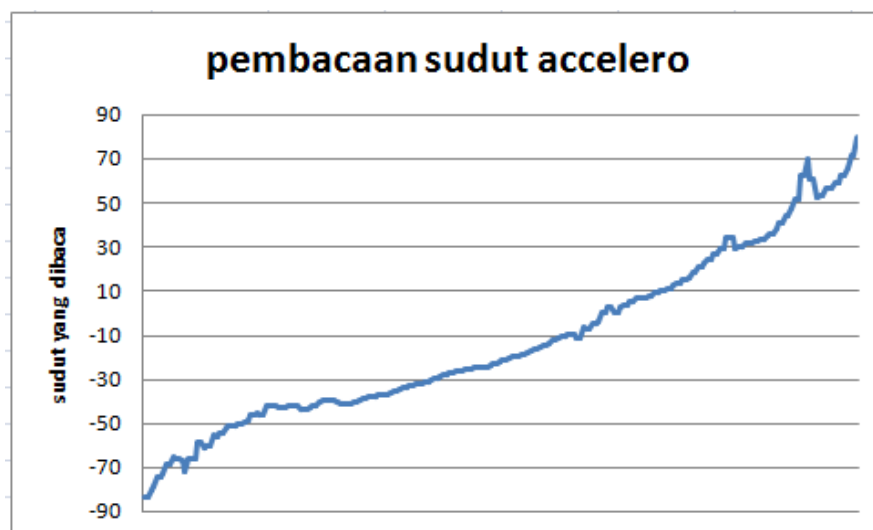
4.2 Pengujian Sensor Accelerometer dan Gyroscope BMI160

4.2.1 Pengujian Sensor Accelerometer Satu Sumbu Derajat Kebebasan

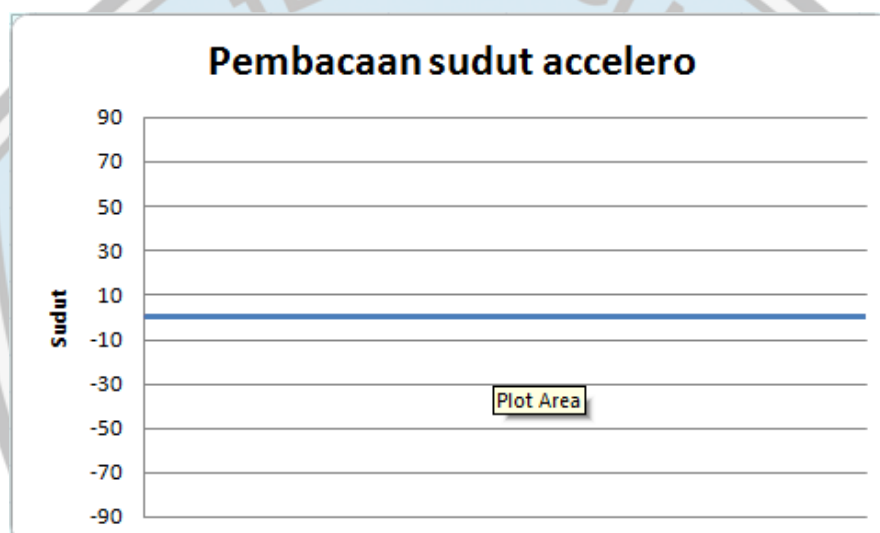
Penulis melakukan pembacaan sudut dengan memanfaatkan accelerometer. Robot keseimbangan bergerak antara 90° kekanan dan 90° kekiri. Dalam Pengujian sensor accelerometer dilakukan untuk mencari posisi sudut dari -90° sampai dengan 90° . pengujian dilakukan dalam kelipatan 10. Dalam pengujian sensor accelero seharusnya diukur Dalam percobaan ini penulis mencoba menggunakan satu sumbu derajat kebebasan yg dimiliki oleh sensor accelero BMI160 sumbu (x).

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Accelerometer

Sudut sebenarnya	Hasil pembacaan	Sudut sebenarnya	Hasil pembacaan
0	0	0	0
10	10	-10	-10
20	20	-20	-20
30	30	-30	-30
40	40	-40	-40
50	50	-50	-50
60	59	-60	-59
70	69	-70	-69
80	78	-80	-78
90	82/error	-90	-84/error



Grafik 4. 1 Pembacaan Sudut Sensor Accelerometer



Grafik 4. 2 Pengujian Sudut Sensor Accelerometer Pada Sudut 0°

Dari Tabel 4.1 dan Grafik 4.1 dapat dilihat bahwa dengan hanya menggunakan satu derajat kebebasan terdapat kesalahan error pada saat pembacaan diatas 50° dan terdapat error yang besar pada saat membaca sudut $80^{\circ} - 90^{\circ}$ pada pembacaan sensor accelerometer BMI160. Akan tetapi pada saat diam pada Grafik 4.2 pembacaan sensor sangat stabil dan ketika berotasi sensor accelero memiliki pembacaan yang patah patah dalam arti pembacaan tidak bisa halus. Dapat disimpulkan bahwa hanya dengan satu derajat kebebasan penulis tidak dapat menemukan titik sudut yang akurat pada saat mengukur 50° dan seterusnya, sehingga penulis membutuhkan dua derajat kebebasan dan filter untuk menemukan sudut kemiringan yang akurat.

Pengujian diatas menggunakan rumus:

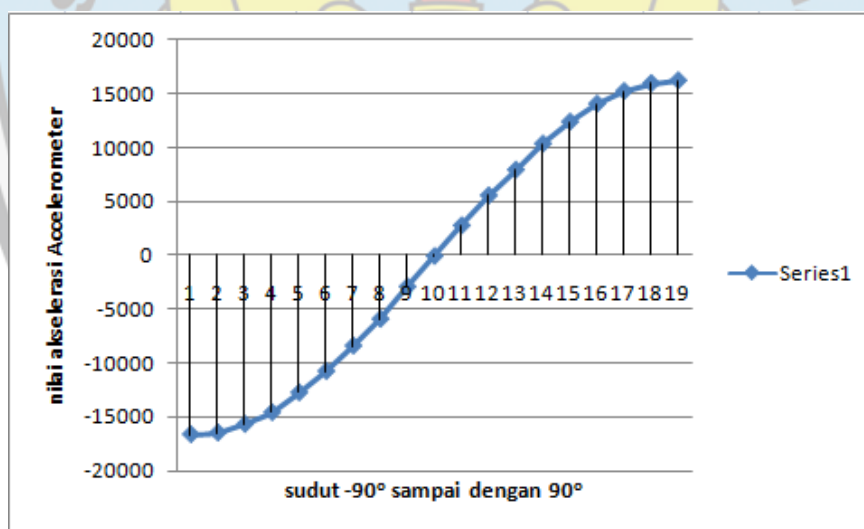
$$\theta_a = \sin^{-1}((y) \times 180)/3.14$$

Dimana :

θ_a = sudut yang dihasilkan

y = nilai keluaran sensor (diakses melalui library CurieIMU)

Penulis juga melakukan pengujian terhadap kecepatan pembacaan sensor, karena sensor BMI160 sudah terintegrasi dengan Genuino UNO 101 maka penulis tidak dapat membaca tegangan keluaran dari sensor. Maka penulis mencoba melakukan pengujian menggunakan nilai akselerasi dari sensor accelerometer dengan menggunakan acuan sudut sebenarnya. Dari hasil Gambar 4.6 dapat disimpulkan bahwa sensor accelerometer tidak dapat membaca sudut dengan akurat ketika berotasi, dapat dilihat ketika sudut sebenarnya berada pada posisi -40° sampai 40° nilai akselerasi bersifat linier akan tetapi setelah lebih dari itu nilai akselerasi terlihat landai. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pembacaan sensor seperti gelombang sinusoidal itu dikarenakan sensor terpengaruh oleh percepatan dan gravitasi.



Grafik 4. 3 Pengujian Nilai Akselerasi Sensor Accelerometer

4.2.2 Pengujian Sensor Accelerometer dengan Dua Derajat Kebebasan

Pada tahap pengujian ini digunakan dua derajat kebebasan yaitu sumbu (x) terhadap sumbu (y). Dimana sumbu (x) merupakan sumbu yang digunakan dalam penelitian ini untuk mencari posisi sudut kemiringan robot. Dari hasil pengujian didapat hasil pengukuran seperti dalam tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan Accelerometer Yang Telah Di Filter

Sudut sebenarnya	Hasil pembacaan	Sudut sebenarnya	Hasil pembacaan
0	0	0	0
10	10	-10	-10
20	20	-20	-20
30	30	-30	-30
40	40	-40	-40
50	50	-50	-50
60	60	-60	-60
70	70	-70	-70
80	80	-80	-80
90	90	-90	-90

Dari hasil pengujian yang tertulis dalam tabel 4.2 tidak terlihat sama sekali error dalam pembacaan sudut, namun pembacaan yang dilakukan oleh sensor accelerometer tetap patah patah sehingga untuk memperhalus pembacaan maka digabungkan sensor accelero dan gyro untuk mamperhalus pembacaan. Pengujian dari hasil tabel 4.2 menggunakan lowpass filter perangkat lunak dari complementary filter. Sehingga Perumusannya adalah:

$$\theta a = \tan^{-1} \left(\frac{ay \times \frac{180}{\pi}}{az \times \frac{180}{\pi}} \right)$$

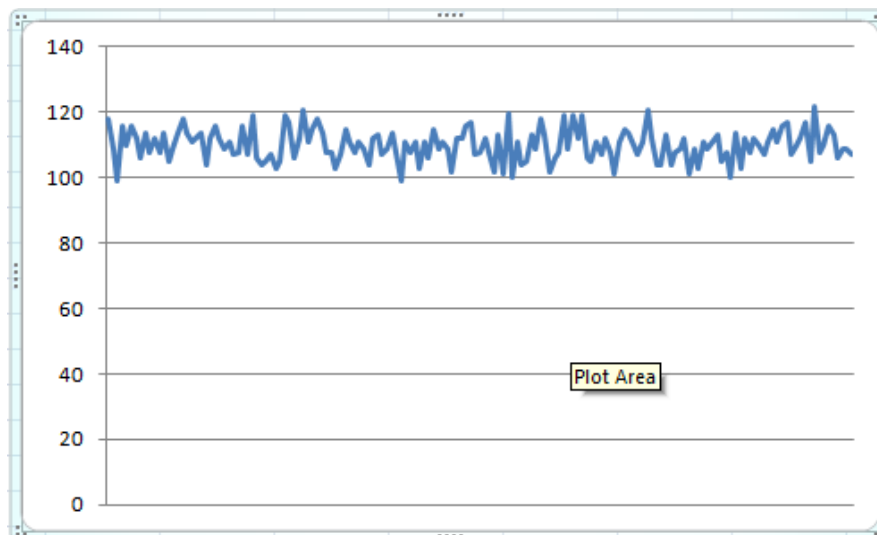
Dimana:

Ay = nilai pembacaan akselerasi pada sumbu y

Az = nilai pembacaan akselerasi pada sumbu z

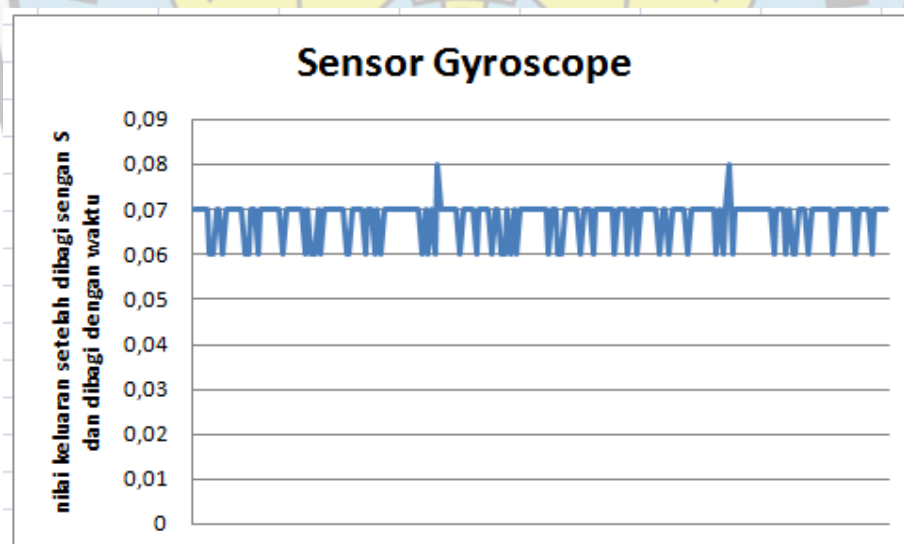
4.3 Pengujian Sensor Gyroscope

Sensor gyroscope merupakan sensor yang memiliki nilai keluaran jika sensor sedang berotasi, ketika berotasi searah jarum jam maka nilai keluaran sensor gyro akan mengecil (bernilai negatif) dan jika berotasi berlawanan jarum jam maka nilai keluaran akan membesar (bernilai positif). Pengujian dilakukan dengan cara melihat Grafik keluaran sensor gyroscope.



Grafik 4. 4 Pengujian Nilai Keluaran Sensor Gyro Saat Nol Derajad

Pada Grafik 4.4 terlihat sensor gyro memiliki nilai yang tidak stabil. Itu disebabkan sensor gyro memiliki nilai bias. Gambar diperjelas pada Gambar 4.8 dimana pada Grafik 4.5 sensor gyro sudah di bagi dengan nilai sensitivitasnya dan telah dibagi dengan waktu pembacaan.



Grafik 4. 5 Pengujian Sensor Gyro Nilai Setelah Dibagi Dengan Sensitifitas Dan Waktu

Hasil pengujian dari Gambar 4.8 merupakan hasil dari pembacaan nilai keluaran sensor gyro yang di filter menggunakan high pass filter dari perangkat lunak pada complementary filter. Sehingga perumusannya adalah:

$$out\ gyro = \left(\frac{gy}{S}\right) \times dt$$

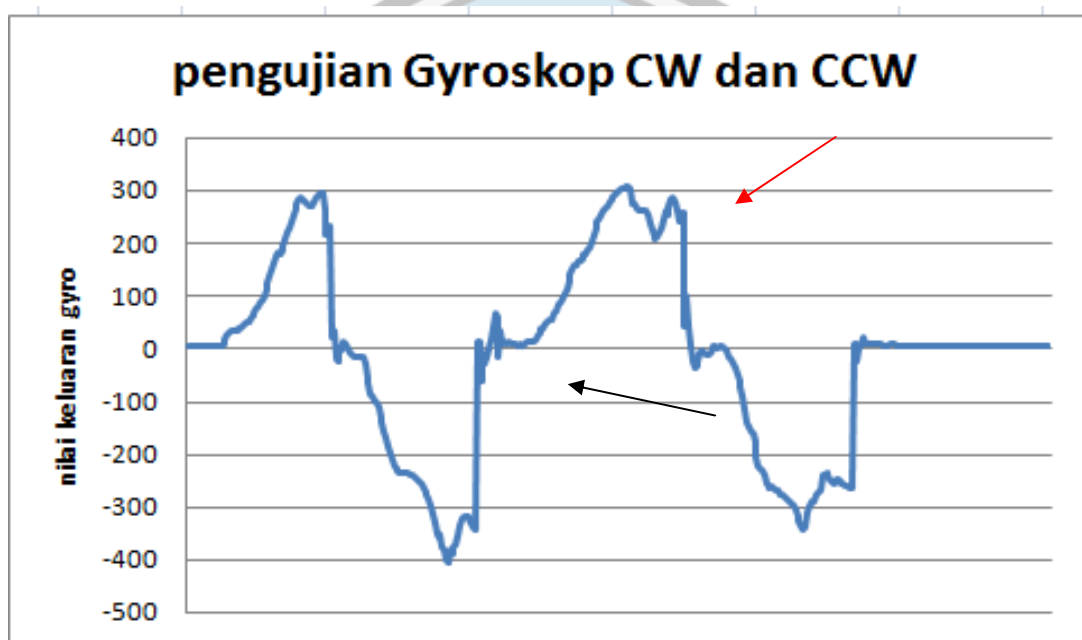
Dimana:

gy = nilai asli keluaran sensor gyro

S = Sensitifitas sensor gyro (telah ditetapkan oleh complementary filter)

dt = time sampling

Grafik 4.6 berikut merupakan hasil pengujian Sensor giro yang dirotasi searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.



Grafik 4. 6 Pengujian Sensor Gyro Searah Jarum Jam Dan Berlawanan Jarum Jam

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa sensor giro memiliki nilai yang bertambah jika berotasi berlawanan arah jarum jam dan memiliki nilai yang berkurang jika berotasi searah dengan jarum jam. Dapat diperhatikan pada tanda panah pada Gambar. Tanda panah merah menunjukkan ketika sensor diputar berlawanan arah jarum jam, dan tanda panah hitam menunjukkan ketika sensor di putar searah jarum jam.

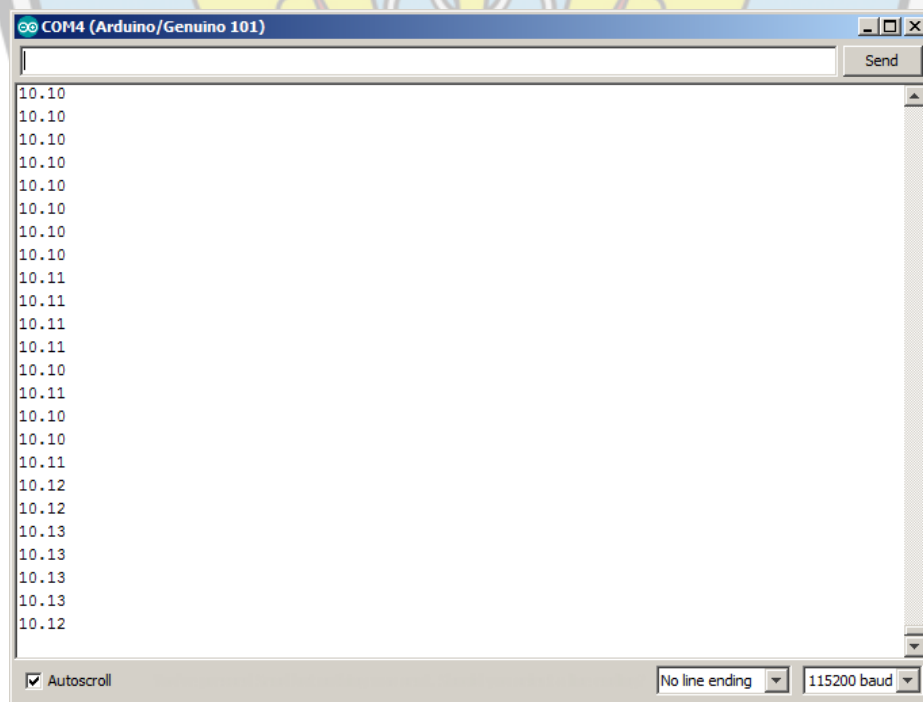
4.4 Pengujian Sudut Keluaran Menggunakan Complementary Filter

Pengujian sudut keluaran complementary filter merupakan sudut yang dihasilkan dari penggabungan dua nilai sensor yaitu accelerometer dan gyroscope,

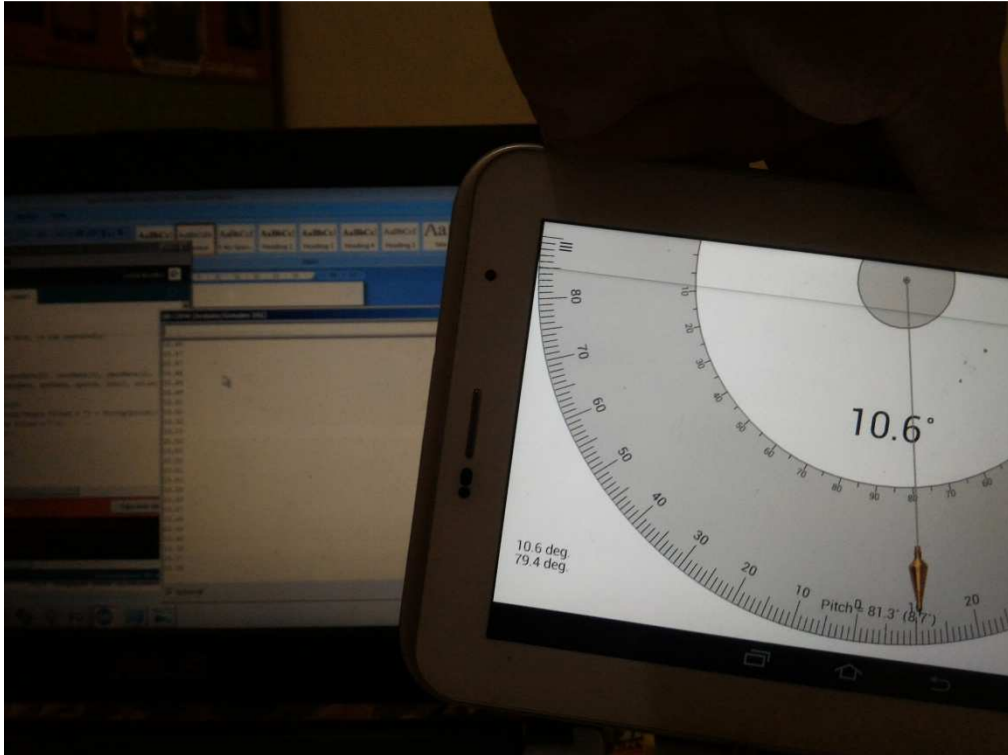
dimana keluaran kedua sensor telah di filter menggunakan lowpass filter dan highpass filter pada perangkat lunak. Sehingga nilai sudut yang dihasilkan seperti pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 hasil sudut kemiringan complementary filter

Sudut sebenarnya	Hasil pembacaan	Sudut sebenarnya	Hasil Pembacaan
0	0	0	0
10	10	-10	-10
20	20	-20	-20
30	30	-30	-30
40	40	-40	-40
50	50	-50	-50
60	60	-60	-60
70	70	-70	-70
80	80	-80	-80
90	90	-90	-90



Gambar 4. 4 Pengujian Sudut Complementary Filter Pada Serial Monitor



Gambar 4. 5 Sudut Pada Protractor

Dari hasil pembacaan sudut yang telah di filter oleh complementary filter, terlihat hasilnya sama dengan sudut yang telah dihasilkan oleh sensor accelerometer. Akan tetapi yang membedakan hasil pembacaan lebih halus tidak patah patah seperti pembacaan yang dilakukan oleh sensor accelerometer saja. Sehingga jika dirumuskan menjadi:

$$\text{Sudut} = a \times (\text{sudut} + \text{out gyro}) + (1 - a) \times (\theta a)$$

Dimana :

- a = koefisien filter
- sudut = pembacaan sudut
- out gyro = keluaran nilai gyro setelah di filter
- θa = sudut accelerometer

4.5 Pengujian Driver Motor L298

Pengujian driver motor L298 meliputi pengujian arah putaran motor dan pengujian gelombang PWM yang dihasilkan sehingga dapat diketahui kinerja dari driver motor L298N.

Tabel 4. 4 Konfigurasi Pin driver motor L298

No	Genuino UNO 101 pin	L298N pin
1	5V	Vcc (+5v)
2	D3	IN1
3	D4	IN2
4	D5	ENA
5	A2	IN3
6	D7	IN4
7	D8	ENB
8	GND	GND

Penulis melakukan pengujian terhadap IC L298N dengan pengujian arah putaran motor. Berikut hasil dari pengujian IC L298N :

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Arah Putaran Motor

PWM	Input				Arah Putaran	
	IN1	IN2	IN3	IN4	Motor 1	Motor 2
0	0	0	0	0	Loss	Loss
255	0	1	0	1	CCW	CCW
255	1	0	1	0	CW	CW
255	1	1	1	1	Break	Break

Pada tabel 4.5 ditunjukkan pengujian arah putar motor dengan berbagai kemungkinan logika input. Jika $IN1 = 0$ dan $IN2 = 0$ dengan nilai $PWM = 0$, maka motor 1 berada pada kondisi *Loss* yang artinya motor bergerak bebas. Jika $IN1 = 0$ dan $IN2 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan bergerak secara *CCW* (*Counter Clock Wise*). Jika $IN1 = 1$ dan $IN2 = 0$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan bergerak secara *CW* (*Clock Wise*). Jika $IN1 = 1$ dan $IN2 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 1 akan berada pada kondisi *Break* yang artinya motor mengalami pengereman. Jika $IN3 = 0$ dan $IN4 = 0$ dengan nilai $PWM = 0$, maka motor 2 berada pada kondisi *Loss* yang artinya motor bergerak bebas. Jika $IN3 = 0$ dan $IN4 = 1$ dengan nilai $PWM = 255$, maka motor 2 akan bergerak secara *CCW* (*Counter Clock Wise*). Jika

IN3 = 1 dan IN4 = 0 dengan nilai PWM = 255, maka motor 2 akan bergerak secara CW (*Clock Wise*). Jika IN3 = 1 dan IN4 = 1 dengan nilai PWM = 255, maka motor 2 akan berada pada kondisi *Break* yang artinya motor mengalami pengereman.

4.6 Pengujian Kontroler PID

Pengujian kontroler PID bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon dari robot keseimbangan beroda dua saat keluarannya dikalkulasikan dengan PID. Pengujian ini dilakukan dengan penentuan nilai parameter (tuning) kontrol PID secara trial dan error dengan nilai setpoint PID adalah 0°. Sehingga penulis melakukan banyak percobaan untuk menemukan nilai PID yang tepat. Hasil pengujian di gambarkan dengan grafik dimana penulis telah melakukan pembacaan hasilnya selama 1 detik data yang dikeluarkan oleh mikrokontroler adalah sebanyak 91 data. Untuk menemukan respon waktu pada pengujian maka:

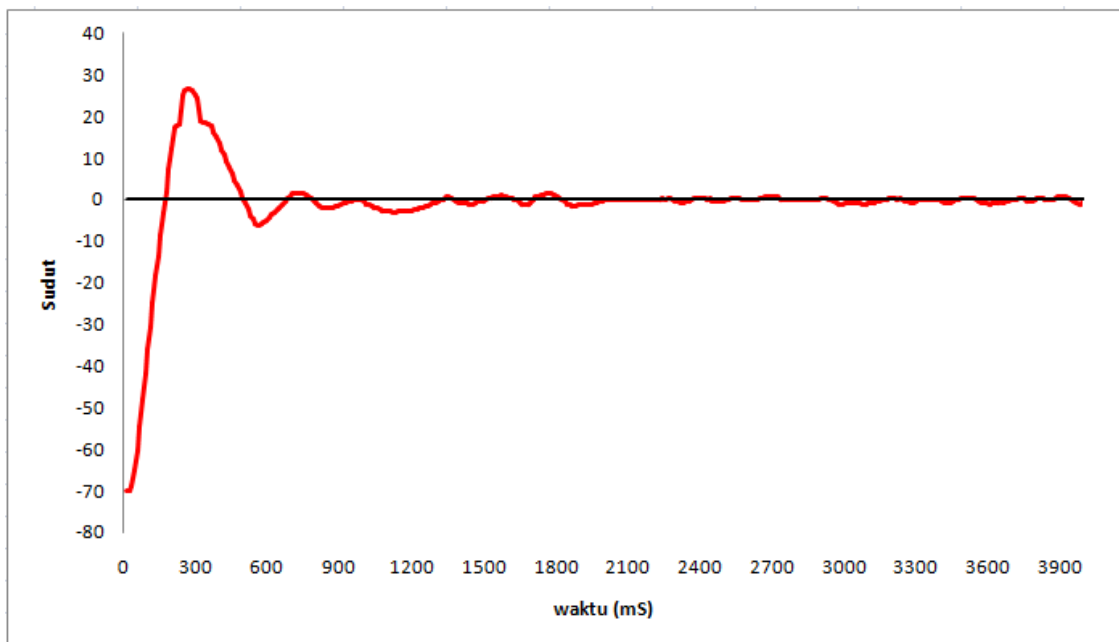
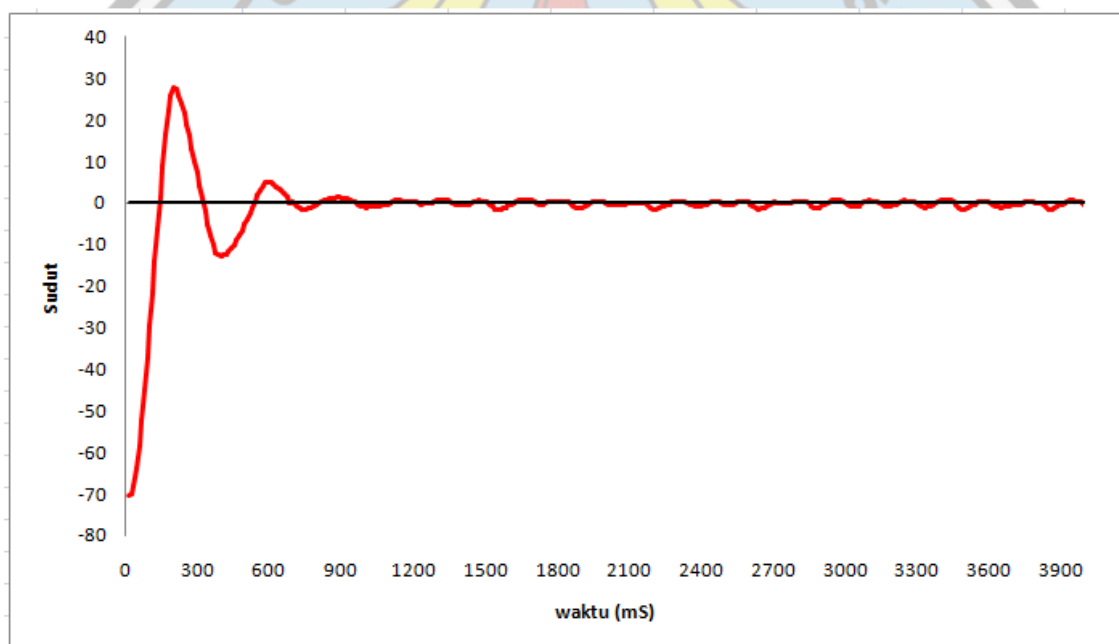
$$\text{Data}_n \times 0,011$$

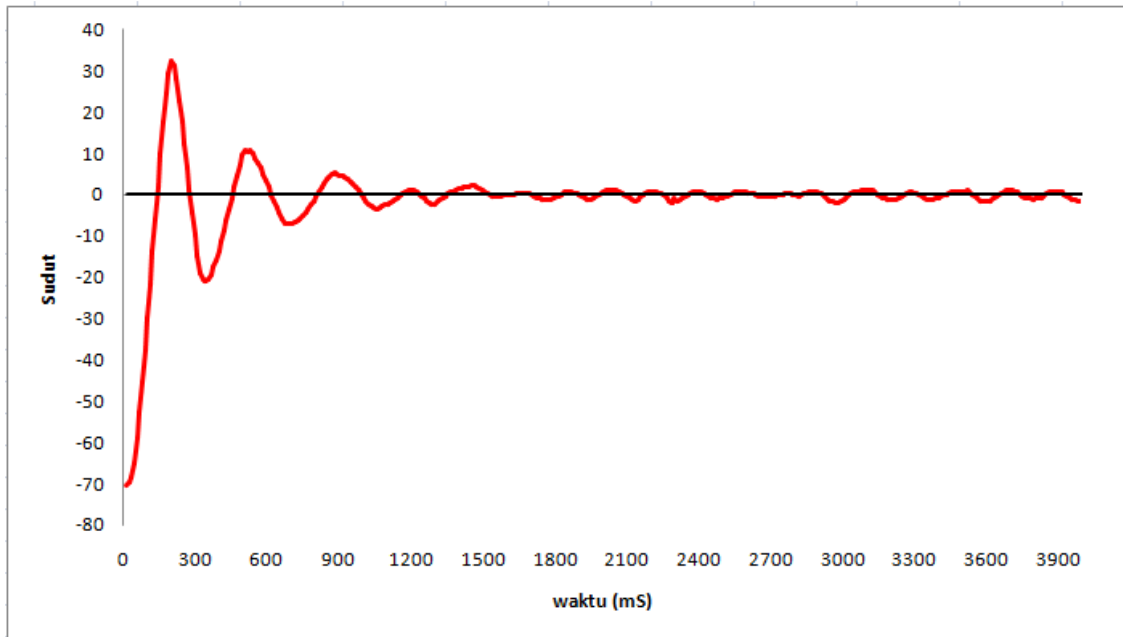
Dimana:

Data_n = nomor data

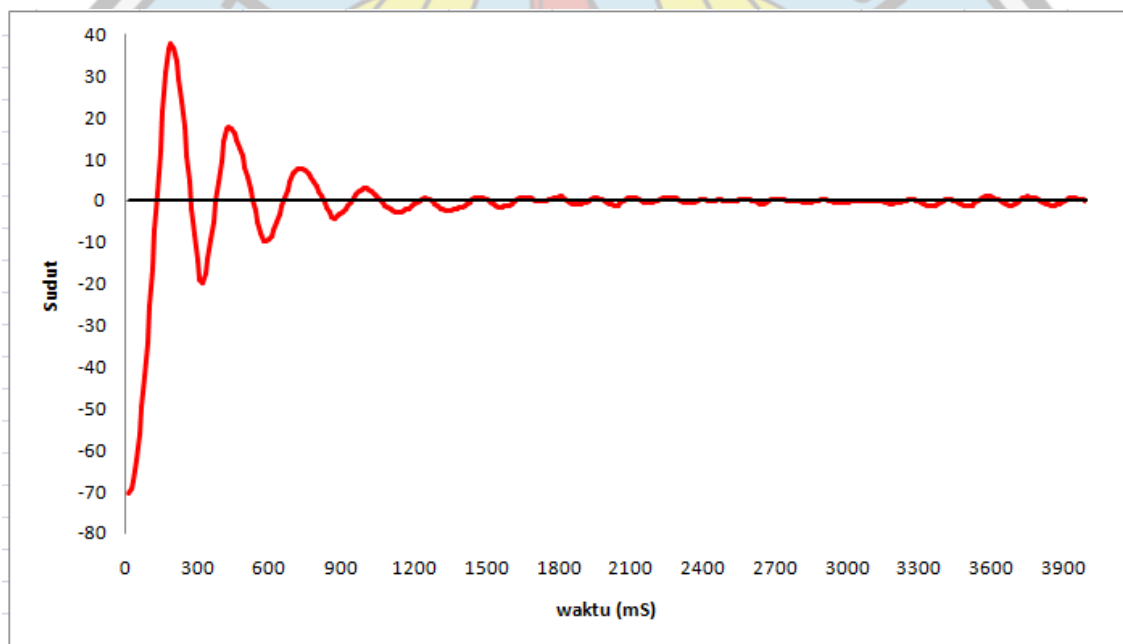
4.6.1 Pengujian Parameter PID Pada Saat Tanpa Beban

Pada tahap pengujian parameter tanpa beban ini dimaksudkan untuk mencari nilai seimbang yang akan dipakai pada saat robot bergerak tanpa beban. Pada pwm sebesar 60 sebagai offset pwm, nilai itu diberikan untuk batas bawah pwm agar pada saat robot sudah seimbang motor dapat mempertahankan posisinya. Pada pengujian pertama penulis mencoba memasukkan nilai P. Karena parameter P digunakan untuk menentukan kecepatan respon robot.

Grafik 4. 7 $K_p = 3$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ Grafik 4. 8 $K_p = 5$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$



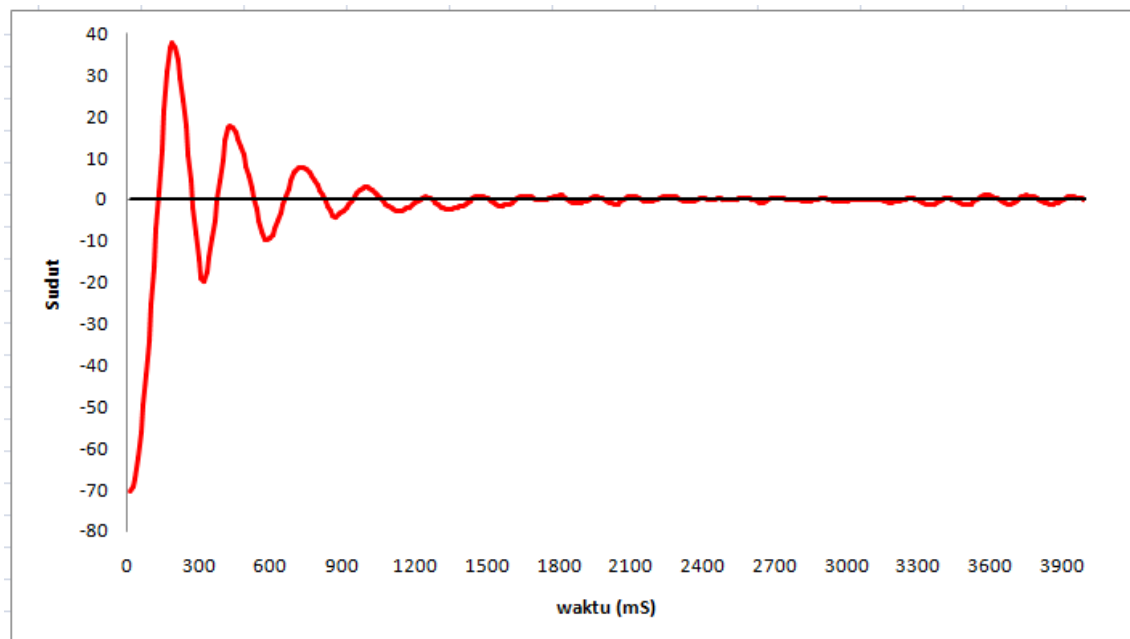
Grafik 4. 9 $K_p = 6$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$



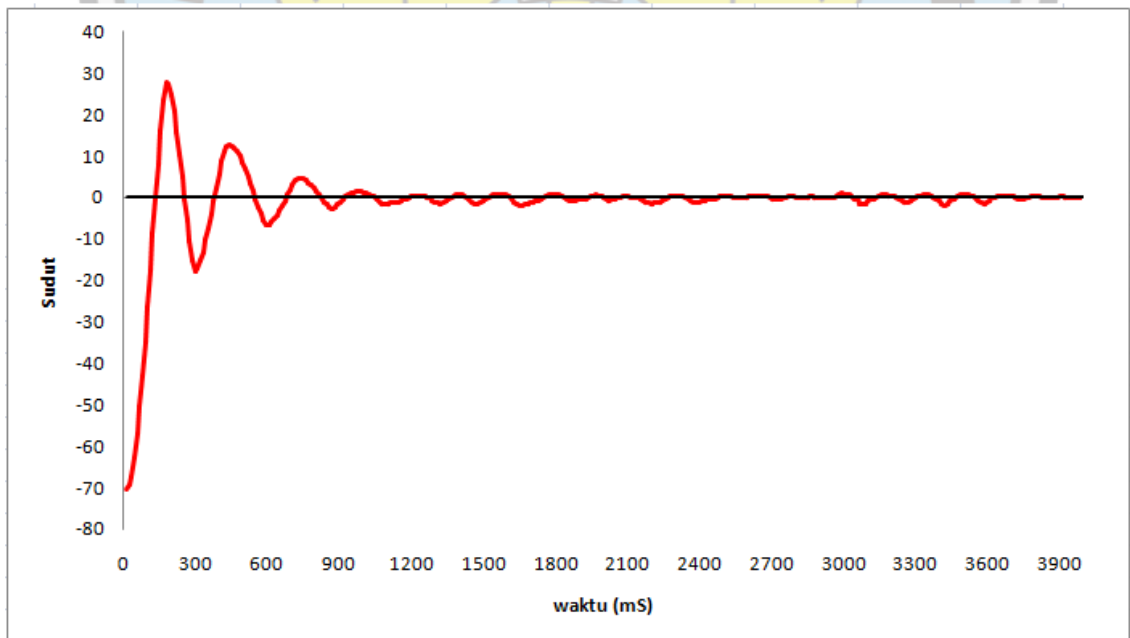
Grafik 4. 10 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$

Dari keempat pengujian yang dilakukan nilai $k_p = 3$ merupakan nilai yang terbaik untuk mendapatkan keseimbangan akan tetapi dengan nilai $k_p = 3$ robot ketika di sentuh mudah untuk jatuh. Nilai terkuat untuk respon robot keseimbangan adalah $k_p = 8$ meskipun responnya lama namun ketika sudah seimbang dan robot di sentuh, robot masih mampu untuk kembali menyeimbangkan. Maka dari itu penulis menggunakan

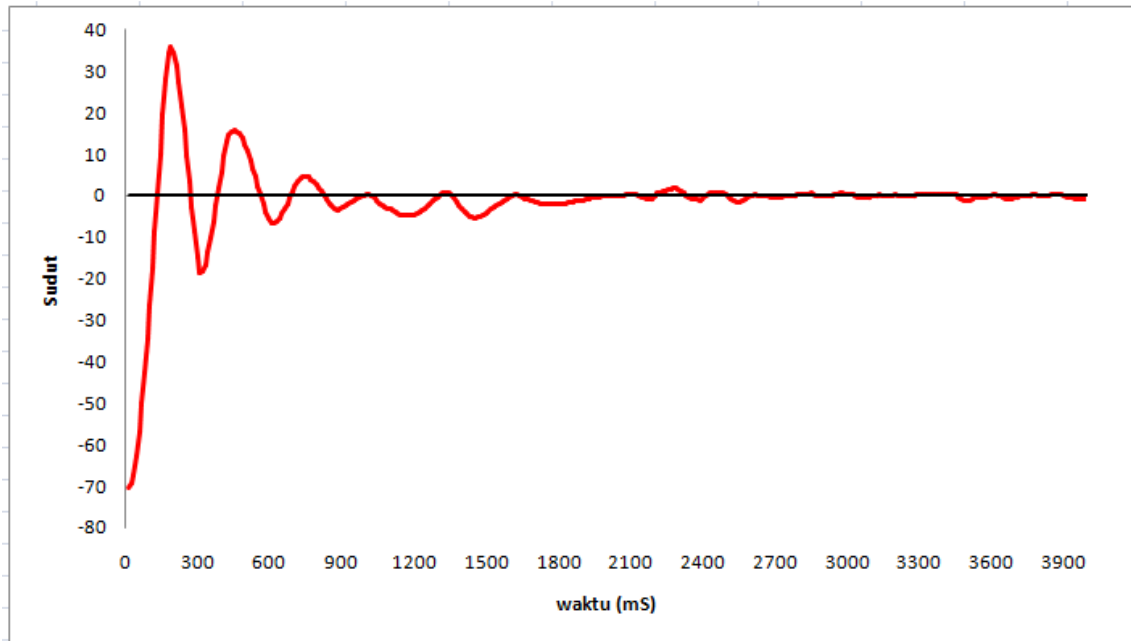
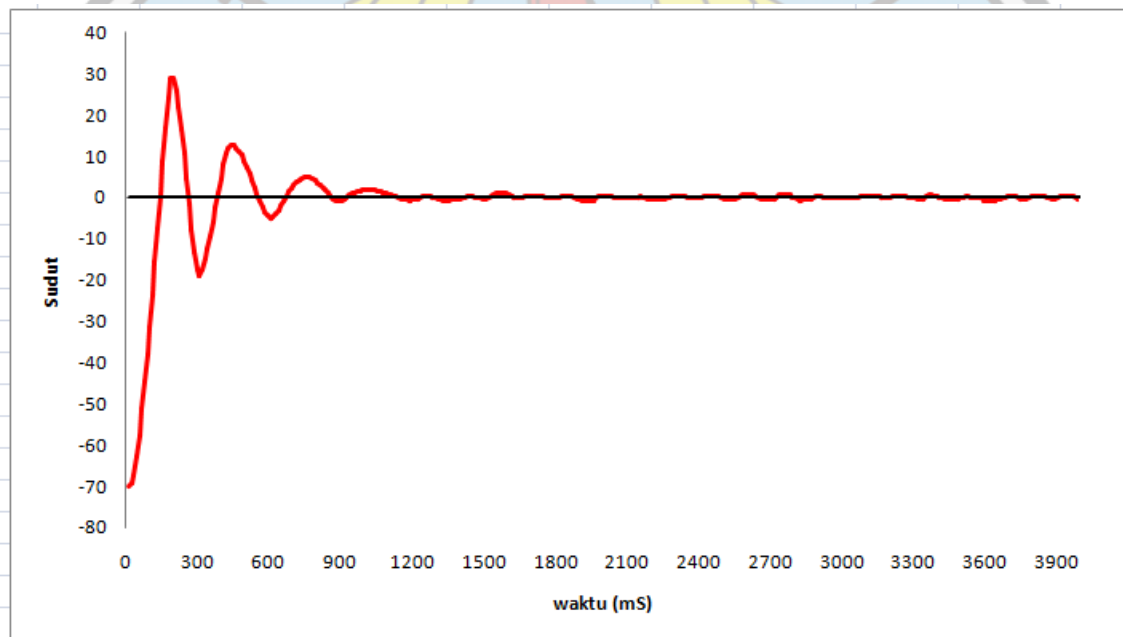
nilai $k_p = 8$, dan mencoba menambahkan nilai k_d agar respon robot untuk seimbang semakin cepat.

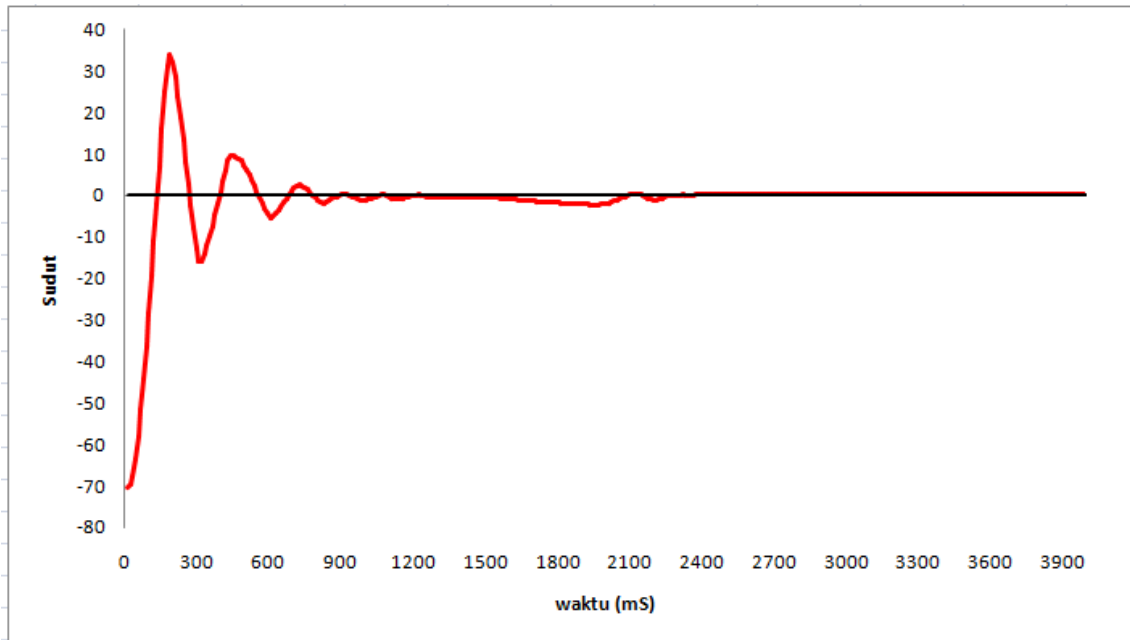
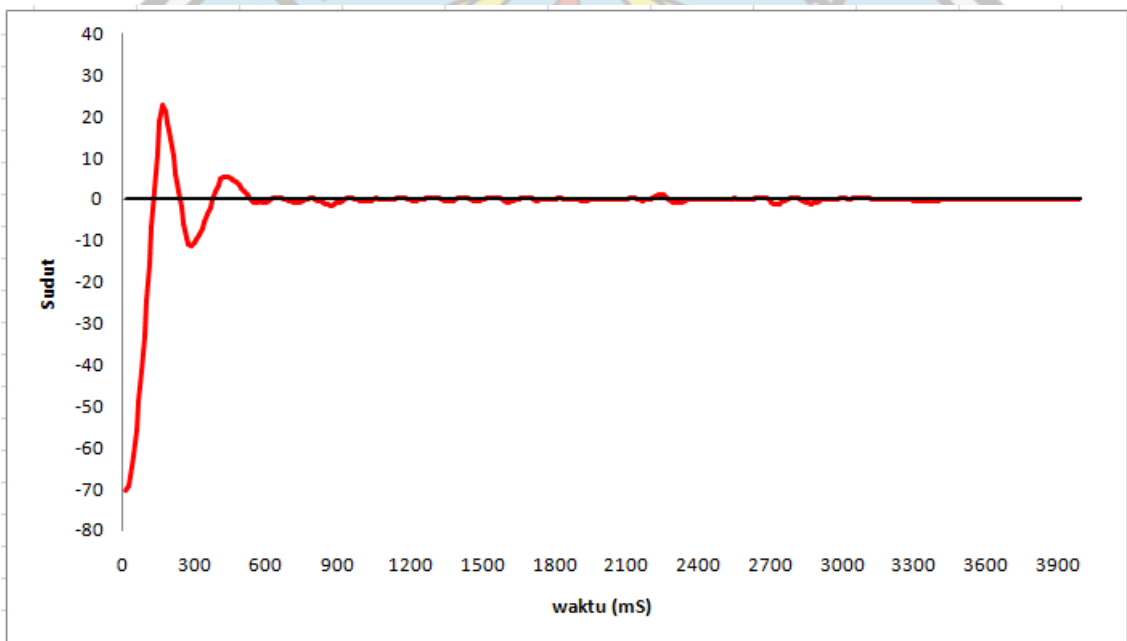


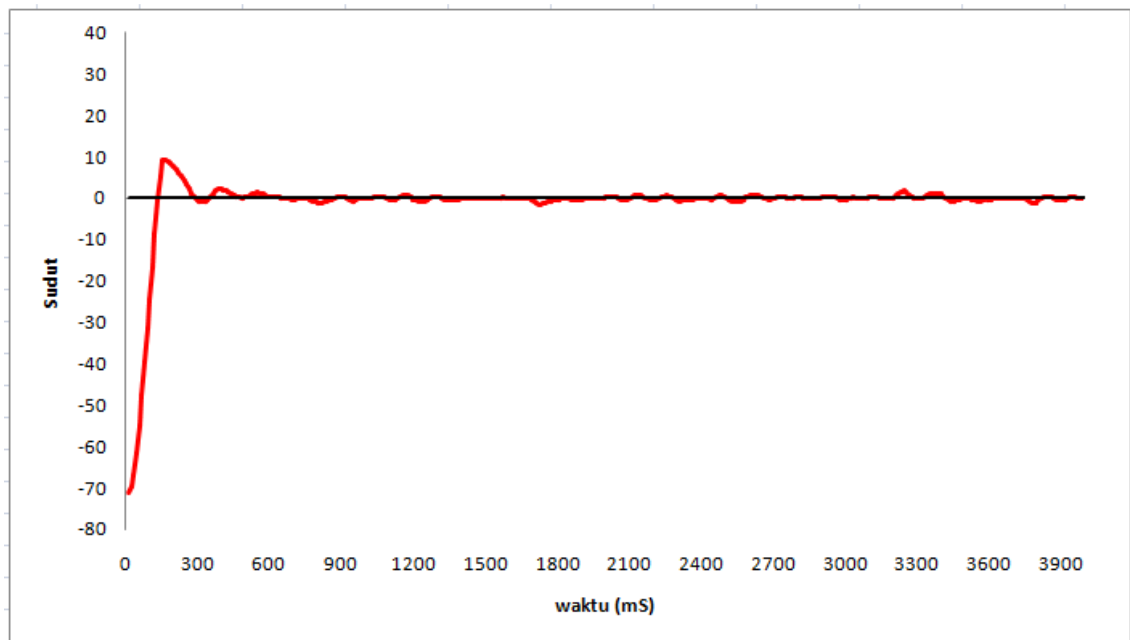
Grafik 4. 11 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 1$



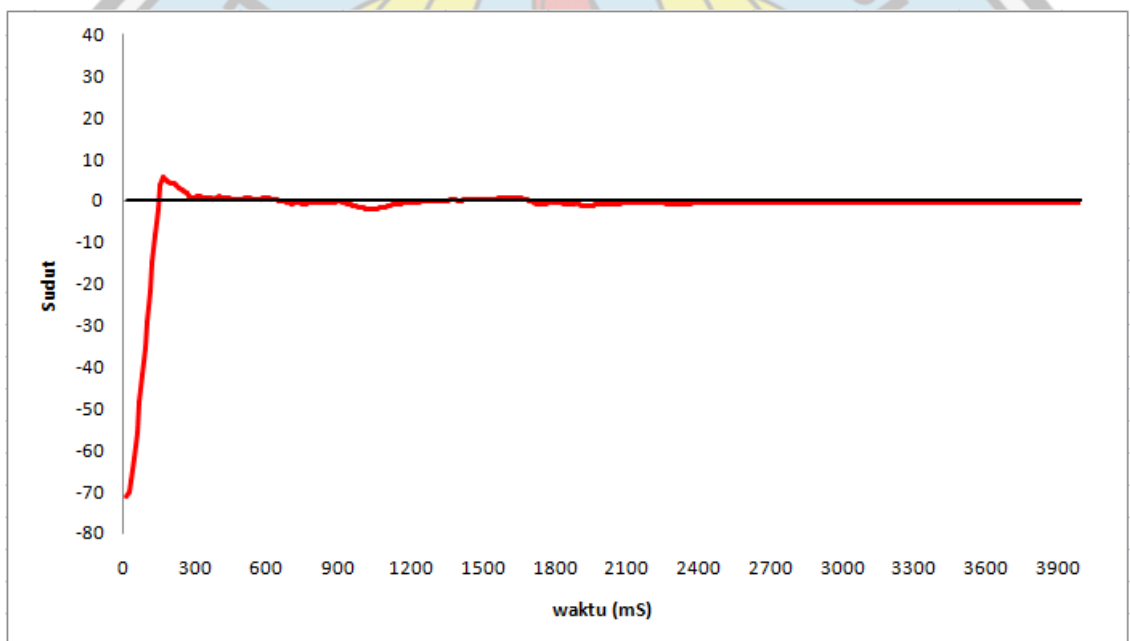
Grafik 4. 12 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 5$

Grafik 4. 13 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 10$ Grafik 4. 14 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 15$

Grafik 4. 15 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 40$ Grafik 4. 16 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 80$

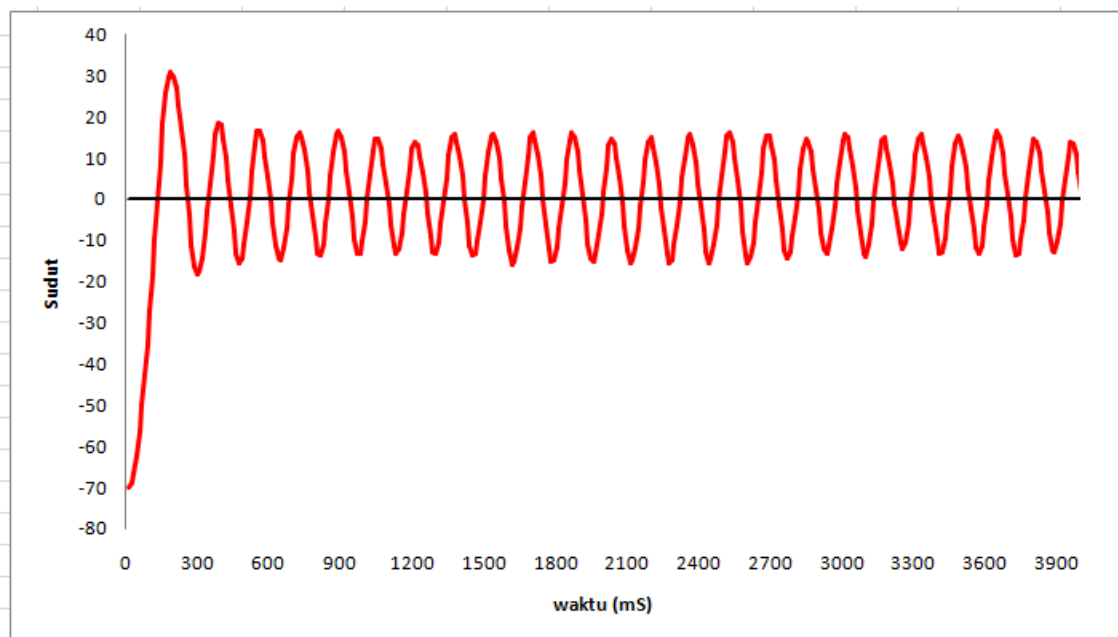


Grafik 4. 17 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 150$

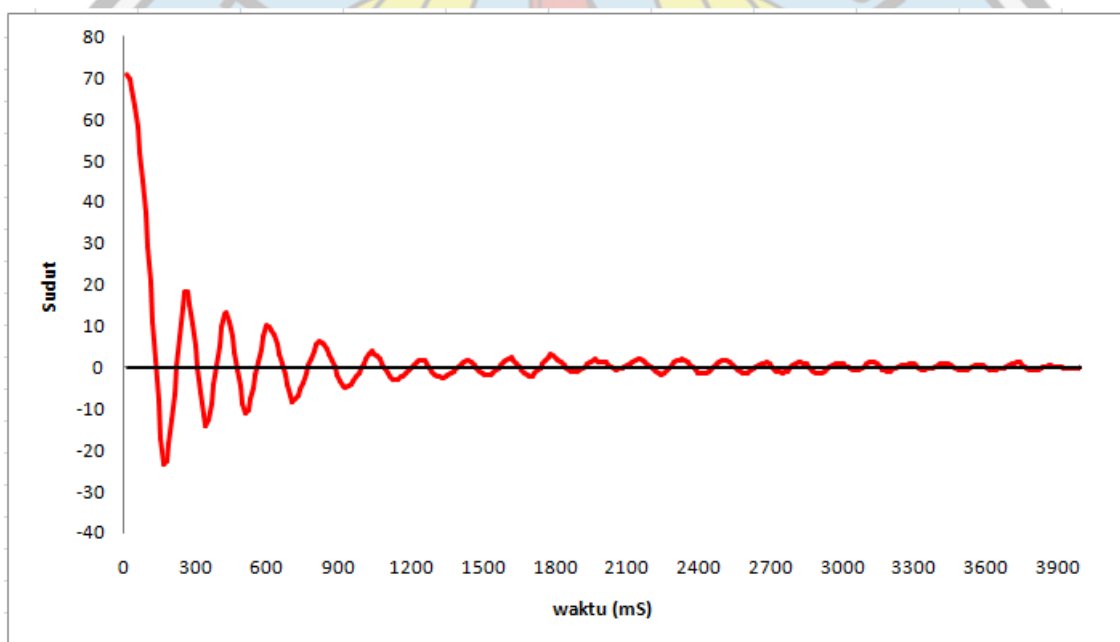


Grafik 4. 18 $K_p = 8$, $K_i = 0$, dan $K_d = 250$

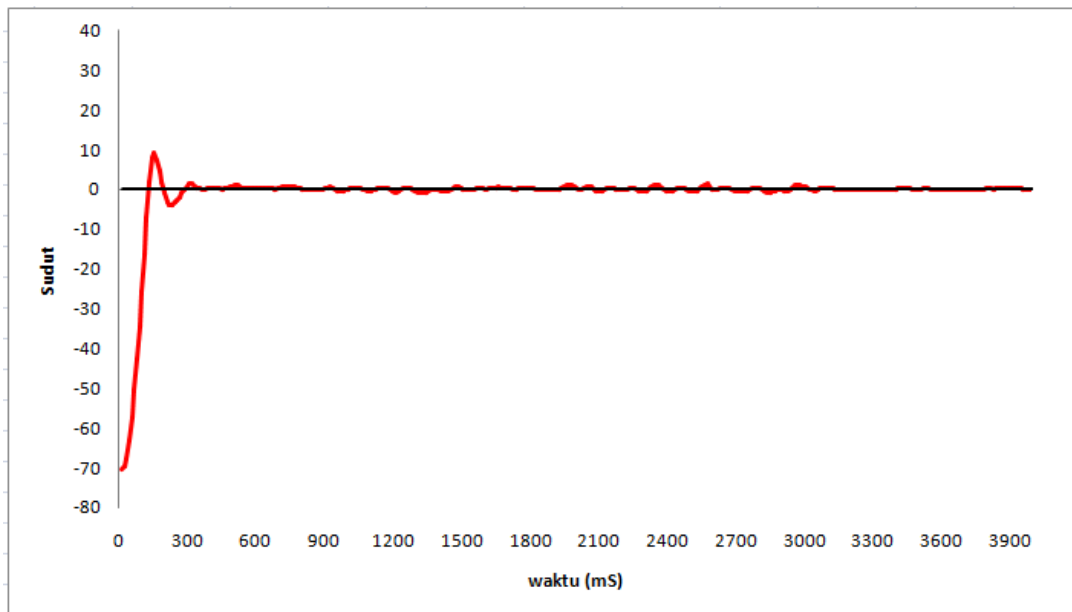
Dari beberapa kali pengujian, penulis telah menemukan nilai yang terbaik untuk robot keseimbangan beroda dua tanpa beban yaitu nilai $k_p = 8$ dan nilai $k_d = 250$, meskipun dengan hanya menggunakan pengontrol PD robot telah menunjukkan keseimbangannya penulis mencoba memberikan nilai pada pengontrol I untuk mengetahui perbedaan respon robot.



Grafik 4. 19 $K_p = 8$, $K_i = 1$ dan $K_d = 0$



Grafik 4. 20 $K_p = 8$, $K_i = 0.5$ dan $K_d = 0$

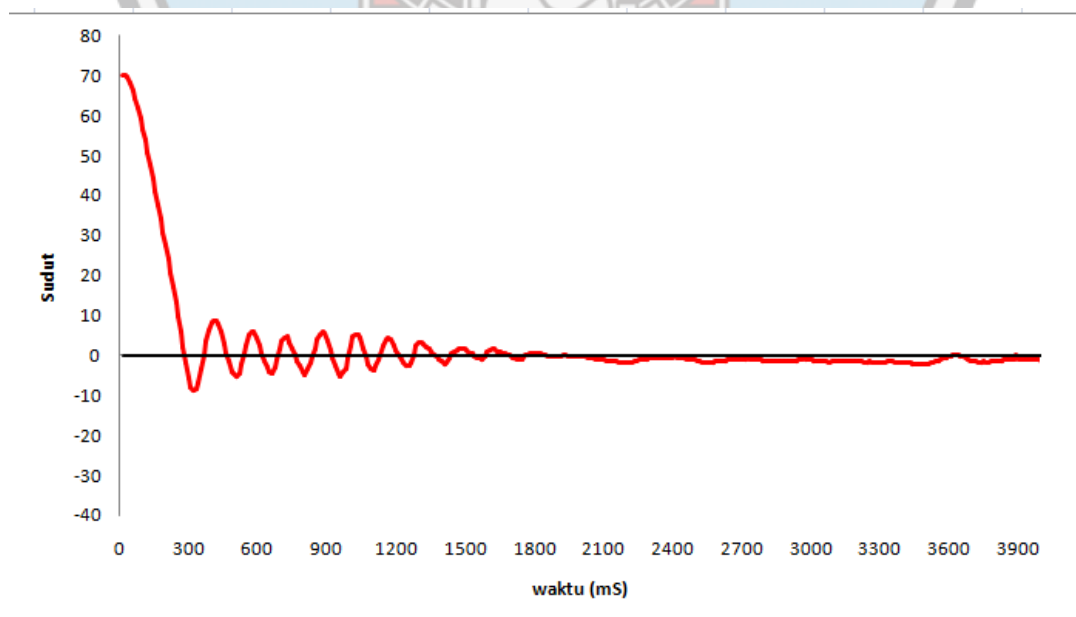


Grafik 4. 21 $K_p = 8$, $K_i = 0.5$ dan $K_d = 250$

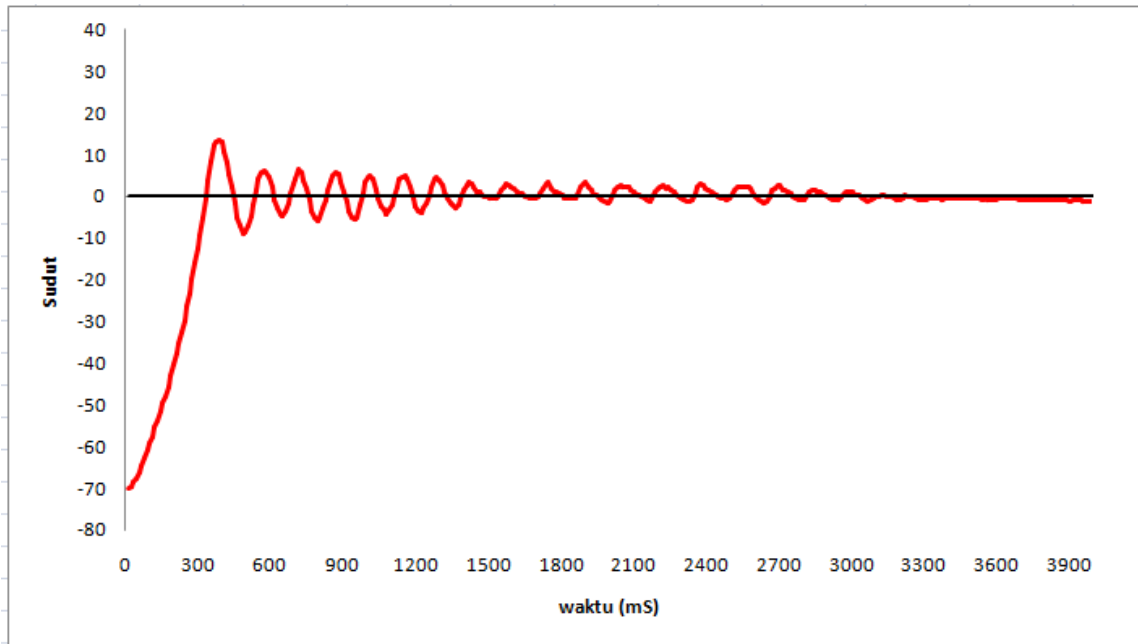
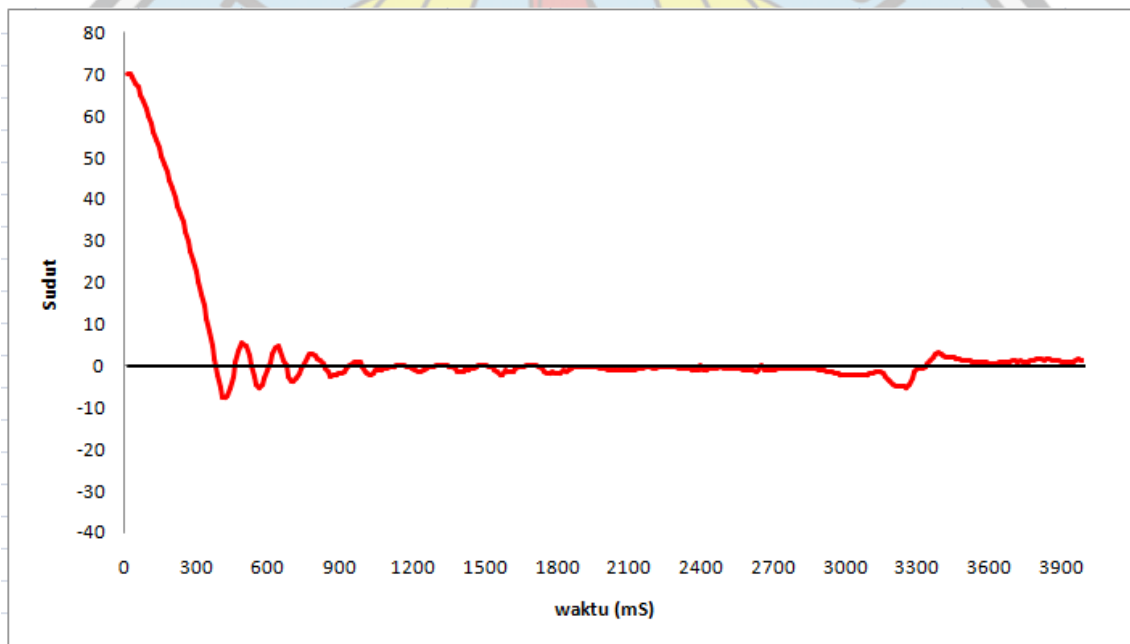
Dari hasil pengujian dengan menambahkan pengontrol integral dapat dilihat perbedaan antara $K_p = 8$, $K_i = 0$, $K_d = 250$ dan $K_p = 8$, $K_i = 0.5$, $K_d = 250$ dapat terlihat ketika robot tidak diberi pengontrol I respon menunjukkan adanya error steady state yang kecil akan tetapi pada saat adanya penambahan controller I error steady state dapat tereliminasi.

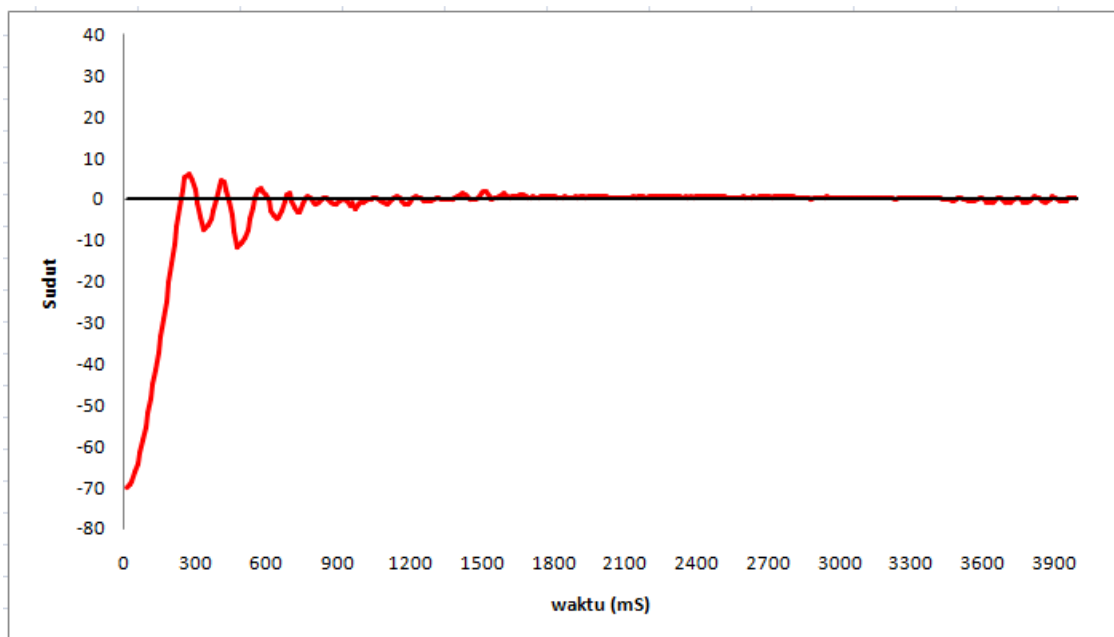
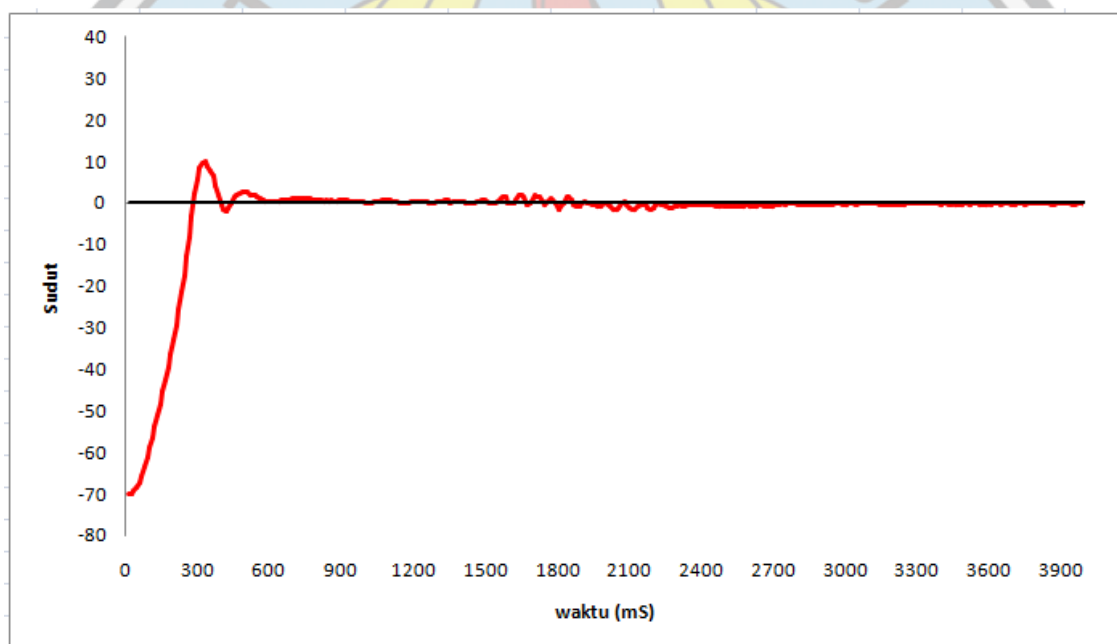
4.6.2 Pengujian Parameter PID Pada Saat dengan Beban

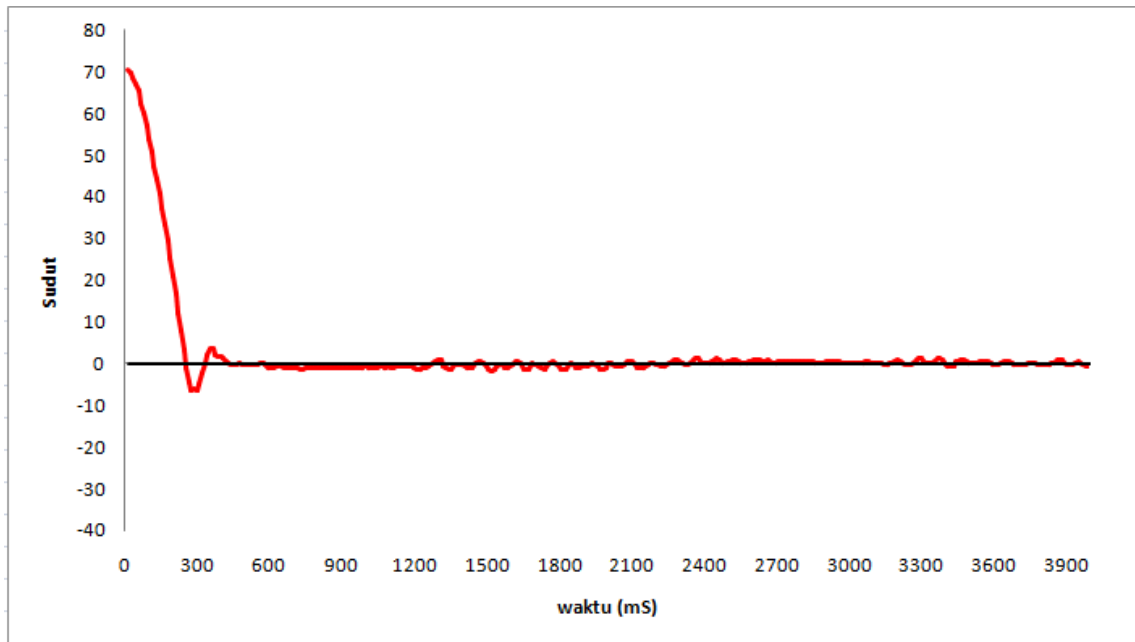
Pengujian parameter PID dengan beban dilakukan dengan memberikan beban sebesar 0.3 kg.



Grafik 4. 22 $K_p = 45$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$

Grafik 4. 23 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ Grafik 4. 24 $K_p = 45$, $K_i = 0$ dan $K_d = 50$

Grafik 4. 25 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 500$ Grafik 4. 26 $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 600$

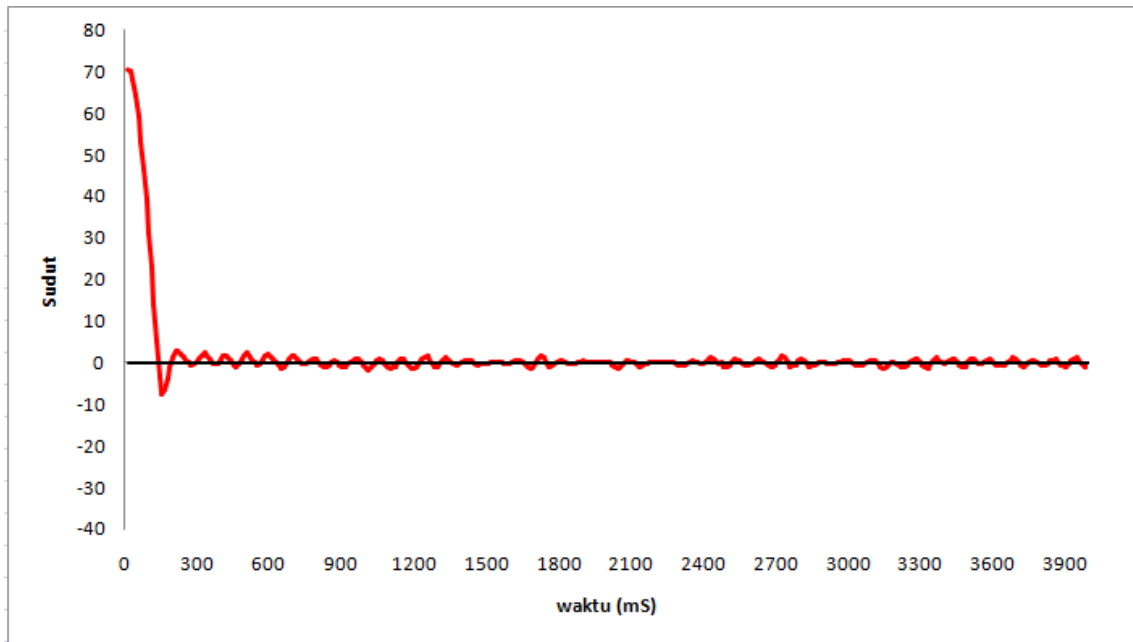


Grafik 4. 27 $K_p = 35$, $K_i = 0,5$ dan $K_d = 400$

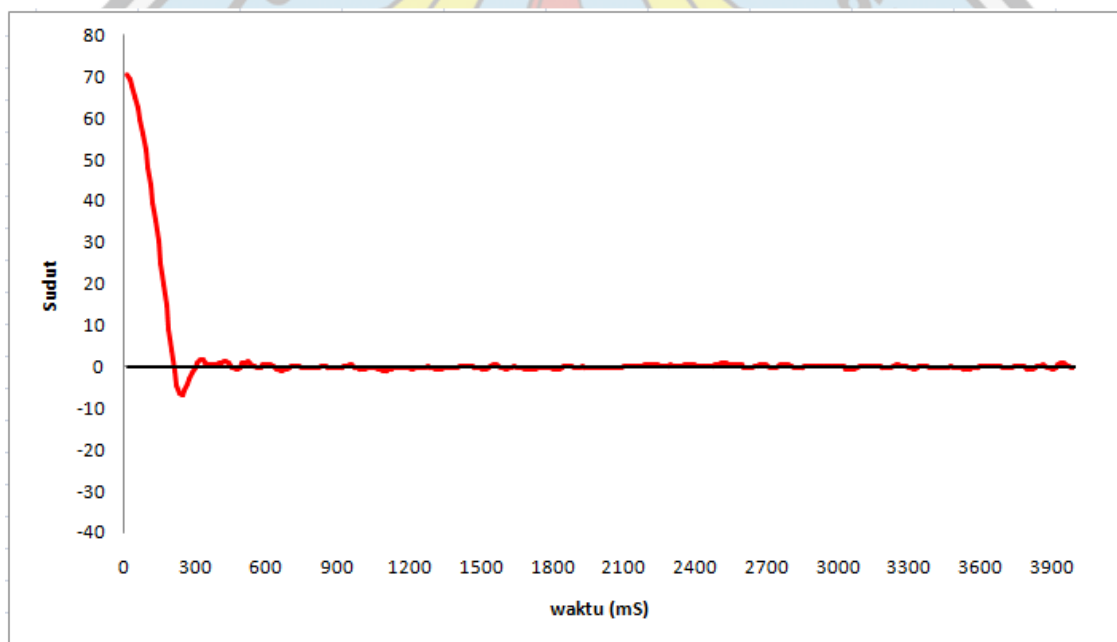
Dari hasil pengujian robot dengan beban didapat nilai parameter PID robot keseimbangan beroda dua dengan nilai $K_p = 37$, $K_i = 0.5$ dan $K_d = 400$. Akan tetapi keseimbangan robot sedikit terganggu dikarenakan beban yang ditanggung robot terlalu berat.

4.7 Pengujian dengan Beban Berbeda

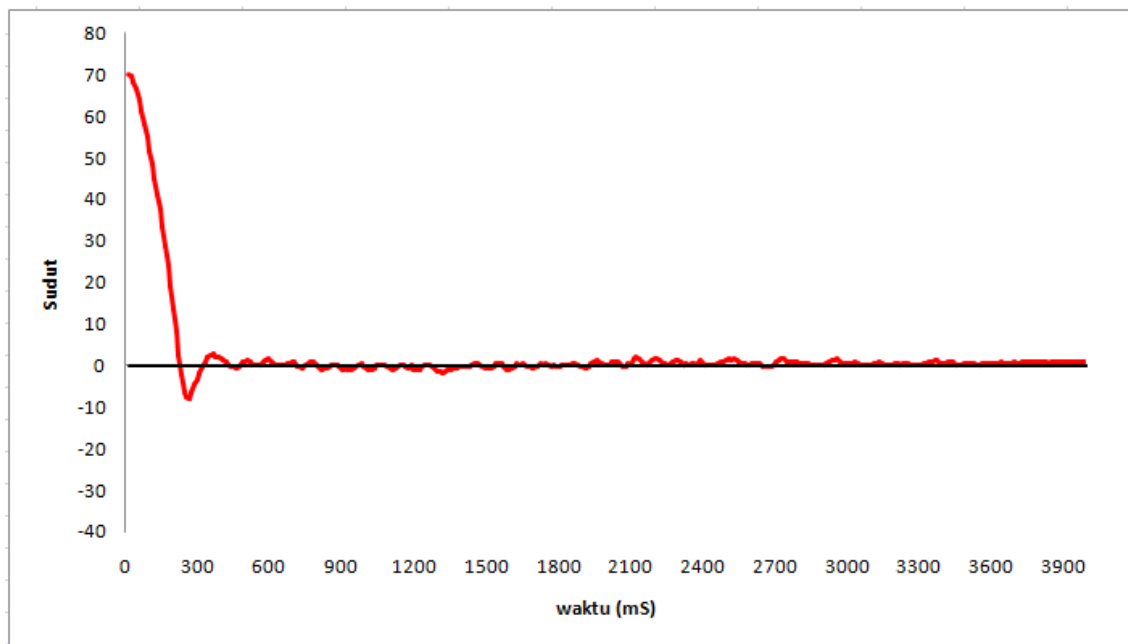
Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai konstanta dari PID, agar dapat mendapatkan respon yang baik untuk robot diberi beban yang berbeda. Nilai konstanta yang didapat adalah $K_p = 12$, $K_i = 1$ dan $K_d = 400$. Pengujian dilakukan dengan 4 tahap yaitu tanpa beban, dengan beban 0,1 kg, dengan beban 0,2 kg, dan dengan beban 0,3 kg.



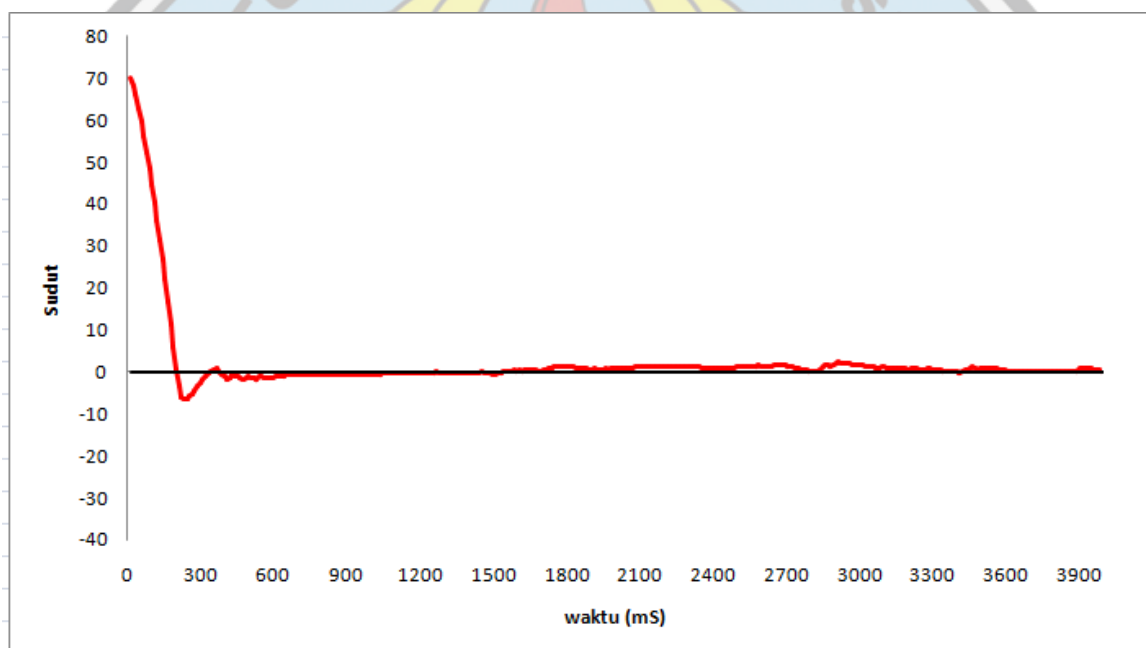
Grafik 4. 28 Tidak Ada Beban



Grafik 4. 29 Dengan Beban 0,1 Kg



Grafik 4. 30 Dengan Beban 0,2 Kg



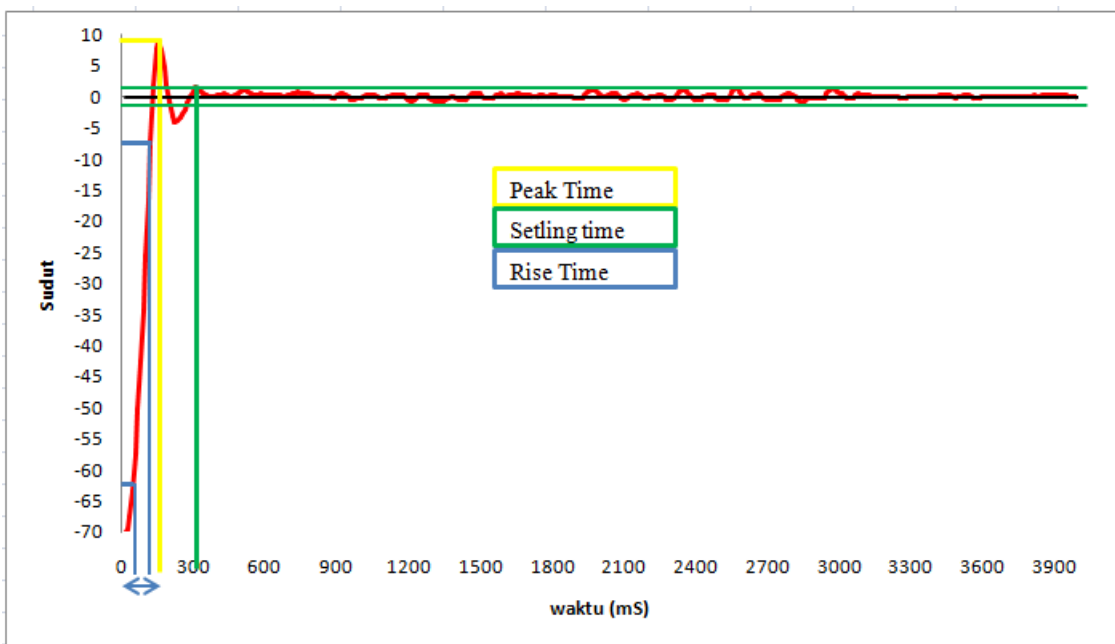
Grafik 4. 31 Dengan Beban 0,3 Kg

Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa dengan menggunakan $K_p = 12$, $K_i = 1$, dan $K_d = 400$ robot dapat seimbang dengan tanpa dan berbagai beban. Pengujian pada tahap ini berbeda dengan pengujian pengujian sebelum nya, karena pada pengujian sebelumnya penulis mencari respon robot yang stabil dengan beban maksimal dan tanpa beban, pada pengujian ini penulis mencari nilai yang pas untuk robot agar robot dapat berjalan seimbang dengan berbagai beban.

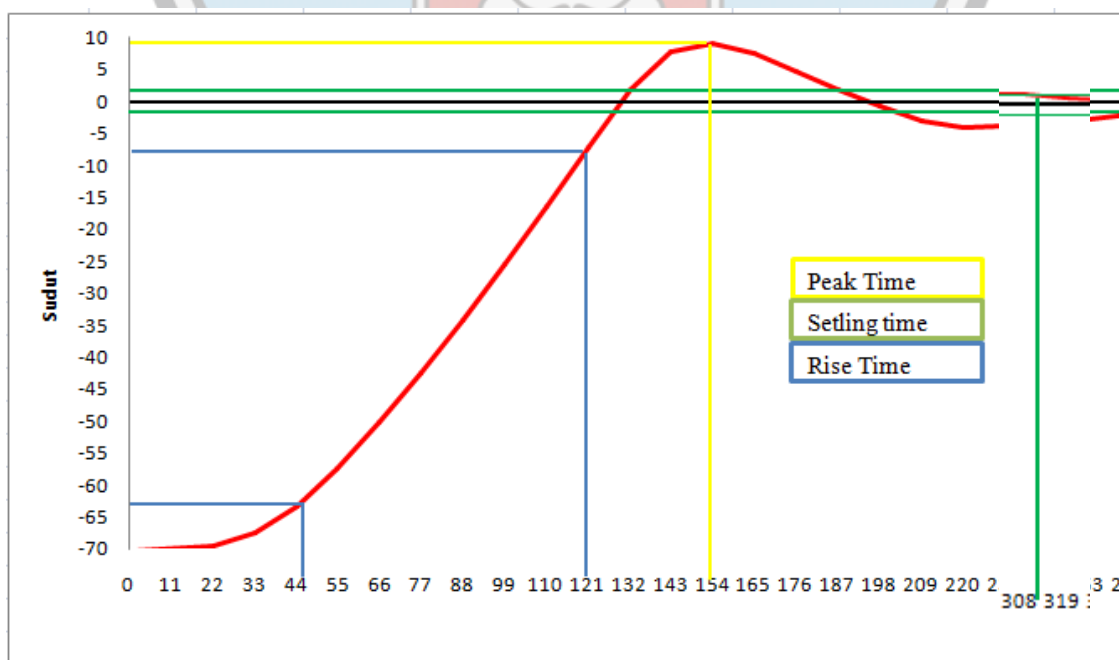
4.8 Analisa Respon Waktu Kendali PID

Pengujian Respon Waktu dilakukan pada Grafik PID dengan nilai parameter yang stabil dari hasil pengujian untuk mengetahui respon waktu dari sistem kendali robot Keseimbangan beroda yang dibuat, dimana Respon yang di cari terdiri dari empat parameter yaitu *Peak Time*, *Steady-State*, *Settling Time*, *Rise Time*.

4.8.1 Analisa Respon Waktu pada Grafik Tanpa Beban



Grafik 4. 32 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Tanpa Beban



Grafik 4. 33 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Tanpa Beban Diperbesar

A. Peak Time

Pada Grafik dapat dilihat waktu untuk menuju titik puncak adalah 154 mS

B. Settling Time

Pada Grafik dapat dilihat waktu untuk sistem teredam adalah 311 mS

C. Rise Time

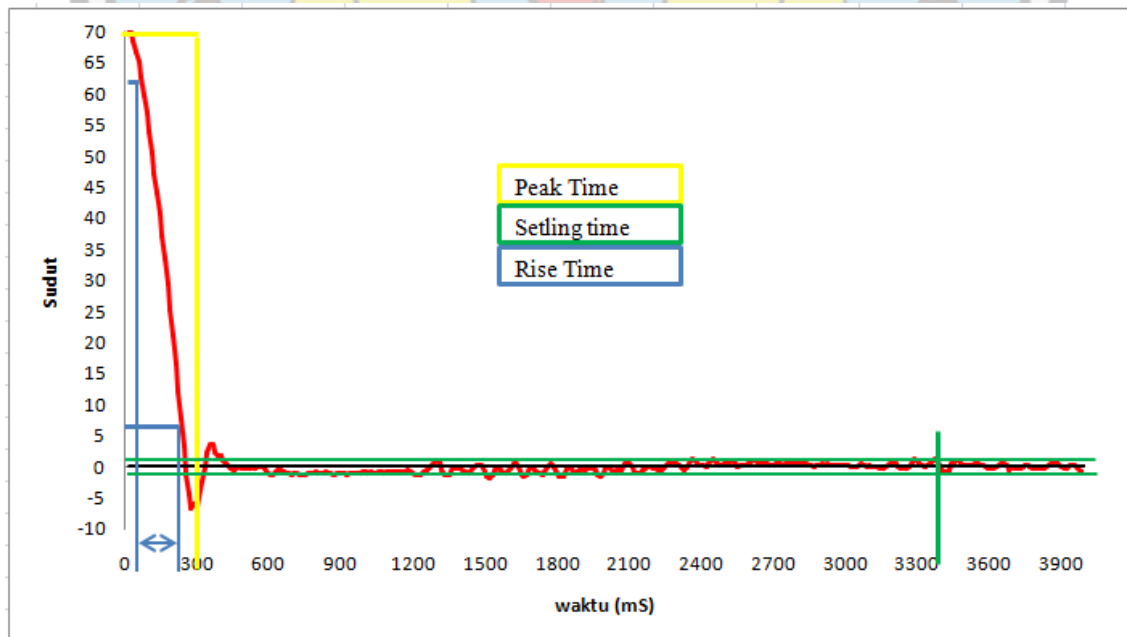
$$121 - 45 = 76$$

Jadi waktu untuk sistem berubah dari 10% - 90% menuju nilai setpoint adalah 76 mS

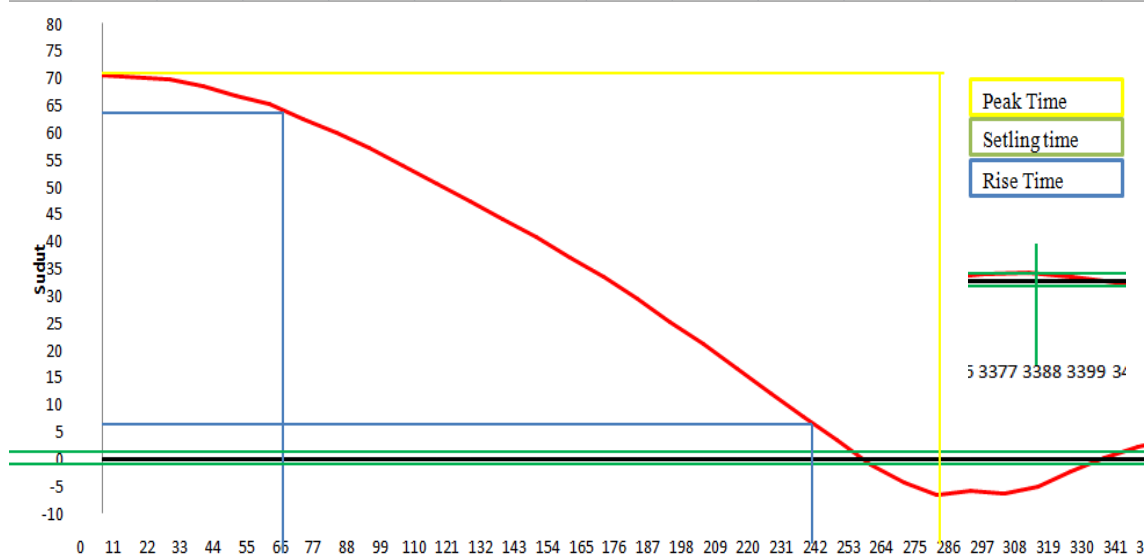
D. Steady State dan Error Steady State

Steady State dan Error Steady State dianggap 0 karena Sistem terus beresilasi dikarenakan sistem dari robot keseimbangan yang sifatnya terus beresilasi untuk mendapatkan steady state.

4.8.2 Analisa Respon Waktu pada Grafik dengan Beban



Grafik 4. 34 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Dengan Beban



Grafik 4. 35 Grafik Analisa Respon Waktu Sistem Dengan Beban Diperbesar

A. Peak Time

Pada Grafik dapat dilihat waktu untuk menuju titik puncak adalah 284 mS

B. Settling Time

Pada Grafik dapat dilihat waktu untuk sistem teredam adalah 3338 mS

C. Rise Time

$$242 - 66 = 176$$

Jadi waktu untuk sistem berubah dari 10% - 90% menuju nilai setpoint adalah 176 mS

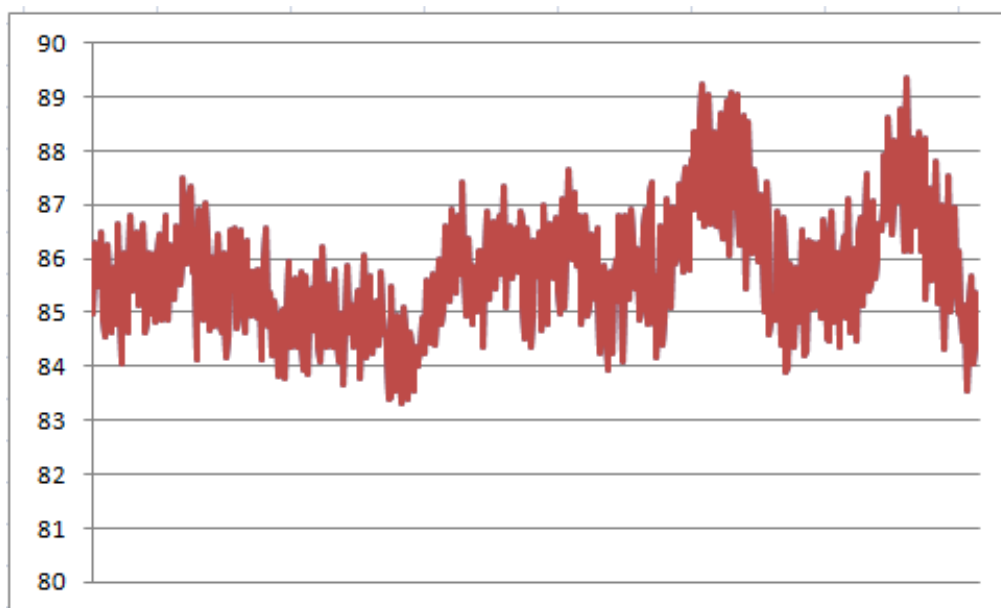
D. Steady State dan Error Steady State

Steady State dan Error Steady State dianggap 0 karena Sistem terus berhasil dikarenakan sistem dari robot keseimbangan yang sifatnya terus berhasil untuk mendapatkan steady state.

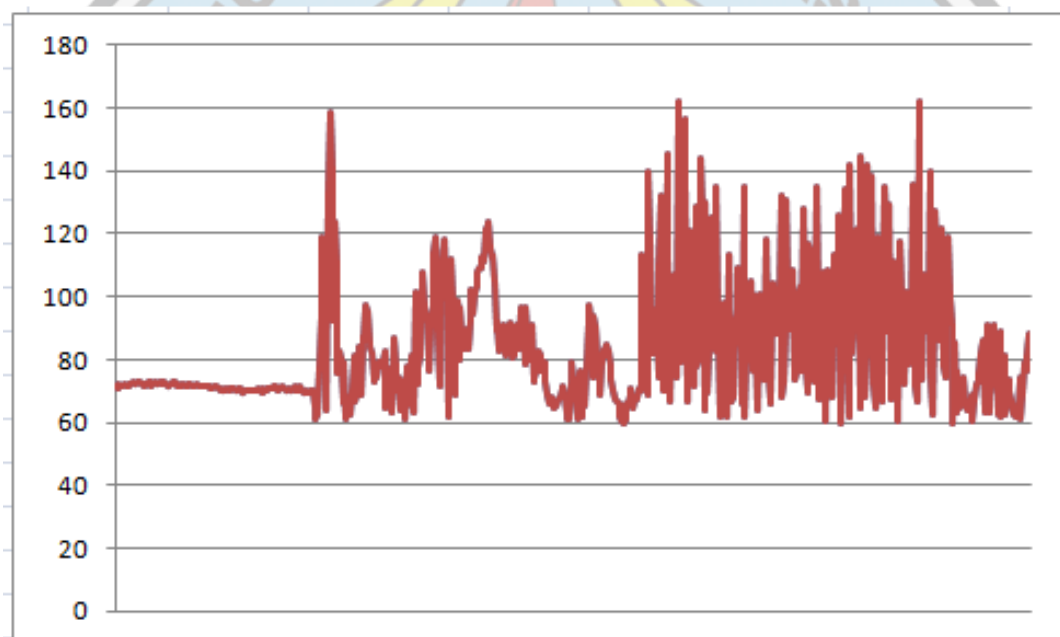
4.9 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC yang Telah di Kalkulasi dengan PID

Pengujian sinyal pwm dilakukan dengan adanya beban dan tidak adanya beban. Masing masing pengujian diberikan adanya gangguan dan tanpa adanya gangguan.

4.9.1 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan Beban

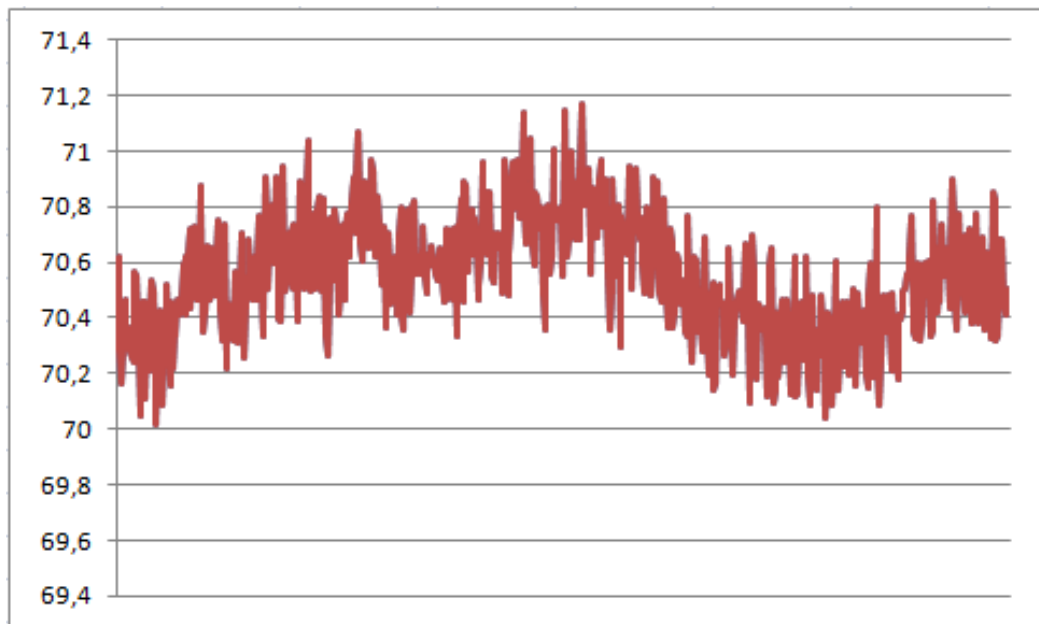


Grafik 4. 36 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Dengan Beban
Tidak Ada Gangguan



Grafik 4. 37 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Dengan Beban
Dengan Adanya Gangguan

4.9.2 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor DC dengan Beban



Grafik 4. 38 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Tanpa Beban Tidak Ada Gangguan



Grafik 4. 39 Pengujian Output Sistem Kendali Kecepatan Motor Dc Tanpa Beban Dengan Adanya Gangguan

4.10 Pengujian Seluruh Sistem

Dari pengujian ini penulis mendapatkan sistem PID yang dipadukan dengan pembacaan sudut. Dari semua pengujian diatas penulis telah menemukan pembacaan sudut yang baik setelah menggunakan complementary filter dan juga menemukan nilai

PID yang terbaik setelah serangkaian pengujian. maka dengan hasil pengujian robot keseimbangan dapat bekerja sesuai dengan cara kerjanya. Penulis juga telah melakukan pengujian pada robot pada medan yang miring.



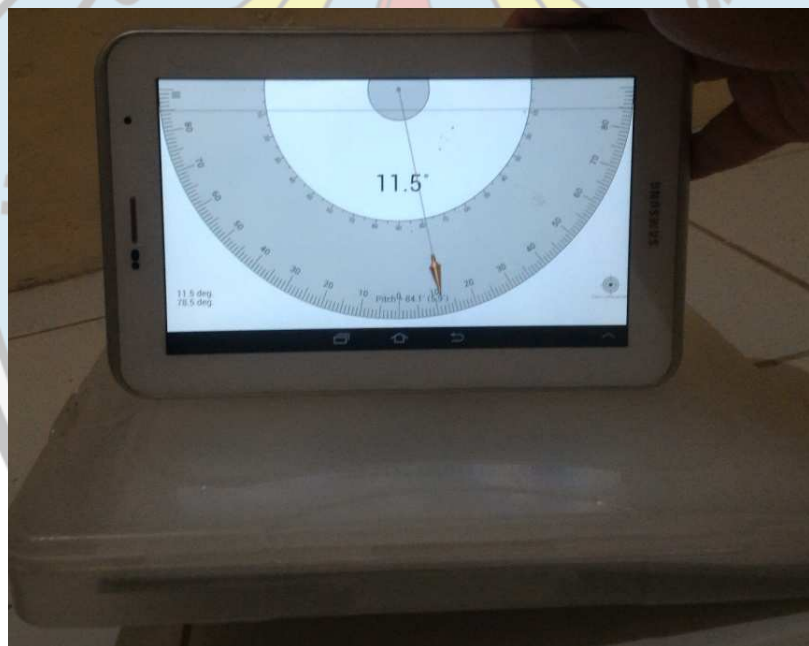
Gambar 4. 6 Robot Keseimbangan Beroda Dua 0 Derajat Tampak Samping



Gambar 4. 7 Robot Keseimbangan Beroda Dua 0 Derajat Tampak Depan



Gambar 4. 8 Robot Keseimbangan Beroda Dua Pada Medan Kemiringan 11 Derajat



Gambar 4. 9 Medan Kemiringan 11 Derajat

4.11 Permasalahan pada saat Pengujian

1. Pada saat penelitian dilaksanakan peneliti mengalami permasalahan dimana motor dc yang digunakan untuk penelitian telah mengalami kerusakan dua kali, kerusakan yang dialami berupa gearbox dari motor tersebut terkikis. Menurut peneliti gearbox tersebut bisa terkikis dikarenakan pada saat

pengujian menggunakan parameter P_i dimana parameter tersebut sama sekali tidak bisa digunakan dalam penelitian ini.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, pengujian, dan analisa sistem. Maka dapat disimpulkan beberapa hal yang dapat digunakan untuk perbaikan dan pengembangan selanjutnya, yaitu:

1. Pemilihan Motor DC yang lebih besar torsi dan RPMnya agar beban yang ditanggung robot dapat lebih besar
2. Penulis juga telah mencoba menjalankan robot keseimbangan, robot berhasil berjalan namun tidak bisa berjalan halus dengan mempertahankan keseimbangan
3. Roda yang digunakan dalam penelitian hampir sama dengan diameter penopang utama robot sehingga membutuhkan penggunaan torsi besar dalam menyeimbangkan badan robot
4. Dari hasil tuning PID secara *trial and error*, sistem dapat berjalan stabil dengan tanpa beban dengan $K_p = 8$, $K_i = 0$, $K_d = 250$ dan berbeban dengan $K_p = 50$, $K_i = 0$ dan $K_d = 600$
5. Dari hasil pengujian nilai $K_p = 12$, $K_i = 1$, dan $K_d = 400$ dengan beban berbeda dapat disimpulkan semakin kecil beban yang di tanggung maka kecepatan respon untuk seimbang semakin cepat akan tetapi sistem mengalami osilasi yang begitu besar, jika semakin berat beban yang ditanggung kecepatan respon melambat tetapi osilasi dari sistem berkurang.
6. Dari hasil pengujian keseluruhan sistem, dapat disimpulkan bahwa robot keseimbangan telah berjalan secara optimal meskipun ada sedikit error akan tetapi telah sesuai dengan diagram blok yang telah disusun oleh penulis.

5.2 Saran

Pembuatan skripsi ini tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan, maka dari itu agar sistem dapat menjadi lebih baik diperlukan sebuah pengembangan. Saran dari penulis antara lain sebagai berikut :

1. Penggunaan motor DC dengan daya dan torsi yang lebih besar dapat meningkatkan daya pembawaan beban.

2. Menggunakan sistem adaptive PID untuk melakukan tuning parameter PID secara otomatis
3. Penambahan algoritma pemrograman untuk menemukan cara agar robot keseimbangan dapat berjalan dengan halus dan bertahan pada posisi seimbang.
4. Robot dapat ditambahkan sensor untuk berjalan ke tempat yang diinginkan tanpa adanya kontrol dari pengguna.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bimarta, Rizka dkk. 2015. BALANCING ROBOT MENGGUNAKAN METODE KENDALI PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF. Jurnal penelitian, (Online), (<https://journal.ugm.ac.id/index.php/ijeis/article/view/7157>), diakses 4 Desember 2016
- [2] Anonim, 2016. *Datasheet Genuino Uno 101*. (Online). (<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoard101#techspecs>). diakses 10 November 2016
- [3] Anonim, 2000. *Datasheet L298*. (Online). (<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000240.pdf>). diakses 17 november 2016
- [4] Labib, Radimas Putra Muhammad Davi.2016. *PERANCANGAN ROBOT TROLIPENGIKUT MANUSIA OTOMATIS DENGAN METODE KENDALI PID (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE)*. Skripsi.Tidak dipublikasikan.Malang: ITN Malang.
- [5] Eric, Cosmas.2014. *Rancang Bangun Differential Drive Mobile Robot Untuk Penjejak Dinding Dan Penghindar Halangan Dengan Navigasi Sensor Ultrasonik Dan Modul Kamera Raspberry Pi Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy*. Skripsi.Tidak dipublikasikan.Malang: ITN Malang.
- [6] Waluyo, Fitriansyah, Syahrial. 2013. *Analisis Penalaan Kontrol PID pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban Menggunakan Metode Heuristik*. Jurnal Tugas Akhir, (Online), (<http://lib.itenas.ac.id/kti/wp-content/uploads/2014/03/2.-Analisis-Penalaan-Kontrol-PID.pdf>), diakses 7 November 2016
- [7] Talok, Anton dkk. SISTEM PENYEIMBANG HELIKOPTER EMPAT BALING-BALING MENGGUNAKAN MEKANISME PID. Jurnal Thesis, (Online), (<http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab5/2012-1-00491-SK%20Bab5001.pdf>), Diakses 10 Desember 2016
- [8] Azizul, Ermanu. 2012. *Sistem Kontrol*. Malang: UMM Press
- [9] Laboratorium Sistem kendali. 2015. *Dasar Sistem Kendali*. Laporan Praktikum. Tidak dipublikasikan.Malang: ITN Malang.

- [10] Diytech2012. 2013. *Mengenal Bluetooth Modul HC-05 (1)*, (Online), (<https://diytechdotnet.wordpress.com/2013/10/09/mengenal-bluetooth-modul-hc-05-1/>), diakses 12 desember 2016.
- [11] Maele, Pieter-Jan Vande. *Reading a IMU Without Kalman: The Complementary Filter*. (Online). (<http://www.pieter-jan.com/node/11>). diakses 10 November 2016

