

Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan Dengan Menggunakan *Gyroscope* Berbasis Arduino

Tugas Akhir

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar sarjana

dari Program Studi S1 Informatika

Fakultas Informatika

Universitas Telkom

1301154133

Afif Daramwan



**Program Studi Sarjana S1 Informatika
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Bandung
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan Dengan Menggunakan Gyroscope Berbasis
Arduino**

Prototype Measurement Height Building Using Gyroscope Based Arduino

NIM : 1301154133

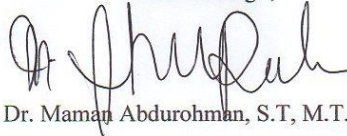
Afif Darmawan

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar
pada Program Studi Sarjana S1 Informatika
Fakultas Informatika
Universitas Telkom

Bandung, 5 Agustus 2019

Menyetujui

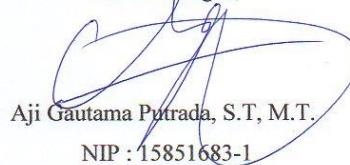
Pembimbing I,



Dr. Maman Abdurrohman, S.T, M.T.

NIP : 99750010-1

Pembimbing II,



Aji Gautama Putrada, S.T, M.T.

NIP : 15851683-1

Ketua Program Studi
Sarjana S1 Informatika,



Niken Dwi Wahyu Cahyani, S.T., M.Kom., Ph.D.

NIP: 00750052

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya, Afif Darmawan Menyatakan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan Dengan Menggunakan *Gyroscope* Berbasis Arduino beserta dengan seluruh isinya adalah merupakan hasil karya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Saya siap menanggung resiko/sanksi yang diberikan jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam buku TA atau jika ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya.

Bandung, 5 Agustus 2019

Yang Menyatakan



Afif Darmawan

Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan Dengan Menggunakan *Gyroscope* Berbasis Arduino

Afif Darmawan¹, Dr. Maman Abdurrahman, S.T., M.T.,² Aji Gautama Putrada, S.T., M.T.,³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹afifdarmawan@students.telkomuniversity.ac.id, ²abdurohman@telkomuniversity.ac.id,

³ajigps@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada suatu perusahaan dalam bidang konstruksi bangunan gedung, dalam pekerjaan apabila ingin mengukur ketinggian suatu bangunan haruslah menggunakan alat ukur ketinggian manual yang bernama *Theodolite* dan juga *Waterpass*, dimana pengukuran ketinggian secara manual menggunakan alat ukur dengan rentang ukur terbatas dapat menghambat kinerja aktivitas pembangunan gedung. Saat ini penelitian mengenai mengukur ketinggian bangunan masih sedikit, sebagian hanya menggunakan mengukur ketinggian bangunan hanya skala kecil. Adapun kekurangan dari alat pengukuran yang digunakan pada bidang konstruksi bangunan ialah dimana alat tersebut melakukan pengukuran menggunakan suatu acuan yaitu benang wol atau kaca, dan juga memiliki kelemahan alat yang terlalu besar untuk dibawa dari satu proyek ke proyek lain. Penelitian ini menghasilkan alat pengukuran ketinggian bangunan dengan menggunakan *gyroscope*, dan dari penelitian ini didapatkan hasil *error* pada saat pengukuran berlangsung. Pengukuran berlangsung dengan cara mengukur ketinggian per lantai. Dengan hasil sebagai berikut pengujian pertama dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 1 hasil *error* 0cm, lantai 2 mendapatkan hasil *error* 0cm, lantai 3 mendapatkan hasil *error* 0cm, lantai 4 mendapatkan hasil *error* 1,1cm, lantai 5 mendapatkan hasil *error* 17,3cm, lantai 6 mendapatkan hasil *error* 102.4cm, lantai 7 mendapatkan hasil *error* 80,2cm, lantai 8 mendapatkan hasil *error* 0cm, dan pengujian terakhir dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 9 mendapatkan hasil *error* 305,7cm. Pada pengujian sudut yang memiliki nilai *error* terkecil ialah dengan menggunakan kalman filter, kemudian yang kedua dengan kalibrasi, dan juga tentunya yang memiliki *error* yang tinggi pada saat sudut normal atau tanpa adanya filter, dikarenakan pada sudut normal tanpa adanya filter kalman.

Kata kunci : MPU6050, *Gyroscope*, *Theodolite*, *Waterpass*, Arduino Mega2560, *Error*

Abstract

In a company in the field of building construction, in the work if you want to measure the height of a building must use a manual height gauge called *Theodolite* and also *Waterpass*, where manual height measurement using a measuring instrument with a limited measuring range can hinder the performance of building construction activities. Currently research on measuring building height is still small, some only use measuring the height of buildings only small scale. The shortcomings of the measurement tools used in the field of building construction are where the device performs measurements using a reference, namely wool or glass yarn, and also has the disadvantages of tools that are too large to be carried from one project to another. This study produced a building height measurement tool using a *gyroscope*, and from this study an *error* was obtained during the measurement. Measurements take place by measuring the height of the floor. With the following results, the first test is done by testing the 1st floor, the result of *error* 0cm, the second floor gets the *error* 0cm, the 3rd floor gets the *error* 0cm, the 4th floor gets the *error* 1.1cm, the 5th floor gets the *error* 17.3cm, the 6th floor get the result of *error* 102.4cm, the 7th floor gets an *error* of 80.2cm, the 8th floor gets the result of *error* 0cm, and the last test is done by testing the 9th floor getting an *error* of 305.7cm. In testing angles that have the smallest *error* value is to use a kalman filter, then the second with calibration, and of course that has a high *error* at normal angles or without filters, because at normal angles without the kalman filter.

Keywords: MPU6050, *Gyroscope*, *Theodolite*, *Waterpass*, Arduino Mega2560

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Pada suatu industri seperti halnya perusahaan kontraktor pada bidang gedung atau bangunan bertingkat apabila mereka ingin mengukur suatu ketinggian bangunan tersebut hendaklah harus menggunakan alat seperti *Theodolite*, dan *Waterpass*. Alat tersebut merupakan alat yang berupa sebuah teleskop yang di tempatkan pada suatu dasar berbentuk cembung (piringan) yang dapat diputar-putar mengelilingi sumbu vertikal, sehingga

memungkinkan sudut horizontal untuk di baca, teleskop tersebut juga di pasang pada piringan kedua dan dapat di putar mengelilingi sumbu horizontal, sehingga memungkinkan sumbu vertikal untuk dibaca [1].

Beberapa faktor yang terdapat pada alat tersebut ialah alat pengukur ketinggian gedung atau tanah tersebut yang harganya relatif mahal, dan juga masih terlalu berat untuk di bawa secara harian dari proyek ke proyek [2].

Dengan kemajuan dalam teknologi mikroelektronika dengan perangkat sensor-sensor, instrument ukur dapat dibuat lebih murah, lebih kecil, dan lebih praktis. Selain itu juga dapat membantu pemerintahan untuk mengukur ketinggian bangun, apabila seseorang ingin mengurus surat izin mendirikan bangunan (IMB). Sehingga diharapkan penulis dengan adanya alat ini pengguna akan lebih mudah menggunakannya dengan alat yang lebih kecil, lebih praktis, dan lebih murah.

Solusi lain untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan membuat sebuah perangkat dan sebuah sistem untuk mengukur ketinggian suatu bangunan dengan menggunakan *gyroscope*.

Penelitian ini mengimplementasi sistem tersebut, dengan cara dibuat perangkat alat ukur ketinggian bangunan untuk mengetahui ketinggian dari suatu bangunan tersebut dengan modul MPU6050 yang berfungsi untuk mengetahui *axis* sudut *sensor gyroscope*, dan jarak pengukuran dengan menggunakan sensor jarak *ultrasonic* US-015 dengan jarak maksimal empat meter.

Penelitian ini juga bertujuan untuk membuat pekerjaan lebih cepat, mudah, dan tentunya tidak mengeluarkan biaya yang cukup mahal. Tentunya juga mempercepat pengerjaan yang tadinya memerlukan waktu yang cukup lama.

Topik dan Batasannya

Dalam penelitian Tugas Akhir ini seperti yang di rumuskan di latar belakang terdapat permasalahan yang muncul, permasalahan muncul tersebut yang pertama adalah bagaimana implementasi pengukuran ketinggian bangunan menggunakan sensor *gyroscope*

Permasalahan yang kedua bagaimana kinerja sistem dalam mengukur tinggi gedung/bangunan dengan menggunakan alat sensor yang di gunakan yaitu MPU6050.

Dari perumusan masalah tersebut, di berikan batasan-batasan masalah yang berguna untuk mempermudah, dan memperlancar kegiatan penelitian Tugas Akhir diantaranya bahan pengujian simulasi yaitu bangunan yang memiliki bentuk persegi panjang(kotak) tanpa adanya bentuk yang lain, dalam penelitian ini pengukuran bangunan pada Gedung GKU lantai 1-9 yang dimana memiliki bangunan yang persegi panjang atau berbentuk kotak, kemudian pengujian tentunya dilakukan dengan cuaca yang tidak hujan, adapun microcontroller yang digunakan adalah arduino, dengan maksimal jarak 4 meter.

Tujuan

Adapun tujuan penelitian Tugas Akhir ini ialah untuk membuat suatu *prototype* alat pengukuran ketinggian bangunan dengan menggunakan sensor MPU6050, dan tentunya dengan penelitian ini dapat membuat pekerjaan lebih cepat, mudah, dan tentunya tidak mengeluarkan biaya yang cukup mahal. Tentunya juga mempercepat pengerjaan yang tadinya memerlukan waktu yang cukup lama.

Tabel 1. Keterkaitan antara tujuan, pengujian dan kesimpulan

No	Tujuan	Pengujian	Kesimpulan
1	Mengimplementasikan pengukuran ketinggian bangunan menggunakan sensor Gyroscope.	Mengambil data melalui snsor gyroscope, data sensor ultrasonic dan memasukan hasil pengambilan data dengan rumus trigonometri	Sistem elektro theodolite yang menggunakan <i>gyroscope</i> , motor, sensor ultrasonic dan arduino mega berhasil di bangun.
2	Menganalisis kinerja sistem dalam mengukur tinggi gedung.	Simulasi alat <i>prototype</i> dengan menggunakan sensor MPU6050, dan Ultrasonic 2 buah jarak x, dan jarak p(ketinggian dari alat ke permukaan tanah) dan memasukkan hasil data sensor dengan rumus trigonometri	Kinerja sistem dalam mengukur tinggi gedung memiliki nilai RMSE 14.5 cm.

Organisasi Tulisan

Selanjutnya akan dibahas mengenai penelitian yang dilakukan. Bab dua membahas tentang studi terkait mengenai perhitungan trigonometri, sedangkan bab tiga membahas perancangan sistem, bab keempat membahas tentang Evaluasi dimana ada hasil pengujian dan analisi pengujian, kemudian pada bab ke lima terdapat kesimpulan dari hasil pengujian yang di lakukan.

2. Studi Terkait

Pada Paper [3] dilakukan pembuatan sebuah alat pengukuran ketinggian bangunan dengan menggunakan sensor *accelerometer* ADXL345 yang terkoneksi dengan smartphone berbasis android, dimana untuk mempermudah yang dimana sebelumnya mengukur ketinggian menggunakan alat rentang ukur yang terlalu besar dan juga mahal, sensor *accelerometer* ADXL345 ini dimana akan bekerja untuk memperoleh sudut elevasi antara gedung yang di ukur dengan garis horizontal, dan sensor ultrasonik HC-SR04 di manfaatkan untuk mengetahui jarak horizontal antara benda atau gedung dengan instrument, dengan mengambil data dari masing-masing sensor yang di gunakan, dan kemudian mengirimkan data-data di baca melalui *Bluetooth* dan di kirimkan ke aplikasi yang dibuat di *smartphone* dengan diolah pada aplikasi *smartphone* tersebut kemudian menghasilkan hasil.

Dari penelitian tersebut inovasi hanya mengimplementasikan secara langsung dengan mengukur ketinggian bangunan dengan menggunakan sensor *gyroscope* MPU6050. Kemudian dengan menggunakan ultrasonic untuk sumbu x dengan jarak kedepan dan sumbu p untuk jarak alat pengukuran ke permukaan tanah.

2.1 MPU6050

MPU6050 merupakan alat digunakan untuk menentukan orientasi dan memiliki fungsi pengukuran dengan *Accelerometer*, dan *Gyroscope*. Tetap penulis hanya menggunakan fungsi *Gyroscope*, yang dimana pada *gyroscope* tersebut memiliki Digital Output axis X-, Y-, dan Z-, pada penelitian ini MPU6050 berfungsi untuk mengukur sudut dengan orientasi *gyroscope*, yang dimana berfungsi untuk mencari sudut tan pada saat pengukuran, MPU6050 berjalan dengan komunikasi I2C. Tabel 2 menunjukan konversi pin MPU650 dengan Arduino Mega. Mpu6050 menghasilkan radian persecond, sementara pada Tugas Akhir ini satuan yang digunakan adalah degree persecond. Untuk memperoleh satuan tersebut maka angka yang didapatkan dari sensor dibagikan dengan sudutnya.

Tabel 2. Konversi pin Arduino Mega

Arduino Mega	MPU6050
GND	GND
5V	VCC
SDA	SDA
SCL	SCL
13	INT

GND(*Ground*) adalah nilai negative dari board tersebut, dan dihubungkan GND ke GND dari Arduino ke MPU6050, VCC adalah tegangan sinyal untuk memberi daya pada board tersebut, pada MPU6050 diberikan nilai tegangan dengan 5v, SDA(Serial Data) adalah untuk mentransfer data melalui komunikasi I2C, pada MPU6050 dihubungkan dengan SDA ke SDA, SCL(Serial Clock) adalah untuk menyediakan clock yang di terima melalui komunikasi I2C, pada MPU 6050 SCL dihubungkan ke SCL, INT(Interrupt) adalah untuk menunjukan data yang tersedia pada Arduino, pada MPU6050 INT dihubungkan dengan pin 13.

2.2 Arduino

Arduino dikatakan sebagai sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “platform” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih. Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega2560 [8].

Arduiino Mega Ini memiliki 54 pin input / output digital (14 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 16 input analog, 4 UART (port serial perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, USB koneksi, colokan listrik, header ICSP, dan tombol reset. Ini berisi segalanya diperlukan untuk mendukung mikrokontroler; cukup sambungkan ke komputer dengan kabel USB atau beri daya dengan adaptor AC-ke-DC atau baterai untuk

memulai. Mega kompatibel dengan sebagian besar perisai dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Diecimila.

2.3 Kalman Filter

Kalman Filter ialah suatu filter yang berfungsi untuk menstabilkan suatu nilai, agar mengurangi noise pada saat pengukuran. Pada penelitian ini menggunakan rumus Kalman Filter sebagai berikut.

Step 1 Persamaan pembaruan waktu filter Kalman Diskrit - Pembaruan Waktu ("Prediksi")

$rate = newRate - bias$

$angle += dt * rate$

Keterangan

rate= kalkulasi tidak noise pada gyro

newRate = kalkulasi tidak noise pada gyro terbaru

bias = kalkulasi noise pada gyro

angle= nilai sudut

dt = delta time

Step 2 Perbarui estimasi kovarians kesalahan - Proyeksikan kovarians kesalahan di depan

$P[0][0] += dt * (dt * P[1][1] - P[0][1] - P[1][0] + Q_angle)$

$P[0][1] -= dt * P[1][1]$

$P[1][0] -= dt * P[1][1]$

$P[1][1] += Q_bias * dt$

Keterangan

dt=nilai delta time

Q_angle= nilai variansi noise untuk accelerometer

Q_bias= nilai variansi noise untuk gyro

Step 3 Perbedaan sudut

$y = newAngle - angle$

Keterangan

y = nilai perbedaan sudut

newAngle= nilai sudut baru

angle= nilai sudut

Step 4 Estimate error

$S = P[0][0] + R_measure;$

Keterangan

S = nilai estimasi error

R_measure = nilai pengukuran noise

Step5 Kalman gain

$K[0] = P[0][0] / S$

$K[1] = P[1][0] / S$

Keterangan

K=Kalman Gain

P= Matrix P

S = nilai estimasi error

Step6 Perhitungan Angle dan Bias

$angle += K[0] * y$

$bias += K[1] * y$

Keterangan

angle= nilai sudut

bias = kalkulasi noise pada gyro

K=Kalman Gain

y = nilai perbedaan sudut

Step 7 Hitung estimasi kesalahan kovarians - Perbarui kesalahan kovarians

$$P00_temp = P[0][0]$$

$$P01_temp = P[0][1]$$

$$P[0][0] -= K[0] * P00_temp$$

$$P[0][1] -= K[0] * P01_temp$$

$$P[1][0] -= K[1] * P00_temp$$

$$P[1][1] -= K[1] * P01_temp$$

Keterangan

K=Kalman Gain

2.4 Theodolite

Theodolite adalah instrumen penting yang digunakan untuk mengukur sudut horisontal dan vertikal dalam survei. itu adalah instrumen yang sangat berguna bagi surveyor, dapat juga digunakan untuk sejumlah operasi survei, seperti memperpanjang jarak pengukuran garis secara tidak langsung dan naik level. sebenarnya theodolite adalah instrumen survei utama di sebagian besar proyek rekayasa [3].

Theodolite merupakan alat yang paling canggih di antara peralatan yang digunakan dalam survei. Pada dasarnya alat ini berupa sebuah teleskop yang ditempatkan pada suatu dasar berbentuk membulat (piringan) yang dapat diputar-putar mengelilingi sumbu vertikal, sehingga memungkinkan sudut horisontal untuk dibaca. Teleskop tersebut juga dipasang pada piringan kedua dan dapat diputarputar mengelilingi sumbu horisontal, sehingga memungkinkan sudut vertikal untuk dibaca. Kedua sudut tersebut dapat dibaca dengan tingkat ketelitian sangat tinggi (Farrington 1997).

3 Sistem Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan dengan Menggunakan *gyroscope* berbasis Arduino

Pada penelitian ini sistem yang dibangun ialah sistem Prototipe Mengukur Ketinggian Bangunan dengan Menggunakan *gyroscope* berbasis Arduino, dimana *gyroscope* digunakan dengan module sensor MPU6050, yang berfungsi untuk mencari sudut, sudut yang di pakai sudut trigonometri sudut tan.

$$\tan \alpha = Y / X \quad (1)$$

Pada rumus diatas dapat di jelaskan sudut tan α ialah sudut tan yang didapatkan dari pengukuran, dimana Y nilai tinggi bangunan yang akan di cari, kemudian nilai X nilai jarak kedepan pada saat pengukuran.

$$Y = \tan \alpha . X \quad (2)$$

dimana, nilai Y nilai tinggi bangunan yang akan di cari, sudut tan α ialah sudut tan yang didapatkan dari pengukuran, kemudian nilai X nilai jarak kedepan pada saat pengukuran.

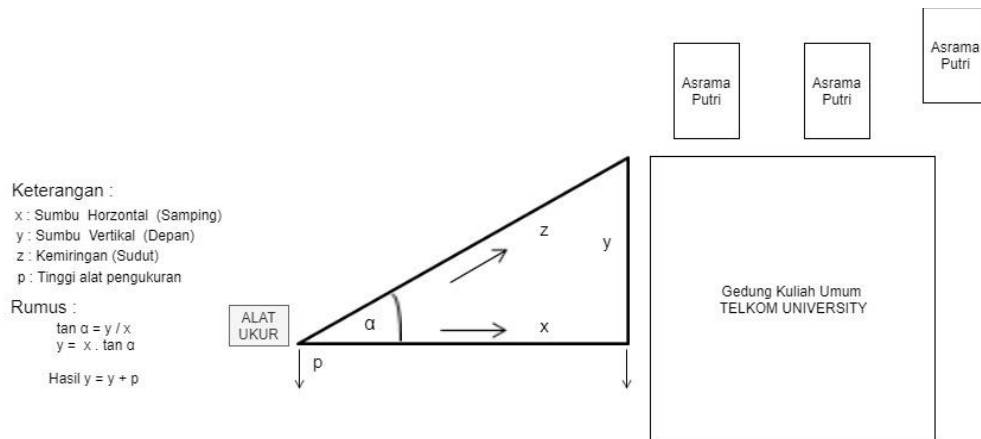
$$Y = \tan \alpha . X + P \quad (3)$$

dimana, nilai Y nilai tinggi bangunan yang akan di cari, sudut tan α ialah sudut tan yang didapatkan dari pengukuran, kemudian nilai X nilai jarak kedepan pada saat pengukuran, kemudian dengan adanya jarak antara alat ukuran dengan permukaan tanah maka di tambah dengan jarak permukaan tanah dengan jarak ukuran dengan nilai P.

3.1 Perancangan Sistem

Pada penelitian Tugas Akhir ini terdapat menggunakan beberapa alat-alat sensor dan microcontroller, alat-alat sensor tersebut ialah sensor MPU6050 yang berfungsi untuk mengukur sudut tan pada saat pengukuran, kemudian sensor *ultrasonic* US-015 2 buah yang berfungsi untuk mengukur jarak kedepan pada saat pengukuran, dan jarak dari alat pengukuran ke permukaan tanah, kemudian menggunakan mikrokontroller Arduino

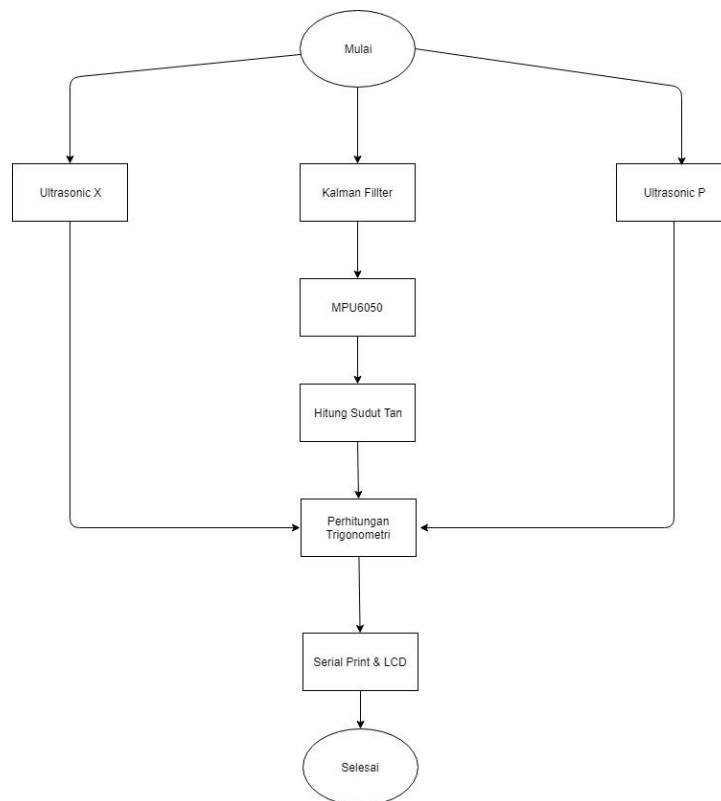
Mega2560 mikrokontroller ini digunakan karena memiliki volt yg sama, dengan sensor-sensor yang digunakan dan menggunakan breadboard. Gambar 1. Menjelaskan bagaimana implementasi perancangan sistem tersebut.



Pada gambar diatas terdapat sensor-sensor yang memiliki data sensor inputan kepada mikrokontroller, kemudian data di olah di mikrokontroller dengan menggunakan rumus trigonometri, kemudian hasil perhitungan di tampilan melalui LCD.

3.2 Cara Kerja Sistem

Berikut *flow chart* cara kerja sistem dari pembacaan masing-masing sensor sampai perhitungan data-data. Gambar 2. Cara Kerja Sistem dengan menggunakan *flow chart*



Tahapan dari *Flow Chart* diatas ialah, program dijalankan sehingga sensor *ultrasonic* x dan p berjalan mencari nilai jarak dari sensor tersebut, dan sensor MPU6050 mencari sudut. Setelah itu, nilai sudut yg di dapat

oleh MPU6050 di *convert* ke nilai tan, kemudian nilai dari ketiga sensor dihitung dengan rumus trigonometri dengan rumus sudut $Y = \tan \alpha \cdot X + P$, kemudian ditampilkan pada LCD dan Serial Print Arduino.

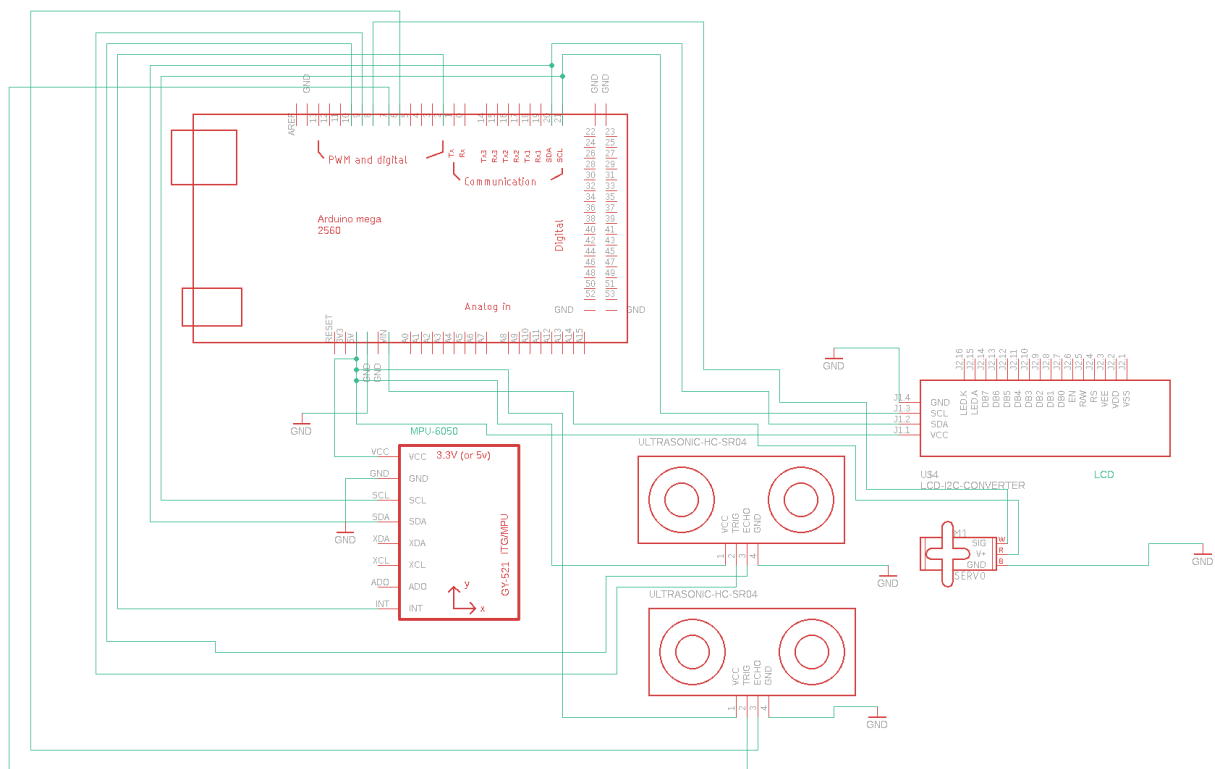
3.3 Spesifikasi Alat

Alat yang digunakan untuk penelitian yang berjudul prototype mengukur ketinggian bangunan dengan menggunakan *gyroscope* berbasis arduino ialah sebagai berikut :

- Mikrokontroller : Arduino Mega 2560
- Sensor Jarak : Ultrasonik HC-SR04
- Sensor Sudut : MPU 6050
- Output : LCD 20x4
- Akuator : Motor Servo MG996R

3.4 Skematik Alat

Skema alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat seperti gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Skematik Alat

4 Evaluasi

4.1 Pengukuran Tinggi Bangunan dengan Fillter

Penelitian dengan menggunakan pengukuran tinggi bangunan ini menggunakan alat ukur yang berbasis arduino, dengan memanfaatkan sudut pengukuran untuk mengukur suatu ketinggian bangunan tersebut.

Tabel 3. Penelitian Tinggi Bangunan dengan fillter

BANGUNAN	SUDUT °	Jarak X (cm)	Jarak P (cm)	Hasil (cm)	Hasil Tinggi Bangunan Asli (cm)
LANTAI 1	62	200	167	543	543
	53	300	147	543	543

	47	400	115	543	543
LANTAI 2	75	200	144	890	890
	69	300	110	890	890
	63	400	106	890	890
LANTAI 3	80	200	103	1237	1237
	75	300	118	1237	1237
	70	400	141	1237	1237
LANTAI 4	82	200	160	1582	1584
	78	300	174	1584	1584
	75	400	92	1584	1584
LANTAI 5	84	200	27	1929	1931
	80	300	200	1901	1931
	77	400	199	1931	1931
LANTAI 6	84	200	200	2102	2278
	82	300	145	2278	2278
	79	400	200	2256	2278
LANTAI 7	85	200	200	2486	2625
	83	300	183	2625	2625
	81	400	101	2625	2625
LANTAI 8	86	200	112	2972	2972
	84	300	119	2972	2972
	82	400	128	2972	2972
LANTAI 9	86	200	200	3060	3431
	84	300	200	3053	3431
	83	400	175	3431	3431

4.2 Pengukuran Tinggi Bangunan tanpa Fillter

Tabel 4. Penelitian Tinggi Bangunan tanpa filter

BANGUNAN	SUDUT °	Jarak X (cm)	Jarak P (cm)	Hasil (cm)	Hasil Tinggi Bangunan Asli (cm)
LANTAI 1	54	200	167	441	543
	44	300	147	435	543
	38	400	115	427	543
LANTAI 2	65	200	144	572	890
	60	300	110	629	890
	53	400	106	634	890
LANTAI 3	70	200	103	651	1237
	65	300	118	760	1237
	61	400	141	861	1237
LANTAI 4	72	200	160	774	1584
	69	300	174	954	1584
	65	400	92	948	1584
LANTAI 5	75	200	27	773	1931
	70	300	200	1022	1931
	69	400	199	1239	1931
LANTAI 6	74	200	200	896	2278
	71	300	145	1015	2278
	70	400	200	1296	2278
LANTAI 7	76	200	200	1002	2625
	74	300	183	1227	2625
	71	400	101	1261	2625
LANTAI 8	77	200	112	978	2972
	75	300	119	1238	2972
	73	400	128	1436	2972
LANTAI 9	76	200	200	1002	3431

	74	300	200	1244	3431
	75	400	175	1667	3431

4.3 Pengukuran Tinggi Bangunan tanpa Fillter menggunakan Kalibrasi

Tabel 5. Penelitian Tinggi Bangunan sesudah kalibrasi

BANGUNAN	SUDUT °	Jarak X (cm)	Jarak P (cm)	Hasil (cm)	Hasil Tinggi Bangunan Asli (cm)
LANTAI 1	63	200	167	559	543
	53	300	147	543	543
	47	400	115	543	543
LANTAI 2	74	200	144	840	890
	69	300	110	890	890
	62	400	106	858	890
LANTAI 3	79	200	103	1131	1237
	74	300	118	1162	1237
	70	400	141	1237	1237
LANTAI 4	81	200	160	1422	1584
	78	300	174	1584	1584
	74	400	92	1484	1584
LANTAI 5	84	200	27	1929	1931
	79	300	200	1742	1931
	78	400	119	2079	1931
LANTAI 6	83	200	200	1828	2278
	80	300	145	1846	2278
	79	400	200	2256	2278
LANTAI 7	85	200	200	2486	2625
	83	300	183	2625	2625
	80	400	101	2369	2625
LANTAI 8	86	200	112	2972	2972

LANTAI 9	82	300	119	2252	2972
	82	400	128	2972	2972
	85	200	200	2486	3431
	83	300	200	2642	3431
	84	400	175	3979	3431

4.4 RMSE(Root Mean Square Error)

Untuk melihat nilai error pada saat penelitian digunakan metode RMSE(Root Mean Square Error).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{ia})^2}$$

Dimana :

n : Jumlah banyaknya data

X_i : Nilai Asli

X_{ia} : Nilai Asli Pengukuran

4.5 Kalibrasi Noise

Pada penelitian ini juga menggunakan Kalibrasi terhadap sudut yang tidak menggunakan filter, dimana kalibrasi dilakukan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kalibrasi} = \text{Sudut Normal} + \text{Offset sudut}$$

4.6 Analisi Hasil Pengujian

4.6.1 Analisis Pengujian Gedung GKU

Dari penelitian tersebut mendapatkan nilai error dengan perbandingan nilai tinggi bangunan menggunakan pengukuran kotak-kotak dan nilai pengukuran dengan alat sebagai berikut.

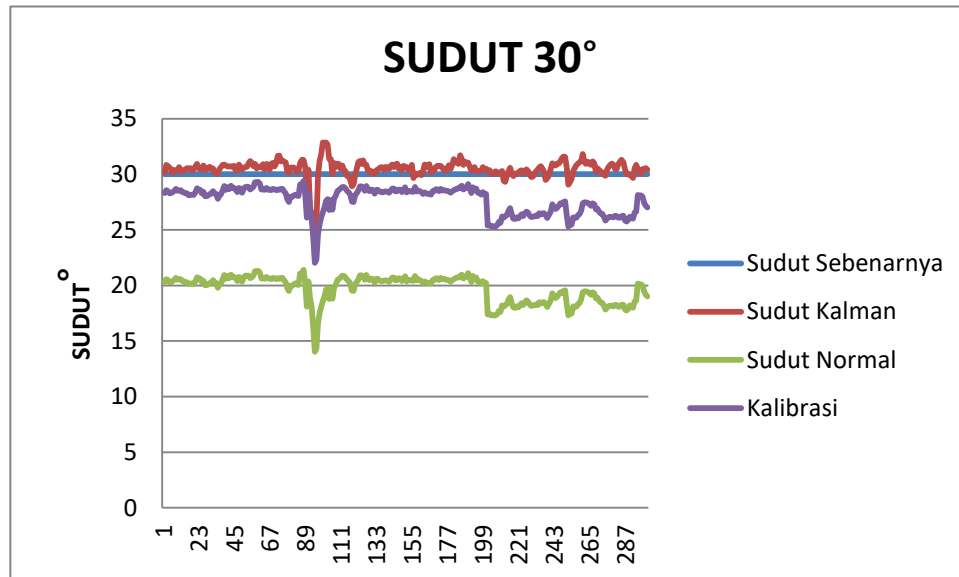
Tabel 6. Nilai Error

Pengujian Perlantai	Nilai Error
Pengujian Lantai 1	0 cm
Pengujian Lantai 2	0cm
Pengujian Lantai 3	0cm
Pengujian Lantai 4	1.1cm
Pengujian Lantai 5	17.3cm
Pengujian Lantai 6	102.4cm
Pengujian Lantai 7	80.3cm
Pengujian Lantai 8	0.00cm
Pengujian Lantai 9	305.7cm
ERROR TOTAL	14.5cm
Error Lokasi Sensor Ultrasonic	20cm

Pada tabel diatas hasil dari perhitungan error dimana perhitungan error dilihat berdasarkan satu persatu pengujian, dengan contoh pengujian pertama dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 1 mendapatkan hasil error 0cm, kemudian pengujian kedua dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 2 mendapatkan hasil error 0cm, kemudian pengujian ketiga dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 3 mendapatkan hasil error 0cm, kemudian

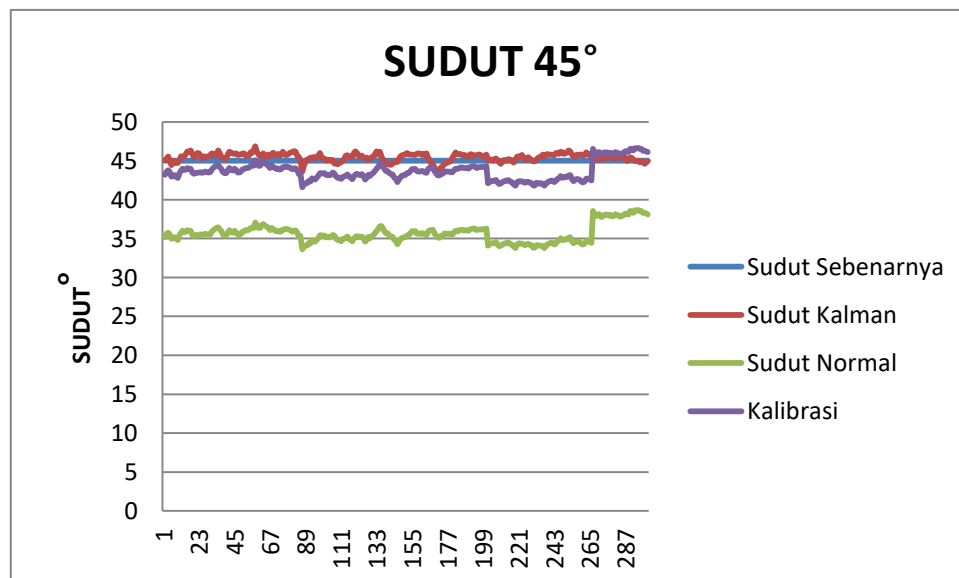
pengujian keempat dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 4 mendapatkan hasil error 1,1cm kemudian pengujian kelima dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 5 mendapatkan hasil error 17,3cm kemudian pengujian keenam dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 6 mendapatkan hasil error 102,4cm kemudian pengujian ketujuh dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 7 mendapatkan hasil error 80,2cm kemudian pengujian kedelapan dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 8 mendapatkan hasil error 0cm dan pengujian terakhir dilakukan dengan pengujian tinggi lantai 9 mendapatkan hasil error 305,7cm dan total hasil error keseluruhan ialah 14,5cm.

4.6.2 Analisis Pengujian Sudut



Gambar 4. Pengujian Sudut 30°

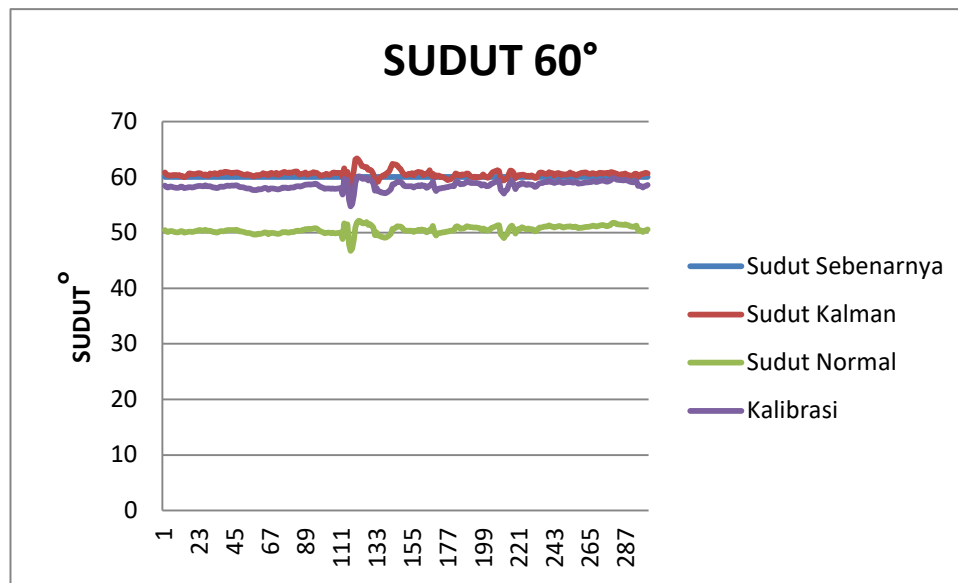
Pada grafik diatas dapat dilihat nilai sudut sebenarnya ialah 30°, pada saat pengukuran pada sudut 30° dengan menggunakan filter mendapatkan hasil rata-rata sama dengan sudut 30°, sedangkan sudut di bawah tanpa filter mendapatkan hasil rata-rata sudut 20° dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 30°, kemudian pada saat kalibrasi sudut mendapatkan hasil rata-rata 27° dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 30°.



Gambar 5. Pengujian Sudut 45°

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai sudut sebenarnya ialah 45°, pada saat pengukuran pada sudut 45° dengan menggunakan filter mendapatkan hasil rata-rata sama dengan sudut 45°, sedangkan sudut di bawah tanpa

filter mendapatkan hasil rata-rata sudut 30° dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 45° , kemudian pada saat kalibrasi sudut mendapatkan hasil rata-rata 43° dibawah sudut sebenarnya dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 45° .



Gambar 6. Pengujian Sudut 60°

Pada grafik diatas dapat dilihat nilai sudut sebenarnya ialah 60° , pada saat pengukuran pada sudut 60° dengan menggunakan filter mendapatkan hasil rata-rata sama dengan sudut 60° , sedangkan sudut di bawah tanpa filter mendapatkan hasil rata-rata sudut 50° dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 60° , kemudian pada saat kalibrasi sudut mendapatkan hasil rata-rata 57° dibawah sudut sebenarnya dibawah sudut sebenarnya yaitu sudut 60° .

5. Kesimpulan

Berikut beberapa kesimpulan yang diperoleh dari Tugas Akhir yang dilakukan sebagai berikut :

1. Sistem elektro theodolite yang menggunakan *gyroscope*, motor, sensor ultrasonic dan arduino mega berhasil di bangun.
2. Kinerja sistem dalam mengukur tinggi gedung memiliki nilai RMSE 14.5 cm.
3. Kinerja Kalman Filter dalam meningkatkan akurasi sudut mempunyai nilai RMSE yang lebih baik dari penggunaan kalibrasi dan nilai langsung dari sensor.

6. Saran

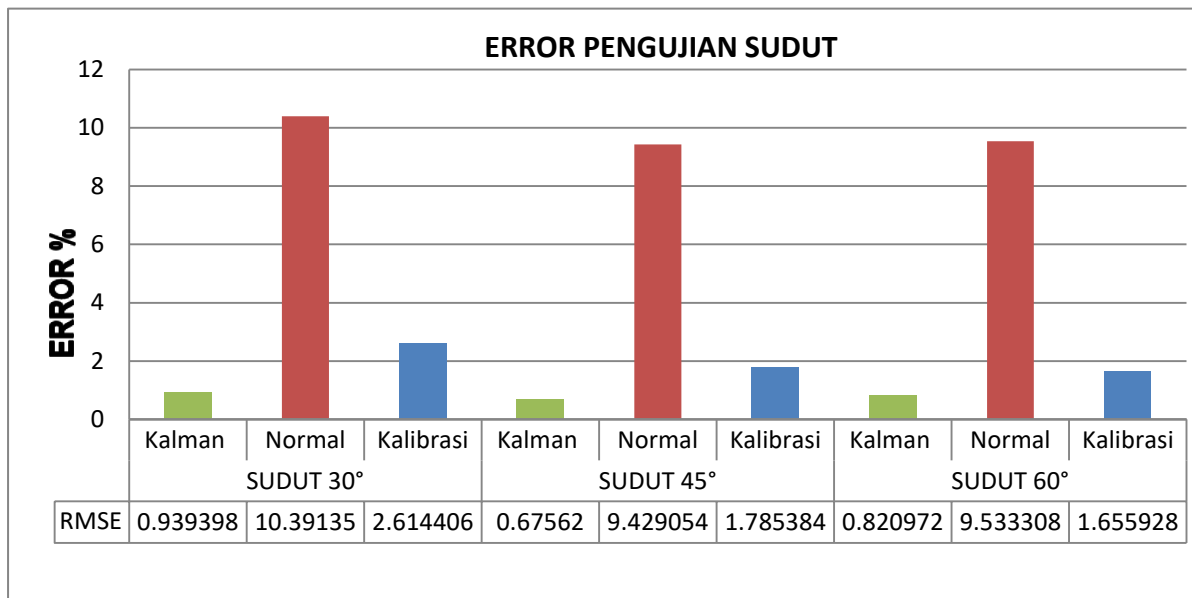
Berikut adalah saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian dengan topik serupa dimasa yang akan datang :

1. Penelitian berikutnya diharapkan bisa menambahkan sensor yang lebih canggih, dimana dengan jarak yang lebih jauh jangkauannya.
2. Penelitian berikutnya diharapkan dapat menggunakan alat yang statis biar dapat mengurangi *handshake* yang terjadi pada saat pengukuran berlangsung.
3. Penelitian berikutnya diharapkan dapat menggunakan tempat alat yang lebih menarik dan lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] Edho. Scribd. [Online]. <https://www.scribd.com/document/363097373/theodolit-dan-waterpass-docx>
- [2] Ashwin Aryan Sanjeev Gill, "To Experimental Study for Comparison Theodolite and Total Station," *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, p. 1, 2016.
- [3] a, Kusnandar , Bambang HSR Wibowo, Ariel Muhamad Annas Asep Najmurrokhman, "Perancangan Instrumen Pengukuran Ketinggian Menggunakan Sensor ADX345 yang terkoneksi dengan smartphone berbasis Android," in *Seminar Material, Instrumentasi, Pembelajaran, dan Aplikasinya (SeMIPA 2016)*, Bandung, 2016, p. 1.
- [4] Hendri Maja Saputra Siti Yuliani, "Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer," *Conference Paper*, p. 63, 2016.
- [5] Tony Lacey, "Tutorial: The Kalman Filter," p. 133.
- [6] Jan Axelsson, *The Microcontroller Idea Book*. USA: Lakeview Resear, 1997.
- [7] *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification*. USA: InvenSense, 2013.
- [8] (2018, Oktober) Arduino Mega 2560. [Online]. <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>
- [9] Bettina Weiss Gunther Gridling, *Introduction to Microcontrollers.*, 2016.
- [10] Branko Babusiak, and Ivo Cap Stefan Borik, "Device for Accelerometer and Gyroscope," p. 130, 2014.

Lampiran



Gambar 7. Nilai Error Pengujian sudut menggunakan RMSE



Gambar 8. Penelitian dengan jarak 2 Meter



Gambar 9. Penelitian dengan jarak 3 Meter



Gambar 10 . Penelitian dengan jarak 4 Meter