

FILTERING UNTUK AKUISISI DATA PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL (JSN)

Nely Ulwiyati^{*)}, Aghus Sofwan dan Sumardi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: nelyulwiyati@gmail.com

Abstrak

Sumber utama data sensor adalah pengukuran yang dilakukan pada suatu fenomena fisik atau fenomena yang telah termodelkan, oleh karena itu data yang diperoleh dari pengukuran sensor dapat mengalami kesalahan dalam pengukurannya. Hal itu dapat disebabkan karena sensor mendapatkan gangguan (*noise*) yang berasal dari lingkungan sekitar dimana sensor tersebut dipasang. Proses pembersihan ataupun penyaringan (*filter*) hasil pembacaan sensor yang kurang akurat menjadi sebuah proses dibutuhkan. Pada penelitian ini dilakukan proses penyaringan (*filter*) pada dua jenis sensor yang digunakan pada sensor *node* dari sistem Jaringan Sensor Nirkabel untuk pendeteksian dini bencana tanah longsor berbasis IoT. Kedua jenis sensor tersebut adalah sensor IMU MPU6050 dan sensor kelembaban FC-28. Data berupa sudut yang diperoleh dari sensor MPU6050 merupakan hasil penggabungan data dari sensor akselerometer dan giroskop dengan menggunakan metode tapis komplementer. Sedangkan untuk sensor kelembaban FC-28 menggunakan metode tapis pelewat bawah R-C untuk mendapatkan hasil bacaan kelembaban yang lebih akurat. Berdasarkan hasil percobaan, kedua tapis tersebut dapat bekerja dengan baik mereduksi *noise*. Penggunaan tapis komplementer pada pengukuran sudut kemiringan menghasilkan nilai rata-rata error sebesar pada pengukuran sudut roll sebesar 0,08, sedangkan penggunaan tapis pelewat rendah menghasilkan nilai rata-rata error sebesar 0,5 pada pengukuran nilai kelembaban tanah.

Kata kunci : Sensor, Tapis, Tapis Komplementer, Tapis Pelewat Rendah R-C

Abstract

The main source of sensor data is the measurement that performed on a physical phenomenon or phenomenon that has been modeled, therefore the data obtained from the sensor measurement can experience errors in the measurement. It can be caused by the noise that is coming from the environment around which the sensor is installed. The filtering process of sensor readings that are less accurate is needed. In this research, the filtering process of two types of sensors used in the sensor node of IoT-based Wireless Sensor Network system for early detection of landslide disaster. The sensors are an IMU sensor MPU6050 and FC-28 for the humidity sensor. The angular data obtained from the MPU6050 sensor is the result of combining data from accelerometer and gyroscope sensors using complementary filter method. As for the FC-28 humidity sensor uses the R-C low pass filter to get a more accurate reading of soil moisture. Based on the experimental results, both filters can work well to reduce noise. The use of a complementary filter on the angle measurement resulted in an average error rate of 0,08 roll angle measurements, while the use of a low pass filter resulted in an average error of 0,5 on the soil moisture measurement.

Keywords: Sensor, Filter, Complementary Filter, R-C Low Pass Filter

1. Pendahuluan

Sumber utama data sensor adalah pengukuran yang dilakukan pada suatu fenomena fisik atau fenomena yang telah termodelkan, oleh karena itu data yang diperoleh dari pengukuran sensor dapat mengalami kesalahan dalam pengukurannya. Kesalahan dalam pengukuran dapat berdampak serius terhadap hasil keputusan yang diambil berdasarkan data pengukuran sensor tersebut. Hal itu dapat disebabkan karena sensor mendapatkan gangguan (*noise*)

yang berasal dari lingkungan sekitar dimana sensor tersebut dipasang. Gangguan (*noise*) merupakan salah satu penyebab utama dari interferensi pada hasil pembacaan sensor yang diinginkan.

Berdasarkan pada masalah gangguan (*noise*) yang mengganggu hasil pembacaan sensor tersebut maka proses pembersihan ataupun penyaringan (*filter*) dari hasil pembacaan sensor yang kurang akurat menjadi sebuah proses dibutuhkan. Dengan melakukan proses pembersihan atau penyaringan (*filter*) dapat mengurangi

tingkat ketidakpastian dari hasil pembacaan sensor [1]. Pengaplikasian tapis untuk mengurangi pengaruh gangguan (*noise*) telah dilakukan pada beberapa penelitian [2], [3], [4].

Salah satu tapis yang dapat digunakan untuk mengurangi *noise* pada sensor analog FC-28 yaitu dengan *Low Pass Filter* (LPF). *Low Pass Filter* (LPF) merupakan tapis yang hanya melewatkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi *cut-off* [5]. Tujuan digunakannya metode LPF karena pada umumnya *noise* memiliki nilai frekuensi yang tinggi, sehingga penggunaan dari LPF akan mengurangi pengaruh dari *noise* pada sensor. Pada penelitian sebelumnya telah tapis pelewat rendah digunakan untuk mengurangi *Total Harmonic Distorsi* pada Lampu Hemat Energi. Jenis tapis pelewat bawah yang digunakan adalah tapis pelewat bawah dengan komponen penyusun resistor dan kapasitor [5].

Penerapan tapis pada sensor IMU berguna sebagai penggabung dari beberapa sensor agar menghasilkan data sudut [6]. Sensor IMU merupakan suatu perangkat elektronik yang dapat mengukur dan mendeteksi tingkat sudut menggunakan hasil kombinasi dari data akselerometer, giroskop, dan magnetometer [7]. Pada penelitian *noise* yang dilakukan pada sensor MPU6050 didapatkan hasil bahwa terdapat *noise* pada sensor yaitu *white noise* [8]. Sensor giroskop merupakan sensor yang didesain untuk mengukur kecepatan sudut pada rotasi sebuah benda. Pada proses perhitungan sudut dilakukan dengan mengukur laju perubahan sudut di integrasi terhadap waktu. Proses integrasi terhadap waktu tersebut menyebabkan penyimpangan yang disebabkan oleh hadirnya kesalahan bias [9]. Sensor akselerometer didesain untuk mengukur nilai kecepatan akselerasi dan dapat digunakan untuk mengukur aktivitas kegempaan, getaran mesin, dan inklinasi. Nilai sudut dapat ditentukan dengan mengukur arah dari akselerasi gravitasi pada objek. Penentuan nilai sudut pada sensor akselerometer memiliki kesalahan yang disebabkan oleh gaya translasi [9]. Masalah yang terjadi pada pengukuran sensor giroskop dan akselerometer tersebut, penggabungan dari data akselerometer dan giroskop bertujuan agar sudut yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih baik daripada sudut yang dihasilkan pada masing-masing sensor. Proses penggabungan data dari kedua sensor tersebut dapat dilakukan menggunakan tapis komplementer [11]. Tapis komplementer merupakan tapis digital yang dapat diaplikasikan pada sensor IMU.

Beberapa penelitian mengenai penggunaan tapis komplementer telah dilakukan [9]–[13]. Penggunaan tapis komplementer pada proses penggabungan data akselerometer, giroskop, dan magnetometer akan menghasilkan data sudut yang lebih akurat dengan cara yang sederhana. Hal ini dikarenakan tapis komplementer membutuhkan sedikit komputasi pada proses pengolahan data sensor [14].

Berdasarkan pada masalah gangguan (*noise*) pada sensor pada sistem jaringan sensor nirkabel untuk pendeteksi dini bencana tanah longsor, maka pada penelitian ini akan menggunakan tapis pelewat rendah R-C pada sensor pendeteksi kelembaban tanah, serta tapis komplementer yang akan digunakan untuk menggabungkan data akselerometer dan giroskop pada sensor MPU6050. Data pengukuran dari sensor akan diolah pada mikrokontroler *Arduino Mega2650*. Data yang dihasilkan berupa informasi tingkat kelembaban tanah, dan sudut kemiringan dari alat pendeteksi tanah longsor.

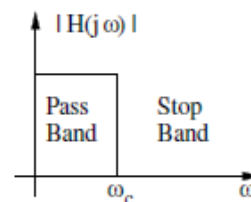
2. Metode

2.1. Tapis Pelewat Rendah R-C

Tapis Pelewat Rendah atau *Low Pass Filter* (LPF) merupakan jenis tapis yang hanya melewatkan sinyal dengan nilai frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi *cut-off* dan akan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi *cut-off*. Tapis pelewat rendah ideal merupakan suatu sistem transmisi ideal dengan fungsi alih sebagai berikut.

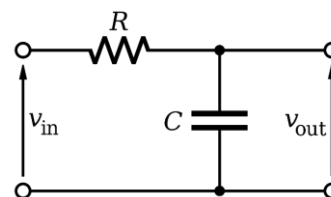
$$H(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t} & \text{untuk } |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & \text{untuk } |\omega| > \omega_c \end{cases} \quad (1)$$

Tapis pelewat rendah ideal memiliki daerah *pass band* dan *stop band* yang jelas, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Frekuensi antara *pass band* dan *stop band* disebut dengan frekuensi *cut-off* (ω_c). Semua sinyal dengan nilai frekuensi dibawah frekuensi *cut off* dapat dilewatkan, sedangkan nilai frekuensi yang melebihi nilai *cut-off* akan dihentikan.



Gambar 1. Grafik Ideal Tapis Pelewat Rendah

Rangkaian tapis pelewat rendah R-C merupakan jenis filter pasif, dengan respon frekuensi yang ditentukan oleh konfigurasi komponen resistor (R) dan kapasitor (C) yang digunakan. Rangkaian dasar dari tapis pelewat bawah RC dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Dasar Tapis Pelewat Bawah RC

Komponen reaktif pada rangkaian tersebut memiliki karakteristik yang akan berubah sesuai dengan frekuensi, maka perilaku dari rangkaian dapat diketahui. Untuk mendeskripsikan perilaku dari rangkaian maka dapat dilakukan dicari perbandingan dari tegangan keluar dan tegangan masuk atau dimana perbandingan tersebut merupakan ekspresi dari penguatan tegangan atau fungsi alih. Fungsi alih dari rangkaian tapis tersebut didapatkan seperti persamaan dibawah ini.

$$H(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (2)$$

Frekuensi sudut pada *cut-off* (ω_c) sesuai dengan keadaan ketika nilai $\omega_c CR=1$, sehingga persamaan dari frekuensi sudut dapat diekspresikan seperti pada persamaan 3.

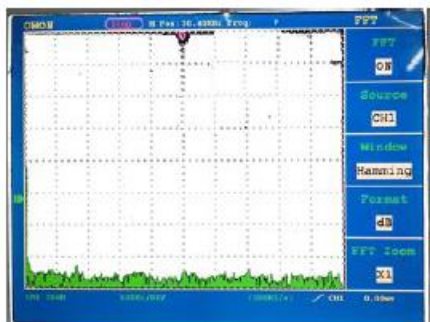
$$\omega_c = \frac{1}{CR} = \frac{1}{T} \text{ rad/s} \quad (3)$$

dimana $\omega_c = 2\pi f_c$, sehingga dari penurunan persamaan 3 didapatkan persamaan frekuensi *cut-off* pada persamaan dibawah ini.

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR} \quad (4)$$

2.1.1. Perancangan Tapis Pelewat Rendah R-C

Berdasarkan hasil percobaan menggunakan osiloskop pada sensor kelembaban didapatkan penampakan derau pada mode FFT sebagai berikut.



Gambar 3. Penampakan FFT Derau pada sensor kelembaban FC-28

Perhitungan frekuensi *cut-off* dilakukan dengan menentukan nilai frekuensi pada gelombang derau dengan melakukan perhitungan berdasarkan pada Gambar 3 diatas. Hasil pengukuran pada osiloskop didapatkan nilai ω_c sebesar 9,9852 kHz. Sehingga dapat dihitung nilai frekuensi *cut-off* yang dibutuhkan untuk menyeleksi derau sebagai berikut.

$$\text{Frekuensi cut off} = \frac{1}{2\pi} \times 9,9852 \text{ kHz} = 1,59 \text{ kHz}$$

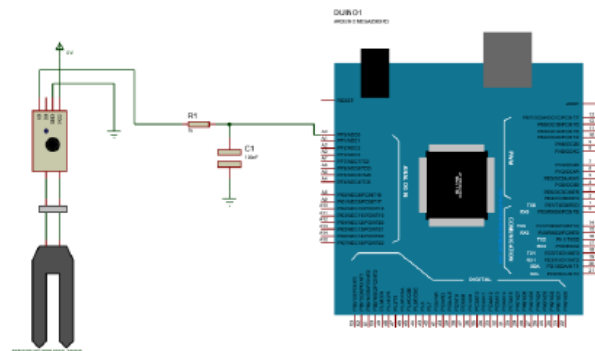
Perancangan tapis pelewat rendah R-C dengan nilai *cut-off* sebesar 1,59 kHz memerlukan perhitungan nilai dari kapasitor dan resistor. Pada perancangan tapis pelewat bawah RC digunakan nilai resistor sebesar 1 k Ω . Perhitungan nilai dari kapasitor adalah sebagai berikut.

$$f_c = \frac{1}{2\pi CR}$$

$$1,59 \text{ kHz} = \frac{1}{2\pi(1000\Omega)C}$$

$$C = 100,097 \text{ nF}$$

Didapatkan nilai kapasitor yaitu 100,097 nF. Sehingga pada penelitian ini perancangan tapis pelewat bawah R-C menggunakan kapasitor dengan nilai kapasitansi sebesar 100 nF.

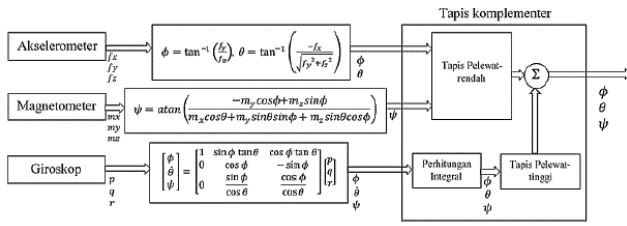


Gambar 4. Interkoneksi tapis pelewat rendah dengan sensor dan mikrokontroler

2.2. Tapis Komplementer

Tapis komplementer digunakan untuk menggabungkan data-data yang sama dari beberapa sensor yang berbeda untuk mendapatkan data yang baik. Diagram tapis komplementer yang digunakan untuk sudut orientasi digambarkan pada Gambar 5. Data sudut orientasi dari sensor akselerometer dan magnetometer ditapis dengan tapis pelewat-rendah. Data kecepatan sudut orientasi dari sensor giroskop dihitung dengan perhitungan integral dan ditapis dengan tapis pelewat-tinggi. Ketiga data sudut orientasi direkonstruksi sehingga didapat data sudut orientasi yang baik.

Nilai dari sudut orientasi *roll* (ϕ) dan *pitch* (θ) yang didapatkan dari sensor akselerometer akan diproses melalui tapis pelewat rendah pada tapis komplementer. Sedangkan untuk nilai kecepatan sudut *roll* ($\dot{\phi}$), kecepatan sudut *pitch* ($\dot{\theta}$), dan kecepatan sudut *yaw* ($\dot{\psi}$) yang didapatkan dari sensor giroskop akan diintegrasikan untuk kemudian akan dilewatkan pada tapis pelewat tinggi pada tapis komplementer. Gambar 5 merupakan diagram dari tapis komplementer pada sudut orientasi.



Gambar 5. Diagram Tapis Komplementer pada Sudut Orientasi

Perhitungan matematis tapis komplementer dari diagram diatas ditunjukkan dengan persamaan berikut.

$$\text{Sudut} = (KG) \times (\int \omega \text{Giroskop} dt) + (KA) \times (\Theta \text{Akselero}) \quad (5)$$

Bagian $(\int \omega \text{Giroskop} dt)$ menunjukkan integral dari kecepatan sudut giroskop. Bagian tapis pelewat-rendah mengacu pada konstanta dari sudut akselerometer-magnetometer (KA) sedangkan bagian tapis pelewat-tinggi mengacu pada konstanta dari sudut giroskop (KG). Variabel dt adalah waktu perulangan dijalkannya perhitungan tapis (sampling period) atau waktu cuplik. Waktu cuplik yang semakin kecil, akan semakin memperkecil nilai RMS. Nilai KA dan KG merupakan nilai kepercayaan antara sensor akselerometer-magnetometer dan sensor giroskop dengan nilai $KA+KG=1$. Pemilihan nilai KA dan KG mengacu pada frekuensi atau periode tapis pelewat rendah dan tapis pelewat tinggi.

2.2.1. Perancangan Tapis Komplementer pada Pembacaan Kemiringan Sudut

Hasil pembacaan sensor akselerometer dan sensor MPU6050 yang dihasilkan akan diproses dengan menggunakan persamaan sudut rotasi untuk menghasilkan nilai sudut roll dan pitch. Persamaan dari sudut pitch dan roll pada sensor akselerometer adalah sebagai berikut.

$$\text{Sudut orientasi roll} \quad \phi = \tan^{-1} \frac{fy}{fz} \quad (5)$$

$$\text{Sudut orientasi pitch} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{-fx}{\sqrt{fy^2 + fz^2}} \right) \quad (6)$$

Sedangkan untuk perhitungan nilai pitch, roll, dan yaw pada sensor giroskop menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin \phi \tan \theta & \cos \phi \tan \theta \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (7)$$

Kemudian nilai dari pitch dan roll yang telah didapatkan dari setiap sensor akan diproses menggunakan tapis komplementer dengan persamaan 5 yang akan membentuk persamaan sebagai berikut.

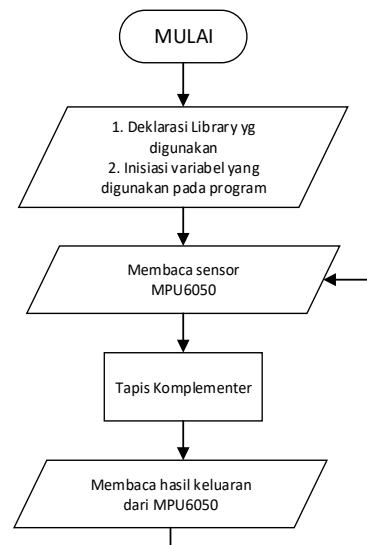
$$\text{Sudut roll} = \{KG \times [\int (p + q(\sin \phi \tan \theta) + r(\cos \phi \tan \theta)) dt + \text{Sudut roll}] + \{KA \times (\tan^{-1} \frac{fy}{fz})\} \quad (8)$$

dengan konstanta KG merupakan konstanta dari sudut pada giroskop dengan nilai 0,02 dan konstanta KA merupakan konstanta dari sudut pada akselerometer dengan nilai $1-KG = 0,98$.

2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Secara umum perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler Arduino Mega2560 terdiri dari:

- Perancangan program utama sistem filtering.
- Program tapis komplementer.



Gambar 6. Diagram Alir Program Utama

2.3.1. Perancangan Program Utama

Perancangan perangkat lunak program utama ini secara garis besar bertujuan untuk mengatur kerja sistem seperti inialisasi register I/O dan variabel, serta pembacaan hasil sensor. Program utama berperan sebagai perangkat lunak yang akan mengatur keseluruhan operasi yang melibatkan fungsi-fungsi pendukung. Fungsi-fungsi pendukung akan melakukan kerja khusus sesuai kebutuhan dari program utama.

Program dimulai dengan melakukan inialisasi I/O dan inialisasi variabel yang digunakan pada mikrokontroler.

Setelah inisialisasi, program akan mulai menjalankan pembacaan nilai dari sensor MPU6050 dan sensor FC-28. Hasil pembacaan sensor akselerometer (*pitch* dan *roll*) dan sensor giroskop (*roll*, *pitch*, dan *yaw*) akan diproses pada tapis komplementer untuk menghasilkan nilai pembacaan sudut *pitch* dan *roll*.

2.3.2. Perancangan Perangkat Lunak Tapis Komplementer pada Pembacaan Sudut Kemiringan

Proses awal pada pemrograman dilakukan inisialisasi variabel dan Library yang digunakan pada program sensor MPU6050. Inisialisasi variabel pada awal program berguna untuk mendefinisikan variabel-variabel yang digunakan pada proses perhitungan sudut sensor MPU6050. Inisialisasi variabel juga disertai dengan mendefinisikan tipe data dari variabel yang digunakan. Berikut penampakan dari inisialisasi variabel dan *Library* pada program sensor MPU6050.

```

. . . . .
#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>

#define rtod 57.2957795
#define dtor 0.0174532925
#define ADO 43
//Declaring some global variables
int gyro_x, gyro_y, gyro_z;
float GyroX, GyroY, GyroZ, RollGyroDot,
PitchGyroDot;
long gyro_x_cal, gyro_y_cal, gyro_z_cal;
boolean set_gyro_angles;

long acc_x, acc_y, acc_z, acc_total_vector;
long acc_x_cal, acc_y_cal, acc_z_cal;
float angle_roll_acc, angle_pitch_acc;

float angle_pitch_gyro, angle_roll_gyro;
int angle_pitch_buffer, angle_roll_buffer;
float angle_pitch_comp, angle_roll_comp, outRoll,
outPitch;

float KG = 0.02, Dt = 0.01, kemiringan;
long timer;
int temp;
unsigned char milisecond;
. . . . .

```

Pengaturan MPU6050 yang terdapat pada *Library* “MPU6050.h” merupakan pengaturan pada sensor MPU6050 secara umum. Untuk penggunaan pada kondisi tertentu sensor MPU6050 perlu perubahan pengaturan untuk menyesuaikan kondisi yang dibutuhkan. Pada penelitian ini pengaturan yang dilakukan adalah mengatur tingkat sensitifitas dari sensor giroskop menjadi 250 dps *full scale* dan sensor akselerometer menjadi +/- 2 g. Berikut merupakan senarai dari fungsi *void()* pengaturan pada sensor MPU6050.

```

. . . . .
void setup_mpu_6050_registers() {
    //Activate the MPU-6050

```

```

Wire.beginTransmission(0x69);
Wire.write(0x6B);
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();
//Configure the accelerometer (+/-2g)
Wire.beginTransmission(0x69);
Wire.write(0x1C);
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();
//Configure the gyro (250dps full scale)
Wire.beginTransmission(0x69);
Wire.write(0x1B);
Wire.write(0x00);
Wire.endTransmission();
. . . . .

```

Data *roll* dan *pitch* diambil dari pembacaan sensor akselerometer dan giroskop pada modul MPU6050. MPU6050 ini memiliki *register* akses data 0xD0 sesuai pada *data sheet*. Alamat pada *datasheet* yang digunakan untuk membaca data mentah akselerometer adalah 0x3b, 0x3c, 0x3d, 0x3e, 0x3f dan 0x40, sedangkan untuk giroskop adalah 0x43, 0x44, 0x45, 0x46, 0x47 dan 0x48. Tetapi dikarenakan sensor ini memiliki nilai alamat 0x68 yang sama dengan komponen RTC. Sehingga dibutuhkan pin digital untuk merubah alamat MPU. Di senarai, pin ADO pada MPU dideklarasikan *HIGH*, agar nilai alamat berubah menjadi 0x69.

```

. . . . .
void read_mpu_6050_data() {
    Wire.beginTransmission(0x69);
    Wire.write(0x3B);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(0x69, 14);
    while(Wire.available() < 14);
    // Read the accelerometer
    acc_x = Wire.read()<<8|Wire.read();
    acc_y = Wire.read()<<8|Wire.read();
    acc_z = Wire.read()<<8|Wire.read();
    temp = Wire.read()<<8|Wire.read();
    // Read the gyrometer
    gyro_x = Wire.read()<<8|Wire.read();
    gyro_y = Wire.read()<<8|Wire.read();
    gyro_z = Wire.read()<<8|Wire.read();
    . . . . .

```

Setelah didapat nilai mentah dari akselerometer dan giroskop, kemudian dicari nilai sudut *roll* dan *pitch*. Nilai *roll* dan *pitch* dari sensor akselerometer dan giroskop dapat dicari dengan potongan senarai berikut.

```

. . . . .
//Accelerometer angle calculations
angle_pitch_acc = atan2((float)-acc_x, sqrt
((acc_y*acc_y)+(acc_z*acc_z)));
angle_roll_acc = atan2((float)acc_y, acc_z);
angle_pitch_acc -= 0.0;
angle_roll_acc -= 0.0;
//Gyro angle calculations
GyroX = ((float)(gyro_x/47.41))*dtor;
GyroY = ((float)(gyro_y/47.41))*dtor;
GyroZ = ((float)(gyro_z/47.41))*dtor;
// Roll dan Pitch dari sensor Giroskop
RollGyroDot =
GyroX+(GyroY*sin(angle_roll_comp)*tan(angle_pitc
h_comp))+(GyroZ*cos(angle_roll_comp)*tan(angle_p
itch_comp));

```

```
PitchGyroDot = (GyroY*cos(angle_roll_comp)) +
(GyroZ*-sin(angle_roll_comp));
}
. . . . .
```

Nilai *roll*, *pitch*, dan *yaw* yang telah di dapat pada masing-masing sensor, kemudian akan diproses pada fungsi tapis komplementer dengan rumus yang sesuai pada persamaan 8 sebelumnya.

```
. . . . .
void filtercomp(){
//To dampen the pitch and roll angles a
complementary filter is used
angle_pitch_comp = ((1-KG)*(angle_pitch_comp +
angle_pitch_gyro)) + (KG*angle_pitch_acc);
angle_roll_comp = ((1-KG)*(angle_roll_comp +
angle_roll_gyro)) + (KG*angle_roll_acc);
outRoll = (angle_roll_comp * rtod);
outPitch = (angle_pitch_comp * rtod);
}
. . . . .
```

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Tapis Pelewat Rendah R-C

Pengujian tapis pelewat rendah R-C dilakukan dengan melakuka pengujian nilai keluaran ADC pada sensor kelembaban tanah yangdilakukan dengan memberikan variasi terhadap nilai kelembaban tanah. Nilai variasi dari 0%, 15%, 20%, 32%, 46%, dan 62%. Pengambilan data dilakukan selama 5 menit dengan tiap data dari mikrokontroler dikirimkan setiap 1 detik.

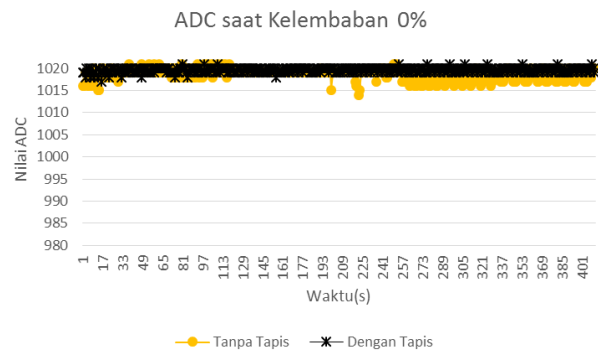
Tabel 1. Hasil Pengujian Tapis Pelewat Rendah R-C pada Kelembaban Tanah

No	Massa tanah (gr)	Massa tanah+Ai r (gr)	ADC Kalibrasi	ADC Sensor		Error ADC	
				Tanpa Tapis	Dengan Tapis	Tanpa Tapis	Dengan Tapis
1	100	100	1020	1019	1020	1	0
2	100	115	880	875	877	5	3
3	100	121	790	789	790	1	0
4	100	132	602	603	602	1	0
5	100	146	400	401	400	1	0
6	100	162	294	293	294	1	0
Rata-rata error						1,66	0,5

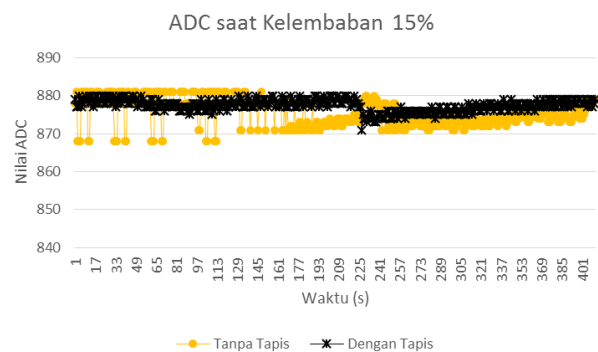
Dari Tabel 1 diperlihatkan rata-rata *error* dari setiap pengujian pada waktu yang telah ditentukan. Nilai rata-rata *error* ADC secara keseluruhan pada kondisi tanpa menggunakan tapis dan menggunakan tapis memiliki nilai sebesar 1,66 dan 0,5. Dari nilai rata-rata *error* terlihat bahwa hasil pembacaan dengan menggunakan tapis pelewat bawah R-C memiliki hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil pembacaan tanpa menggunakan tapis.

Nilai rata-rata *error* pembacaan nilai ADC pada variasi 0%, 20%, 32%, 46%, dan 62% memiliki hasil yang sama yaitu 0 pada *error* pembacaan dengan menggunakan tapis pelewat rendah R-C dan 1 pada *error* pembacaan tanpa menggunakan tapis pelewat rendah R-C. Untuk variasi kelembaban 15% memiliki hasil rata-rata *error* tertinggi

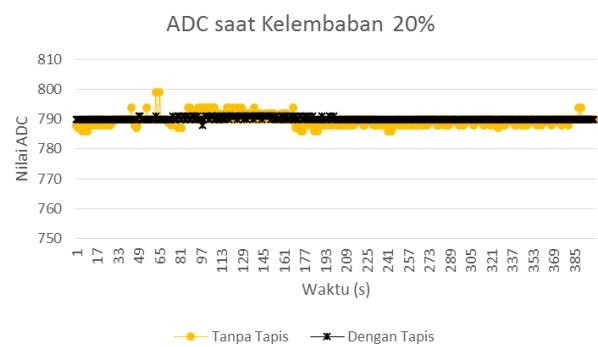
untuk kedua konsisi sebesar 9 untuk hasil pembacaan tanpa tapis dan 7 untuk pembacaan dengan menggunakan tapis. Hasil pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



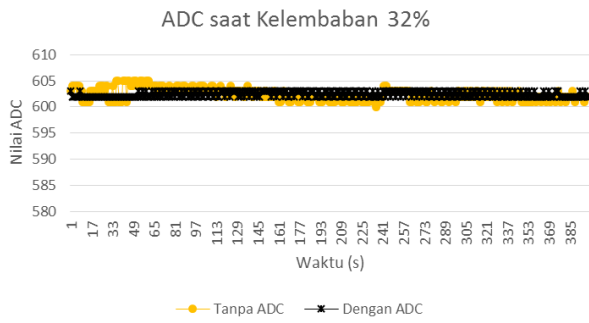
Gambar 7. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 0%



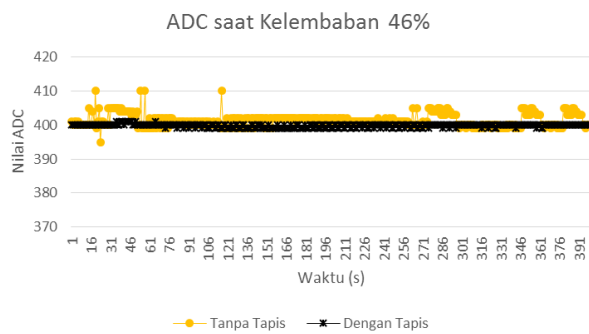
Gambar 8. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 15%



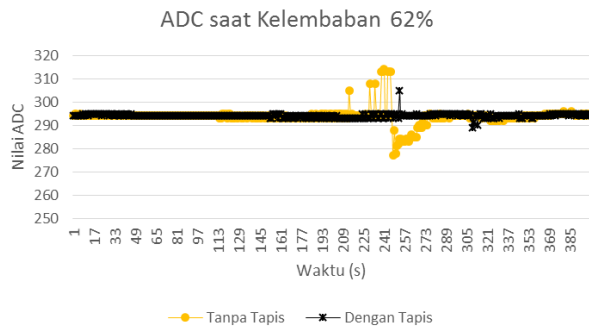
Gambar 9. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 20%



Gambar 10. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 32%



Gambar 11. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 46%



Gambar 12. Hasil Pengujian Tapis pada Sensor Kelembaban Tanah saat 62%

3.2. Pengujian Tapis Komplementer

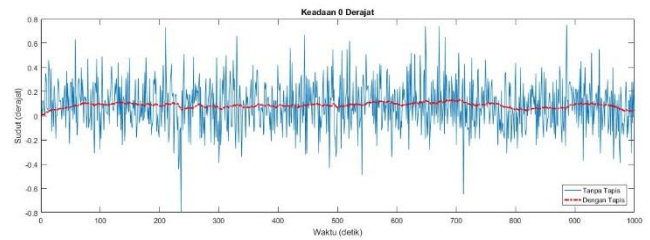
Pengujian tapis komplementer dilakukan dengan melakukan pengujian pembacaan sudut kemiringan objek dengan variasi sudut 0°, 30°, 60° dan 90° yang bertumpu pada sumbu X. Nilai *error* dari hasil pengujian didapatkan dengan mengurangi nilai sudut referensi dengan rata-rata sudut objek. Nilai *error* yang didapatkan merupakan hasil rata-rata setelah dilakukan pengambilan selama 5 menit dimana tiap data terikirm meimiliki waktu tunda selama 0,2 detik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tapis Komplementer pada Sudut Kemiringan

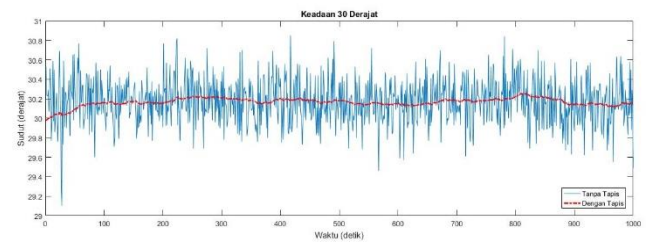
No	Sudut Referensi (°)	Sudut Roll Objek (°)		Error (°)	
		Tanpa Tapis	Dengan Tapis	Tanpa Tapis	Dengan Tapis
1	0	0,0836	0,806	0,166	0,0806
2	30	30,168	30,161	0,227	0,1614
3	60	60,019	60,017	0,204	0,0261
4	90	90,058	90,057	0,228	0,059
Rata-rata error				0,206	0,0817

Pada Tabel 2 disajikan rata-rata *error* pada pembacaan sudut *roll* pada objek pada kondisi tanpa menggunakan tapis memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan kondisi menggunakan tapis yaitu sebesar 0,206° dan 0,0817°. Hal ini menunjukkan bahwa tapis komplementer yang diimplementasikan pada objek telah berfungsi dengan baik.

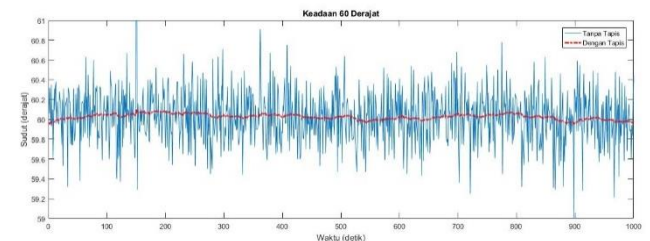
Hal ini menunjukkan bahwa tapis komplementer yang diimplementasikan pada objek telah berfungsi dengan baik. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15, dan Gambar 16.



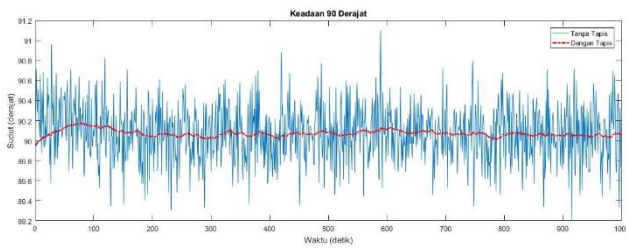
Gambar 13. Pengujian pada sudut 0°



Gambar 14. Pengujian pada sudut 30°



Gambar 15. Pengujian pada sudut 60°



Gambar 16. Pengujian pada sudut 90°

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan tapis pelewat rendah untuk pengukuran kelembaban tanah dengan sensor kelembaban FC-28 dapat mengurangi nilai rata-rata *error* bacaan ADC dari 1,16 pada kondisi sebelum menggunakan tapis hingga 0,5 setelah menggunakan tapis. Sedangkan penggunaan tapis komplementer untuk pengukuran sudut *roll* kemiringan benda dengan sensor MPU6050 dapat mengurangi nilai rata-rata *error* bacaan dari $0,206^\circ$ pada kondisi sebelum menggunakan tapis hingga $0,0817^\circ$ pada kondisi sesudah menggunakan tapis komplementer. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan tapis pelewat rendah dengan orde yang lebih tinggi atau menggunakan tapis jenis lain agar hasil dari penyaringan keluaran sensor dapat lebih baik lagi pada sensor kelembaban FC-28

Referensi

- [1]. E. Elnahrawy, "Cleaning and Querying Noisy Sensors," in *WSNA '03 Proceedings of the 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications*, 2003, pp. 78–87.
- [2]. Measurement Computing, *Data Acquisition Handbook*, 3rd ed. Measurement Computing Corporation, 2004.
- [3]. B. Alexander, T. Ivan, and B. Denis, "Analysis of noisy signal restoration quality with exponential moving average filter," in *International Siberian Convergence on Control and Communications (SIBCON)*, 2016, pp. 0–3.
- [4]. H. Tajiri and Teruhisa Kumano, "Input Filtering of MPPT Control by Exponential Moving Average in Photovoltaic System," in *IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)*, 2012, no. December, pp. 2–5.
- [5]. E. Widiarto and A. Jamaah, "Perancangan Low Pass RC Filter untuk Mereduksi Harmonik pada Lampu Hemat Energi (LHE) 20W," pp. 129–135.
- [6]. S. Solution, I. Accelerometer, G. Measurements, B. Platform, S. Colton, and C. Delphi, "The Balance Filter," 2007.
- [7]. M. A. Akbar and A. Hidayatno, "PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK PENDETEKSI SUDUT DAN POSISI MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA 32," *Transmisi*, vol. 16, no. 1, pp. 49–53, 2014.
- [8]. K. Nirmal *et al.*, "Noise Modeling and Analysis of an IMU-based Attitude Sensor: Improvement of Performance by Filtering and Sensor Fusion," 2016.
- [9]. H. G. Min and E. T. Jeung, "Complementary Filter Design for Angle Estimation using MEMS Accelerometer and Gyroscope 2 Some problems in experiment," pp. 1–11.
- [10]. D. D. Quoc, J. Sun, V. N. Le, and N. N. Tan, "Sensor Fusion based on Complementary Algorithms using MEMS," *Int. J. Signal Process. Image Process. pattern Recognit.*, vol. 8, no. 2, pp. 313–324, 2015.
- [11]. A. P. Wijaya, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "PERANCANGAN SELF BALANCING PITCH CONTROL DENGAN METODE KONTROL FUZZY PADA UNMANNED AERIAL VEHICLE FIXED WING," *TRANSMISI*, vol. 17, no. 4, 2015.
- [12]. R. Nurfansyah and B. Setiyono, "ESTIMASI SUDUT ORIENTASI BENDA MENGGUNAKAN SENSOR 6 DOF IMU DAN SENSOR MAGNETOMETER 3 AKSIS Metode," *TRANSIENT*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [13]. C. Paper and S. Yuliani, "Kolaborasi Kalman Filter dengan Complementary Filter untuk Mengoptimasi Hasil Sensor Gyroscope dan Accelerometer," in *Seminar Nasional ITENAS*, 2016, no. November.
- [14]. W. T. Higgins, "A Comparison of Complementary and Kalman Filtering," vol. 1975, no. 3, pp. 321–325, 1975.