

LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Arduino Untuk Balancing

```
#include "I2Cdev.h"
#include <PID_v1.h>
#include "MPU6050_6Axis_MotionApps20.h"
MPU6050 mpu;
bool dmpReady = false;
uint8_t mpuIntStatus;
uint8_t devStatus;
uint16_t packetSize;
uint16_t fifoCount;
uint8_t fifoBuffer[64];

Quaternion q;
VectorFloat gravity;
float ypr[3];

/*****tentukan setpoint dan Kp Ki Kd*****/
double setpoint = 180; //idealnya robot berdiri tegak adalah 180 derajat
(tergantung pemasangan sensor) >>>> tapi di "output" kondisi ini adalah disebut
0 derajat
double Kp = 30;
double Kd = 1;
double Ki = 200;
/*****/
double input, output;
PID pid(&input, &output, &setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

Lampiran 1 Program Arduino Untuk Balancing (Sambungan)

```
volatile bool mpuInterrupt = false;

void dmpDataReady()
{
    mpuInterrupt = true;
}

/*****

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    devStatus = mpu.dmpInitialize();
    mpu.setXGyroOffset(220);
    mpu.setZGyroOffset(-85);
    mpu.setZAccelOffset(1688);

    if (devStatus == 0)
    {
        mpu.setDMPEnabled(true);
        attachInterrupt(0, dmpDataReady, RISING);
        mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();
        dmpReady = true;
        packetSize = mpu.dmpGetFIFOPacketSize();

        pid.SetMode(AUTOMATIC);
        pid.SetSampleTime(10);
        pid.SetOutputLimits(-200, 200);
    }
    else
    {
        Serial.print(F("DMP error (code "));
```

Lampiran 1 Program Arduino Untuk Balancing (Sambungan)

```
    }  
//pin Motor  
    pinMode (6, OUTPUT);  
    pinMode (5, OUTPUT);  
//kondisi default  
    analogWrite(6,LOW);  
    analogWrite(5,LOW);  
}  
void loop() {  
    if (!dmpReady) return;  
    while (!mpuInterrupt && fifoCount < packetSize)  
    {  
        pid.Compute();  
        Serial.print(input); Serial.print(" => Motor :"); Serial.println(output);  
        if (input>150 && input<200){  
            if (output>0)  
                Forward();  
            else if (output<0)  
                Reverse();  
        }  
        else  
            Stop();  
    }  
    mpuInterrupt = false;  
    mpuIntStatus = mpu.getIntStatus();  
    fifoCount = mpu.getFIFOCount();
```

Lampiran 1 Program Arduino Untuk Balancing (Sambungan)

```
if ((mpuIntStatus & 0x10) || fifoCount == 1024)
{
    mpu.resetFIFO();
    Serial.println(F("FIFO overflow!"));
}
else if (mpuIntStatus & 0x02)
{
    while (fifoCount < packetSize) fifoCount = mpu.getFIFOCount();
    mpu.getFIFOBytes(fifoBuffer, packetSize);
    fifoCount -= packetSize;

    mpu.dmpGetQuaternion(&q, fifoBuffer);
    mpu.dmpGetGravity(&gravity, &q);
    mpu.dmpGetYawPitchRoll(ypr, &q, &gravity);
    input = ypr[1] * 180/M_PI + 180;
}
}
void Forward() //maju
{
    analogWrite(6,output);
    analogWrite(5,0);
    Serial.print(" Sudut Ke Depan : ");
}
void Reverse() //mundur
{
    analogWrite(6,0);
    analogWrite(5,output*-1);
    Serial.print(" Sudut Ke Belakang : ");
```

Lampiran 1 Program Arduino Untuk Balancing (Sambungan)

```
}  
void Stop() //berhenti  
{  
    analogWrite(6,0);  
    analogWrite(5,0);  
    Serial.print(" Sudut Melebihi Batas Aman : ");  
}
```


Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir

Kepada : PT. Sumber P... 2020

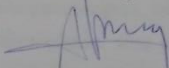
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA**

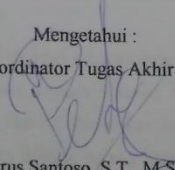
USULAN TUGAS AKHIR

Nama : Hans Junian
NRP : 23416009
Bidang Studi : Elektronika
Judul Tugas Akhir : Sistem Kontrol Keseimbangan Robot Beroda Satu.
Pembimbing I : Thiang, S.T., M.Eng.
Pembimbing II : xxxxxxxxxxxx
Dilaksanakan : Semester Genap/Tahun 2019/2020

Surabaya, 7 Januari 2020
Yang mengusulkan,

Hans Junian

Menyetujui :

Pembimbing I  Thiang, S.T., M.Eng.	Pembimbing II (Usulan) <u>xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx</u>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------

Mengetahui :
Koordinator Tugas Akhir

Petrus Santoso, S.T., M.Sc.

Catatan:

.....

.....

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi pada dunia robotika telah membuat standar kualitas kehidupan manusia semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh perkembangan dunia robotika yang sangat pesat dari tahun ke tahun. Pada zaman modern ini, perkembangan teknologi pada dunia robotika juga dinilai mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas berbagai industri. Teknologi robotika ini mampu menjangkau sisi hiburan maupun pendidikan bagi manusia. Perkembangan teknologi robotika ini membuat penelitian mengenai robot sangatlah banyak dan berkembang pesat. Cara – cara yang dapat dilakukan guna meningkatkan tingkat kecerdasan sebuah robot adalah dengan menambahkan sensor, metode kontrol, maupun memberikan sebuah kecerdasan buatan pada robot tersebut. Salah satu robot yang dimaksud adalah *self balancing robot*.

Self balancing robot pertama kali diperkenalkan oleh peneliti bernama Dean Kamen pada tahun 2001. Dean Kamen menamai sistem ini dengan nama *segway*. *Segway* ini kemudian dikenal oleh banyak orang sebagai *the first self balancing, electric powered transportation device*. *Self balancing robot* ini merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik yang diletakkan di atas kereta beroda. Menyeimbangkan robot memerlukan sebuah perangkaian *hardware* yang sudah direncanakan, serta metode kontrol yang handal guna mempertahankan posisi robot tetap dalam keadaan tegak lurus terhadap permukaan bumi (Bimarta et al., 2015). *Self balancing robot* ini biasanya diterapkan dalam *unicycle* dan *segway*.

Segway beroda dua ini muncul sebagai sarana transportasi darat. Di Indonesia, *segway* beroda dua belum terlalu populer. Namun, di luar negeri sudah cukup populer dan banyak sekali digunakan. Hal ini disebabkan karena harga *segway* beroda dua ini lebih murah jika dibandingkan dengan sarana transportasi darat lainnya. Selain itu, *segway* roda dua dinilai praktis dan canggih sehingga

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

mudah sekali digunakan oleh semua manusia. *Segway* beroda dua ini biasanya digunakan untuk melakukan perjalanan jarak pendek. *Segway* roda dua ini tidak jauh berbeda dari sepeda. Yang berbeda hanyalah penggunaan *segway* lebih mudah dan praktis karena menggunakan tenaga listrik.

Namun, perkembangan zaman juga menuntut adanya jenis robot dengan biaya produksi yang minimal, namun memiliki kemampuan yang optimal. Faktor harga komponen merupakan salah satu alasan mahalnya biaya produksi. Mahalnya biaya produksi dapat ditekan dengan mengurangi penggunaan komponen pada penyusunan *hardware*. Salah satu jenis robot dengan komponen aktuator yang minimal adalah *self balancing robot* dengan satu roda. Robot ini tidak dapat menjaga keseimbangannya tanpa adanya sensor keseimbangan dan *controller*. Robot ini hanya memiliki satu roda dan harus dapat menjaga dirinya tetap dalam keadaan tegak terhadap permukaan bumi.

Seiring perkembangan zaman, *segway* beroda satu akhirnya muncul. *Segway* beroda satu dinilai lebih cepat, dan lebih praktis jika dibandingkan dengan *segway* beroda dua (Kaushik, 2016). Selain itu, *segway* roda satu dinilai lebih murah jika dibandingkan dengan transportasi darat lainnya. *Segway* roda satu juga dinilai lebih canggih dan modern jika dibandingkan dengan *segway* roda dua ataupun sepeda.

Dari segi penelitian, dapat diketahui bahwa jumlah roda pada *mobile* robot semakin berkurang seiring penelitian yang terus berkembang. Salah satu contohnya adalah *one wheeled electric vehicle* yang mengintegrasikan prinsip sistem *self balancing robot* yang didesain sebagai alat transportasi manusia. Prinsip mekanik dari *self balancing* ini berdasarkan prinsip dari pendulum terbalik (Wanli et al., 2014). Sebelumnya, muncul juga *two wheeled self balancing robot* yang dirakit oleh Yamamoto pada tahun 2009 (Yamamoto, 2009), *ballbot* oleh Fong pada tahun 2002 (Justin Fong, 2002), *Micycle* yang diteliti oleh Kadis dan Caldecott pada tahun 2010 (Kadis et al., 2010), *one wheeled vehicle* yang diteliti oleh Shao Zhiyu, dan Liu Daliang pada tahun 2010 (Shao & Liu, 2010). Banyak penelitian yang didasarkan pada *kalman filter* untuk menelusuri respon dari sinyal output sensor

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

dari gabungan *accelerometer* dan *gyroscope*. Penelitian milik Yamamoto masih menggunakan dua roda dan dikontrol dengan metode LQR. Sedangkan milik Fong, roda yang digunakan adalah bola berbentuk bulat dan dikontrol dengan metode LQR. Untuk *Micycle* milik Kadis dan Caldecott, algoritma yang digunakan untuk mengontrol keseimbangan robot adalah kontrol PD. Sementara milik Shao Zhiyu menggunakan metode kontrol PI yang dikombinasikan dengan metode LQR. Pada *paper* ini akan dibuat *prototype* robot beroda satu yang dikontrol dengan menggunakan metode PID berbasis Arduino yang dilengkapi dengan mode DMP.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi metode kontrol PID pada proses keseimbangan robot?
2. Bagaimana implementasi dari sensor MPU 6050 pada proses menjaga keseimbangan robot?
3. Apa perbedaan yang dihasilkan apabila robot diberi filter?
4. Berapakah sudut awal atau *initial position* maksimal yang dapat ditempuh oleh robot?

1.3 Ruang Lingkup Tugas Akhir

Tugas akhir ini memiliki ruang lingkup sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler yang digunakan adalah *Arduino Uno*.
- b. *Software* program yang akan digunakan adalah *Arduino IDE*
- c. Metode kontrol yang akan digunakan adalah metode PID.
- d. Jenis motor yang akan digunakan adalah motor DC
- e. Menggunakan sensor IMU MPU 6050 (*Triple Axis Accelerometer* dengan *Gyroscope*)
- f. *Driver* motor yang akan digunakan adalah *driver* motor L 298N.
- g. Baterai yang digunakan adalah baterai Lipo 3S 11,1 V
- h. Arah gerak dari robot ini hanya maju dan mundur.
- i. Filter yang akan digunakan adalah filter DMP.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

- j. Protipe ini tidak didesain untuk dinaiki oleh pengendara.
- k. Dimensi prototipe ini kurang lebih 14 x 10 x 13 cm
- l. Medan uji dari *prototype* ini adalah bidang datar saja.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mempertahankan posisi robot pada kondisi seimbang dan tegak lurus terhadap permukaan bumi dengan menggunakan metode kontrol PID serta mode DMP pada sensor IMU MPU 6050.

1.5 Uraian Singkat Tugas Akhir

Secara desain, terdapat dua aspek penting, yaitu bagian *hardware* dan bagian *software*. Bagian *hardware* terdiri dari hal – hal mekanik dan elektronik. Sementara bagian *software* terdiri dari *interface* dan bagian kontrol. Beberapa bagian penting dari prototipe ini adalah motor DC, roda, IMU MPU 6050, filter DMP dan Arduino. Sistem utama dari robot roda satu ini adalah motor DC sebagai satu – satunya aktuator. Untuk roda yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

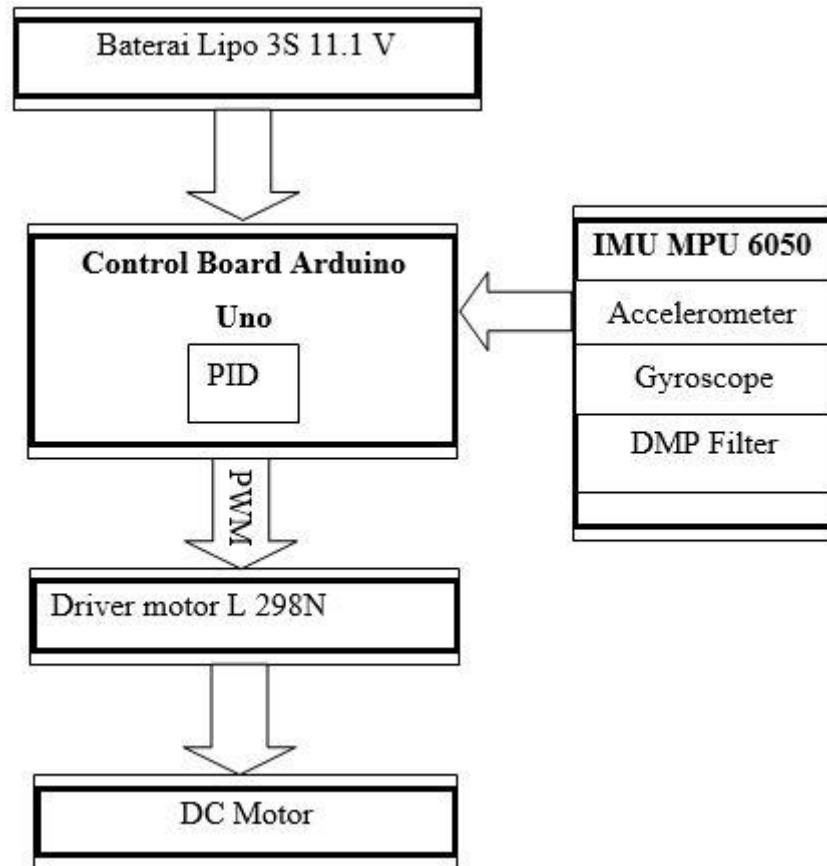
Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)



Gambar 1.1 Spesifikasi Roda

Pada gambar 1.1 dapat diketahui bahwa tinggi roda adalah 65mm dan lebar roda sebesar 26mm. Bagian penting lainnya adalah IMU MPU 6050. *Inertial Measuring Unit* (IMU) sensor MPU 6050 (*accelerometer* dan *gyroscope*) tidak termasuk di dalam papan kontrol berbasis Arduino. Pada sensor IMU MPU 6050, terdapat *accelerometer* dan *gyroscope* di mana pada *accelerometer* akan diambil data mengenai percepatan, dan posisi awal, sedangkan pada *gyroscope* akan diambil data berupa kecepatan sudut. Nantinya data – data ini akan menjadi *input* dari PID pada Arduino. *Setting point* dari PID adalah sudut 0° di mana output dari PID ini adalah kecepatan roda. Arduino akan digunakan untuk menjalankan algoritma kontrol, sedangkan IMU akan melakukan pemrosesan sinyal untuk filter DMP. Detail diagram blok sistem *hardware* dari robot roda satu ini adalah sebagai berikut.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

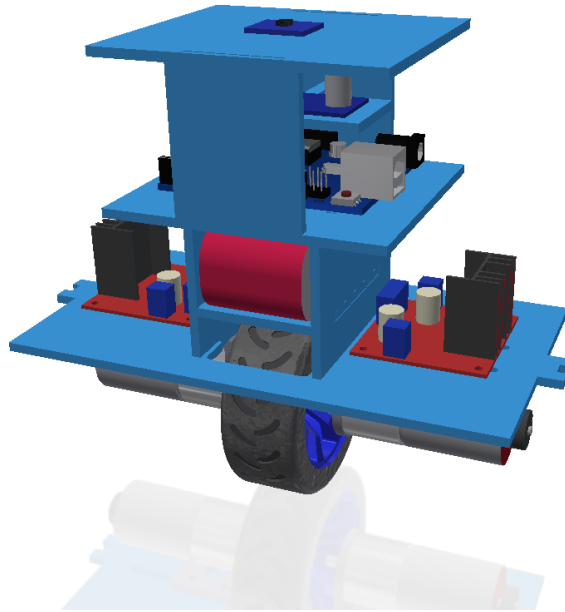


Gambar 1.2 Diagram Blok Prototipe

Sistem gerak robot ini pada dasarnya menggunakan prinsip model pendulum terbalik. Sistem pendulum memiliki lengan yang berayun di bidang horizontal dan digerakkan oleh aktuator. Tujuan dari lengan ini adalah untuk memberikan torsi penyeimbang kepada pendulum yang sedang berayun demi menjaga pendulum tersebut dalam posisi tegak. Sudut kedua lengan bandul dimonitor dan digunakan sebagai umpan balik untuk mengontrol sistem.

Dari segi mekanik, desain dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

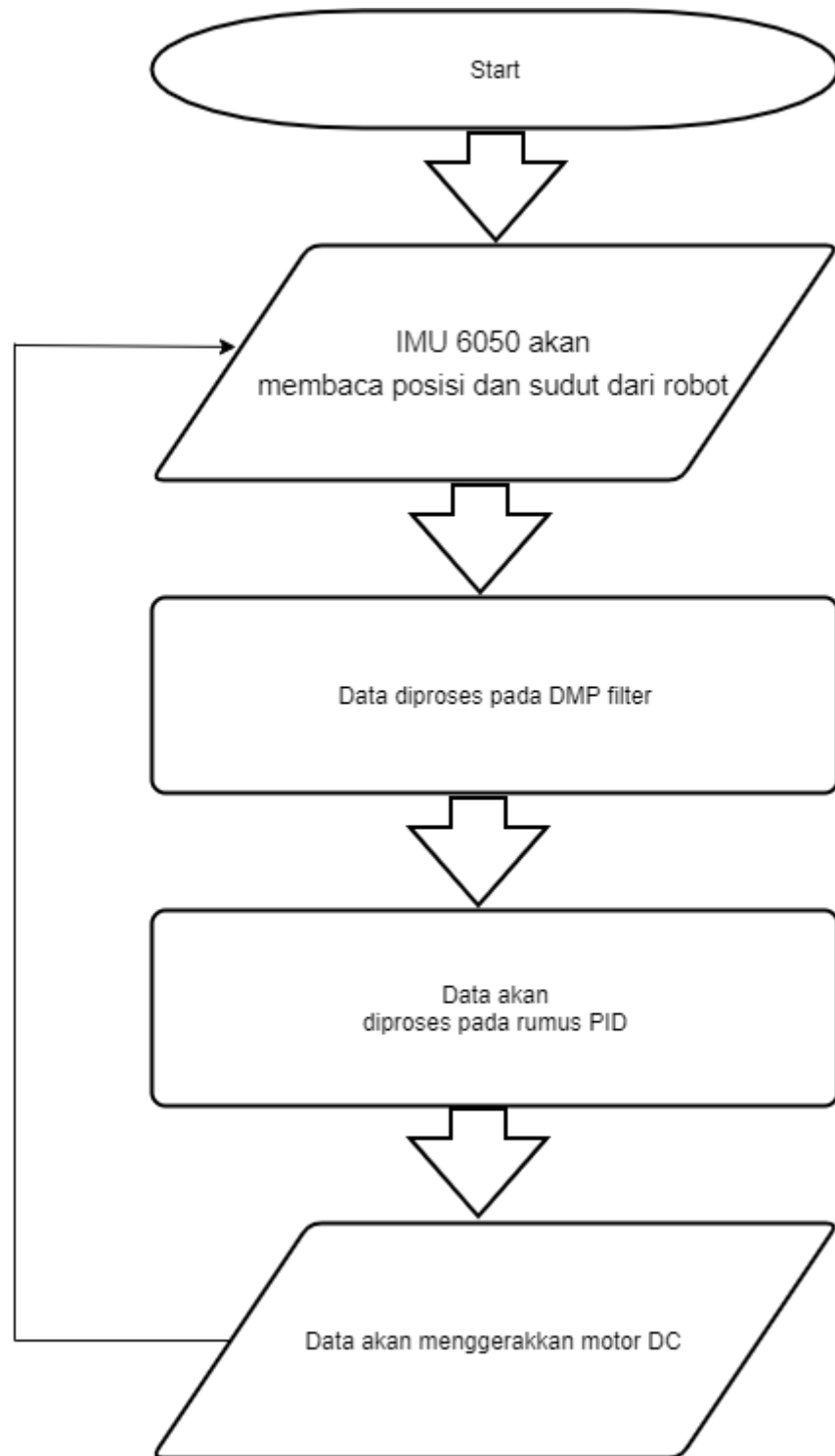


Gambar 1.3 Desain Awal Prototipe

Berdasarkan gambar 1.3, baik sisi kanan maupun sisi kiri roda akan diberikan beban yang sama. Hal ini dilakukan untuk menjaga keseimbangan dari prototipe ini sendiri. Selain itu untuk menjaga keseimbangan dari prototipe ini, dapat diatasi dengan meletakkan benda atau komponennya tepat di titik beratnya. Beban paling berat idealnya diletakkan mendekati poros roda agar tidak mengurangi torsi dari motor. Untuk baterai Lipo dan Arduino beserta regulator akan diletakkan di sisi atas roda. Sementara sensor IMU MPU 6050, akan diletakkan di bagian paling atas pada prototipe. Idealnya sensor ini diletakkan dekat dengan poros roda, agar hasil yang diperoleh lebih presisi.

Pada sisi *software*, akan menggunakan *Arduino IDE*. Pada *Arduino IDE*, akan diimplementasikan program yang akan menjalankan proses dari metode kontrol PID. *Flowchart* program tersebut adalah sebagai berikut

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)



Gambar 1.4 *Flowchart Software*

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

1.6 Metodologi Penelitian / Metodologi Perancangan dan Pembuatan

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan tugas akhir yang terdapat pada pendahuluan, maka diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan adalah:

- a. Studi literatur
- b. Penentuan spesifikasi alat
- c. Perancangan dan pembuatan alat
- d. Pengujian dan analisis
- e. Pengambilan kesimpulan

1.6.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan mendalami teori penunjang yang nantinya akan dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan alat.

Teori yang dibutuhkan adalah:

- a. *Unicycle* yang sudah diciptakan terdahulu
- b. Mempelajari prinsip *inverted pendulum*
- c. Mendalami kendali proporsional integral derivatif
- d. Mempelajari Sensor IMU MPU 6050
- e. Mempelajari *Accelerometer*
- f. Mempelajari *Gyroscope*
- g. Mempelajari *DMP Filter*
- h. Mendalami *Arduino Uno*
- i. Mendalami *PWM*

1.6.2 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara keseluruhan ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang dimaksud adalah seperti tegangan maksimal motor, torsi motor, tegangan maksimal baterai lipo, dan lain-lain.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

1.6.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dalam tugas akhir ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*. Perancangan alat dimulai dengan perancangan diagram blok sistem secara keseluruhan. Perancangan *hardware* terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dari segi mekanik dan perancangan dari segi elektronik. Perancangan mekanik difokuskan untuk tata letak pemasangan sensor dan bentuk fisik robot secara umum.

Perancangan elektronik difokuskan pada perancangan rangkaian modul – modul yang digunakan. Seluruh rangkaian dirancang dalam bentuk rangkaian yang terletak atau disusun di atas PCB.

1.6.4 Pengujian dan Analisis

Pengujian dilakukan secara bertahap yaitu pada seluruh sub sistem terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Seluruh hasil pengujian akan dianalisis dan ditarik sebuah kesimpulan. Setiap pengujian keseimbangan yang berhasil, akan dicoba diberikan gangguan berupa dorongan oleh tangan.

Pengujian yang akan dilakukan antara lain :

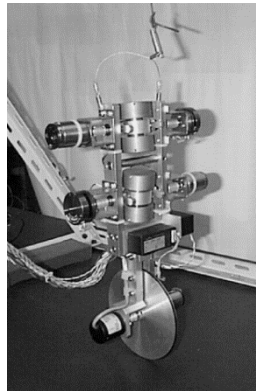
1. Pengujian keseimbangan PID dengan nilai K_p , K_i , K_d yang berbeda – beda di atas keramik datar. Nilai K_p , K_i , dan K_d akan diperoleh secara *trial and error*.
2. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian perbandingan dampak DMP terhadap keseimbangan robot di atas keramik datar.
3. Pengujian berikutnya adalah pengujian pada bidang datar dengan berbagai *initial position* robot yang berbeda – beda
4. Pengujian berikutnya adalah pengujian keseimbangan dengan medan uji bidang miring

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada tahun 2005, Minh-Quan Dao dan Kang-Zhi Liu mempelajari tentang stabilisasi postur dan kontrol gerakan longitudinal dari robot *unicycle*. Pada prototipe *unicycle* milik Minh dan Kang, disisipkan sepasang *flywheel*. Selain itu, metode kontrol yang digunakan untuk menyeimbangkan robot ini adalah algoritma *gain schedule*.



Gambar 2.1 Prototipe Milik Minh dan Kang

Sumber: (Dao & Liu, 2006)

Pada tahun 2010, A. Kadis, dan D. Caldecott merakit sebuah prototipe *unicycle* listrik yang dapat menyeimbangkan diri. Pada prototipe ini, secara longitudinal, diterapkan konsep pendulum terbalik. Secara lateral, akan diatur sendiri oleh pengendara. Metode kontrol yang digunakan untuk mengontrol keseimbangan robot adalah dengan metode kontrol proporsional dan *derivative*.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)



Gambar 2.2 Prototipe Milik Kadis dan Caldecott

Sumber: (Kadis et al., 2010)

Pada tahun 2010, Shao Zhiyu dan Liu Daliang juga mempelajari mengenai *unicycle*. Pada robot rakitan Shao dan Liu, diberi sebuah *flywheel* untuk menyeimbangkan robot agar tidak terjatuh ke kiri ataupun kanan. Prinsip pendulum terbalik juga diterapkan dalam prototipe ini. Metode kontrol dari robot ini adalah metode LQR yang dikombinasikan dengan proporsional integral.



Gambar 2.3 Prototipe Milik Shao dan Liu

Sumber: (Shao & Liu, 2010)

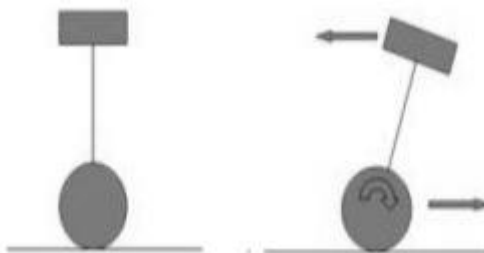
Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

2.2 Teori Penunjang

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai teori penunjang dari tugas akhir robot keseimbangan roda satu ini.

2.2.1 Inverted Pendulum

Robot keseimbangan merupakan pengembangan dari model pendulum terbalik (*Inverted Pendulum*) yang diletakkan di atas kereta beroda. Pendulum terbalik merupakan model sistem yang tidak stabil di mana titik berat sistem pendulum ini berada di atas titik tumpunya. Salah satu contoh sederhana dari pendulum terbalik adalah menyeimbangkan sebuah tongkat panjang di telapak tangan. Pendulum terbalik ini memiliki sifat unik di mana arah jatuh pendulum ini tidak dapat diprediksi. Ide dasar untuk membuat robot beroda satu dapat seimbang adalah dengan cara mengendalikan roda searah dengan jatuhnya pendulum sebuah robot. Apabila hal ini terlaksana, maka robot tersebut pasti dapat berdiri seimbang. Pada robot ini, gaya yang digunakan untuk proses penyeimbangan ini dihasilkan dari putaran roda. Putaran roda ini dihasilkan oleh torsi yang diperoleh dari motor (Khoswanto & Purwanto, 2007). Gaya horizontal yang diperoleh oleh *balancing robot* akan berbanding lurus dengan torsi roda dibagi dengan jari – jari roda. Torsi roda yang dihasilkan pada penelitian ini dihasilkan dari pengaturan kecepatan motor DC dengan menggunakan PWM pada *Arduino UNO*.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Menyeimbangkan Pendulum Terbalik

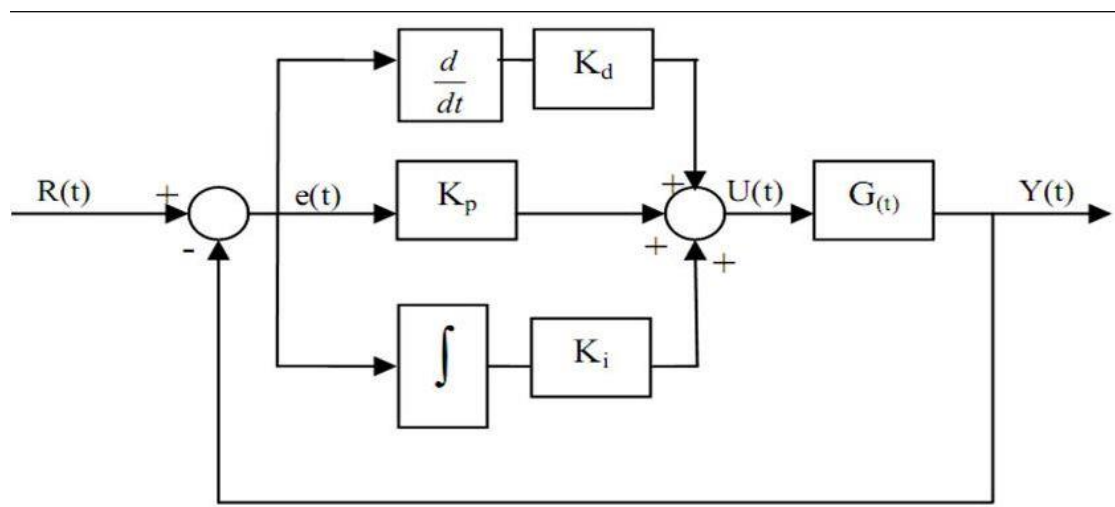
Sumber : (Ketaren et al., 2015)

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Saat beban atau pendulum akan jatuh ke kanan seperti gambar 2.4, maka tindakan yang perlu dilakukan adalah dengan menggerakkan motor untuk bergerak searah dengan arah jatuhnya beban / pendulum, sehingga robot akan kembali tegak lurus dengan permukaan bumi.

2.2.2 Kendali PID

Kontroler PID adalah kontroler yang terdiri dari kontroler proporsional, integral, dan turunan (*derivative*). Dalam penggunaannya, masing – masing kontroler dapat berdiri sendiri ataupun dapat dikombinasikan , seperti kontroler PD ataupun kontroler PI. Dalam perancangan kontroler PID, yang perlu dilakukan adalah menetapkan nilai masing – masing parameter P, I, dan D agar *output* sinyal dari sistem sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.5 Diagram Blok Kontroler PID

Pada gambar 2.5, dapat diketahui bahwa pada kontroler PID, terdapat 3 parameter, yaitu kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol *derivative*. Setiap nilai dari parameter ini akan berbeda – beda tergantung kegunaannya. Setiap parameter juga memiliki kegunaannya masing – masing.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Parameter yang pertama yaitu kontrol proporsional. Kontrol proporsional umumnya dinyatakan dengan sebuah *gain* tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Kontroler proporsional ini menyebabkan sinyal *error* akan semakin besar sehingga kemungkinan terjadinya *overshoot* juga besar. Namun, di lain sisi, kontroler proporsional dapat mempercepat *output* sistem mencapai *setpoint* yang sudah diatur. Selain itu, kontroler proporsional juga akan memperbaiki *rise time*, dan *settling time* dari sebuah sistem.

Parameter yang kedua adalah kontroler integral. Kontroler integral biasa digunakan untuk menghilangkan *offset* yang biasanya dihasilkan oleh kontroler proporsional. Namun, perlu digaribawahi, bahwa pemilihan besar nilai K_i yang tidak tepat dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem. Jika nilai K_i terlalu tinggi, maka akan menyebabkan *output* berosilasi. Selain itu, penambahan kontroler integral akan membuat respon dari sistem sangat lambat. Maka dari itu, kontroler integral biasa diimplementasikan dengan kontroler proporsional.

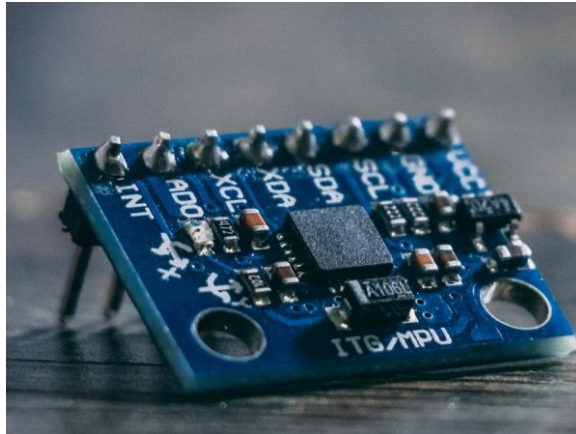
Parameter yang terakhir adalah kontrol *derivative*. Kontrol *derivative* dapat merespon perubahan *error* aktuator dan dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum *magnitude* dari error aktuatornya menjadi sangat besar. Kontroler ini seakan – akan mampu memprediksi *error* yang akan terjadi sebagai efek dari perhitungan yang sebelumnya. Karena kontrol ini bekerja berdasarkan laju perubahan *error* aktuatornya dan bukan pada *error* aktuator itu sendiri, maka kontrol *derivative* ini tidak dapat berdiri sendiri. Kontrol ini biasanya dikombinasikan dengan kontrol proporsional ataupun dengan kontroler proporsional plus kontroler integral menjadi sebuah kontroler yang biasa kita dengar dengan sebutan PID.

2.2.3 Sensor IMU MPU 6050

Sensor IMU MPU 6050 adalah kombinasi sensor antara sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. Kepanjangan dari IMU adalah *Inertial Measuring Unit* di mana IMU ini merupakan alat untuk mengukur sudut kemiringan dan keseimbangan. IMU digital ini memiliki 3 - *axis accelerometer* dan 3 - *axis gyroscope* yang mana sensor ini terhubung secara I2C (*Inter-Integrated Circuit*),

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

dan ketika dikombinasikan dengan filter, akan menampilkan pembacaan kemiringan yang sangat stabil. Pembacaan data *output* sensor IMU MPU 6050 akan ditampilkan pada *serial* monitor *software* *Arduino IDE*.



Gambar 2.6 IMU MPU 6050

Bentuk fisik dari IMU MPU 6050 dapat dilihat pada gambar 2.6. Fitur – fitur MPU 6050 ini antara lain :

1. Sensitivitas *accelerometer* yang dapat dipilih mulai 2/4/8 bahkan sampai 16 g
2. Sensitivitas *gyroscope* yang dapat dipilih mulai 250/500/1000/2000 *degrees/s*
3. *Range* 16 *bit* untuk kedua sensor
4. Sensitivitas percepatan linier dari *gyroscope* 0,1 derajat/s

2.2.4 *Accelerometer*

Accelerometer berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi getaran, dan bisa juga untuk percepatan gravitasi. Pendeteksian gerakan berdasarkan pada 3 sumbu, yaitu kanan - kiri, depan-belakang, atas-bawah. Sensor ini biasa diaplikasikan pada pengukuran kecepatan mesin, getaran mesin. Contoh aplikatif dari *accelerometer* sendiri adalah sebagai *gadget* elektronik, dan juga *safety installation* pada kendaraan. Prinsip kerja dari *accelerometer* adalah berdasarkan pada medan magnet yang digerakkan pada suatu konduktor maupun konduktor

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

yang digerakkan pada medan magnet maka akan timbul induksi elektromagnetik pada konduktor tersebut.

2.2.5 Gyroscope

Gyroscope berfungsi untuk mengukur atau menentukan orientasi suatu benda berdasarkan pada ketetapan momentum sudut. Ada juga yang menyebutkan bahwa *gyroscope* berfungsi untuk menentukan gerakan sesuai dengan gravitasi yang dilakukan oleh pengguna. *Gyroscope* ini memiliki peranan yang penting dalam hal mempertahankan keseimbangan suatu benda. *Output* yang dihasilkan oleh *gyroscope* berupa kecepatan sudut pada sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Sebelum digunakan, ada baiknya jika *gyroscope* dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan bandul yang fungsinya untuk menentukan nilai faktor ataupun dapat juga melihat pada *datasheet* sensor yang digunakan.

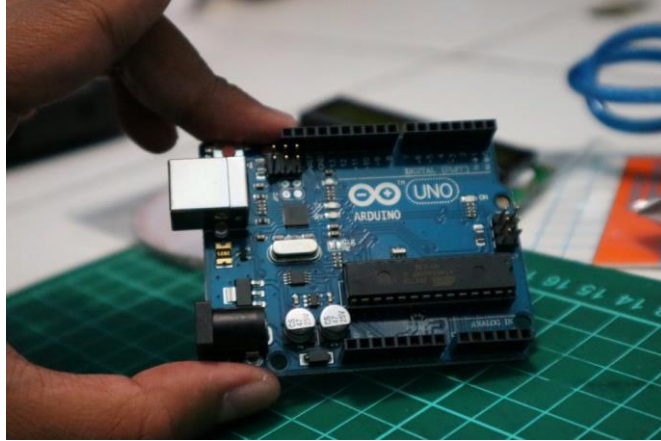
Prinsip kerja dari *gyroscope* adalah bergantung pada arah rotasi terhadap sumbu z. Saat *gyroscope* berotasi, maka *gyroscope* akan memiliki nilai *output*. Jika *gyroscope* berotasi searah jarum jam pada sumbu z, maka tegangan *output* akan mengecil. Namun apabila *gyroscope* berotasi berlawanan arah dengan jarum jam pada sumbu z, maka tegangan *output* yang dihasilkan akan membesar. Di lain sisi, apabila *gyroscope* tidak berotasi, maka tegangan *output* yang dihasilkan akan sesuai dengan nilai *offset gyroscope* tersebut.

2.2.6 DMP Filter

DMP merupakan singkatan dari *digital motion processor*. DMP ini terletak di dalam sensor IMU MPU 6050. DMP akan menyatukan *accelerometer* dan data *gyroscope* untuk meminimalkan efek kesalahan atau *error* yang melekat pada masing – masing sensor. DMP mampu memproses algoritma *9-axis motion fusion* yang kompleks. Kalkulasi atau perhitungan rumus DMP sendiri tidak disebar di internet, melainkan hanya cara penggunaannya saja yang disebar. Hal ini dikarenakan DMP merupakan salah satu paten dari *InvenSense*.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

2.2.7 *Arduino Uno*



Gambar 2.7 *Arduino Uno*

Arduino Uno adalah sebuah papan mikrokontroler berbasis Atmega 328P. *Arduino Uno* memiliki 14 pin *input* atau *output* digital di mana 6 pin di antaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*. Selain itu, terdapat juga 6 pin *input analog*, 16MHz *quartz crystal*, koneksi USB, colokan listrik, *header ICSP*, dan tombol *reset*. Untuk memulai, cukup sambungkan *Arduino* ke komputer dengan kabel USB atau daya dengan adaptor AC atau baterai. Untuk penjelasan lengkap dapat dilihat pada tabel 2.1

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Tabel 2.1 Spesifikasi Teknis *Arduino UNO*

<i>Microcontroller</i>	Atmega328P
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (Recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (Limit)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of Which 6 provide PWM output)
<i>PWM Digital I/O Pins</i>	6
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	20mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (Atmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	2KB (ATmega328P)
<i>EEPROM</i>	1 KB (Atmega328P)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>LED_BUILTIN</i>	13
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g

2.2.8 *Driver Motor L298N*

Driver motor L298N adalah sebuah modul motor *driver* yang banyak digunakan di dunia elektronika untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor DC. Komponen utama dalam modul L298N adalah IC L298. IC L298 adalah sebuah IC bertipe *H-Bridge* yang mampu mengendalikan beban – beban induksi seperti *relay*, *solenoid*, motor DC, dan motor *stepper*. Di dalam IC L298 terdapat transistor – transistor logika dengan gerbang *nand* yang berfungsi untuk menentukan arah putaran suatu motor DC ataupun motor *stepper*. Pada zaman ini,

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

penggunaan IC L298 sudah jarang karena banyak pengguna lebih memilih untuk menggunakan modul L298N. Banyak pengguna lebih memilih L298N daripada IC L298 karena modul L298N lebih mudah digunakan, sudah terangkai dengan rapi sehingga tidak perlu merangkai komponen seperti resistor ataupun transistor. Modul L298N sebenarnya mirip dengan *relay*. Perbedaannya adalah *relay* hanya memutus dan menghidupkan arus, sedangkan modul bisa memutus dan menghidupkan arus serta dapat dapat merubah arus tegangan. Modul *driver* motor L298N dapat dilihat dalam gambar 2.8



Gambar 2.8 L298N

Tabel 2.2 Spesifikasi Teknis Driver Motor L298N

<i>Double H Bridge Drive Chip</i>	IC L298
<i>Logical Voltage</i>	5V
<i>Drive Voltage</i>	5V-35V
<i>Logical Current</i>	0-36mA
<i>Drive Current</i>	2A (MAX single bridge)
<i>Max Power</i>	25W
<i>Dimensions</i>	43 x 43 x 26 mm
<i>Weight</i>	26 g

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

2.2.9. PWM

PWM adalah singkatan dari *Pulse Width Modulation*. PWM adalah salah satu teknik modulasi dengan cara mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa merupakan kondisi *high* kemudian berada di zona transisi ke kondisi *low*. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi.

Duty Cycle merupakan representasi dari kondisi logika *high* dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk % dengan *range* 0% sampai 100%, sebagai contoh apabila sinyal berada dalam kondisi *high* terus menerus, berarti memiliki *duty cycle* sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan *high* sama dengan keadaan *low*, maka sinyal mempunyai *duty cycle* sebesar 50%.

Aplikasi penggunaan PWM biasanya ditemui untuk pengaturan kecepatan motor DC, pengaturan cerah / redup LED, dan pengendalian sudut pada motor *servo*. Contoh penggunaan PWM pada pengaturan kecepatan motor DC adalah semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan, maka putaran motor akan cepat. Namun apabila *duty cycle* rendah, maka perputaran motor akan lambat.

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Daftar Pustaka

- Bimarta, R., Putra, A. E., & Dharmawan, A. (2015). Balancing Robot Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral Derivatif. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 5(1), 89. <https://doi.org/10.22146/ijeis.7157>
- Dao, M. Q., & Liu, K. Z. (2006). Gain-scheduled stabilization control of a unicycle robot. *JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, 48(4), 649–656. <https://doi.org/10.1299/jsmec.48.649>
- Justin Fong, S. U. (2002). preliminary Report: Ballbot. In *Japanese journal of clinical biomechanics* (Vol. 23).
- Kadis, A., Caldecott, D., Edwards, A., Jerbic, M., Madigan, R., Haynes, M., ... Prime, Z. (2010). Modelling, simulation and control of an electric unicycle. *Proceedings of the 2010 Australasian Conference on Robotics and Automation, ACRA 2010*.
- Kaushik, S. (2016). Electric Unicycle Vs Hoverboards - Which one should you buy and why? – Walk Bye. Retrieved October 21, 2019, from <https://www.walkbye.com.au/blogs/experts-speak/185027911-electric-unicycle-vs-hoverboards-which-one-should-you-go-for>
- Ketaren, L. P., Ma, M., & Rahmawaty, M. (2015). Balancing Robot Beroda Dua Menggunakan Metoda Kontrol Proporsional , Integral dan Derivatif. *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, 1(2), 39–48.
- Khoswanto, H., & Purwanto, D. (2007). Keseimbangan Robot Beroda Dua Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *Na*.
- Shao, Z., & Liu, D. (2010). Balancing control of a unicycle riding. *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, CCC'10*, 3250–3254.
- Wanli, Z., Guoxin, L., & Lirong, W. (2014). Research on the control method of inverted pendulum based on kalman filter. *Proceedings - 2014 World Ubiquitous Science Congress: 2014 IEEE 12th International Conference on*

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Dependable, Autonomic and Secure Computing, DASC 2014, 2(2), 520–523.

<https://doi.org/10.1109/DASC.2014.100>

Yamamoto, Y. (2009). NXTway-GS (Self-Balancing Two-Wheeled Robot) Controller Design - File Exchange - MATLAB Central. Retrieved October 21, 2019, from <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19147-nxtway-gs-self-balancing-two-wheeled-robot-controller-design>

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Lampiran

Jadwal kegiatan

Daftar Kegiatan	Bulan 1				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Belanja Komponen																
Pembuatan Sistem																
Pembuatan Desain																
Pembuatan Program																
Pengujian Sistem																
Finishing Sistem																
Pembuatan Laporan																

Pembiayaan

No	Nama	Banyak	Harga	Jumlah	Keterangan
1	Baterai Lipo 3s 1500 Mah	1	Rp 150.000	Rp 150.000	Milik sendiri
2	Motor DC dengan encoder + ban	2	Rp 180.000	Rp 360.000	Milik sendiri
3	Regulator LM 2596	1	Rp 15.000	Rp 15.000	Milik sendiri
4	Arduino Uno	1	Rp 70.000	Rp 70.000	Milik sendiri
5	L 298N	2	Rp 30.000	Rp 60.000	Milik sendiri
6	MPU 6050	2	Rp 20.000	Rp 40.000	Milik sendiri
7	Kabel Jumper Female – Male isi 40 pcs	1	Rp 20.000	Rp 20.000	Milik sendiri
8	Kabel Jumper Male – Male isi 40 pcs	1	Rp 20.000	Rp 20.000	Milik sendiri
9	Socket Jack DC Male	3	Rp 3.000	Rp 9.000	Milik sendiri
10	Kabel tunggal 1.5mm	5	Rp 1.000	Rp 1.000	Milik sendiri
11	Kabel Serabut NYAF 1 x 2.5 mm	5	Rp 8.000	Rp 40.000	Milik sendiri
12	Imax B6AC	1	Rp 300.000	Rp 300.000	Milik sendiri
13	Akrilik	1	Rp 200.000	Rp 200.000	Milik sendiri
14	Cutter Akrilik	1	Rp 75.000	Rp 75.000	Milik sendiri
Total				Rp 1.360.000	

Lampiran 2 Proposal Tugas Akhir (Sambungan)

Curriculum Vitae



NRP : 23416009

Nama : Hans Junian

Alamat Rumah : BCF Sekawan Wangi IIG - 07

Alamat Kos : -

Telpon Rumah : 031-8053233

Telpon Kos : -

Mobile phone : 087703037110

Whatsapp: 087703037110

E-mail : m23416009@john.petra.ac.id

Tempat Kerja Praktek : PT KONE Indo Elevator

Topik Kerja Praktek : Sistem Keamanan pada Escalator KONE

Dosen Pembimbing Kerja Praktek : Handry Khoswanto, S.T., M.T.