

Prosiding Seminar Nasional
ADIWIDYA7
Pascasarjana

Perspektif Berbagai Bidang Ilmu dalam
Menghadapi Perkembangan Inovasi Teknologi
di Era Industri 4.0

Bandung, 1 November 2019



KATA PENGANTAR

*Bimillahirrohmanirrahim
Assalamualaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillah segala puja dan puji syukur kami haturkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga buku Prosiding Seminar Nasional Adiwidya 7 Pascasarjana ITB ini, akhirnya berhasil diterbitkan. Prosiding ini, merupakan kumpulan makalah yang disajikan di dalam rangkaian acara *Call for Paper* (CFP) yang mengambil tema: **“Perspektif Berbagai Bidang Ilmu dalam Menghadapi Perkembangan Inovasi Teknologi di Era Industri 4.0”** yang diselenggarakan pada tanggal 01 November 2019 di Aula Sipil (AISI), kampus ITB Bandung.

CFP ini merupakan salah satu rangkaian agenda acara Adiwidya 7 yang disinergikan dengan agenda Seminar Nasional dan Diskusi Panel (Sendipa). Adiwidya merupakan suatu wadah yang dapat menjadi sarana untuk menerbitkan hasil karya mahasiswa pascasarjana dalam bentuk prosiding paper penelitian dan dapat menjadi media pencerdasan masyarakat umum terkait isu revolusi industri 4.0. Harapan kami dari Adiwidya 7 ini dapat menumbuhkan kesadaran masyarakat dunia dan masyarakat Indonesia pada khususnya mengenai revolusi industri 4.0 untuk kemajuan peradaban suatu bangsa.

Tujuan dari kegiatan ini dalam rangka, menghidupkan budaya akademisi dan literasi bagi mahasiswa, juga dengan harapan dapat meningkatkan kontribusi para mahasiswa pascasarjana dalam upaya menciptakan dan melakukan inovasi dalam bidang sains dan teknologi di era industri 4.0 ini untuk membawa Negara Kesatuan Republik Indonesia menjadi negara yang maju di kancah internasional.

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh penulis yang telah menyumbangkan karyanya, juga kepada seluruh panitia Adiwidya 7 KAMIL pascasarjana ITB secara umum yang sudah bekerja keras merencanakan, mempersiapkan dan melaksanakan acara seminar ini dengan penuh keikhlasan. Juga khususnya kepada tim *Call for Paper* (CFP) yang sudah bekerja keras agar naskah dapat terbit memenuhi kaidah penulisan ilmiah dan ejaan bahasa Indonesia yang disempurnakan dan dari sisi tampilan yang disajikan secara menarik.

Kami mohon maaf, jika dalam penerbitan prosiding ini terdapat kekurangan dan kekeliruan, kepada Allah kami mohon ampun. Kami berharap, semoga prosiding ini memberikan banyak manfaat untuk masyarakat.

Bandung, 20 Maret 2020
Adiwidya 7 2019,

Moh. Ali
Ketua Pelaksana




SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Editor Kepala : Aditya Firman Ihsan
Editor Pelaksana : Jasmine Chanifah Uzdah Bachtiar
Dewan Editor : Nurul Aisyah Salman, Jessica Olifia
Asisten Editor : Baiq Ulfana Syabila, Abdurrahman Adam

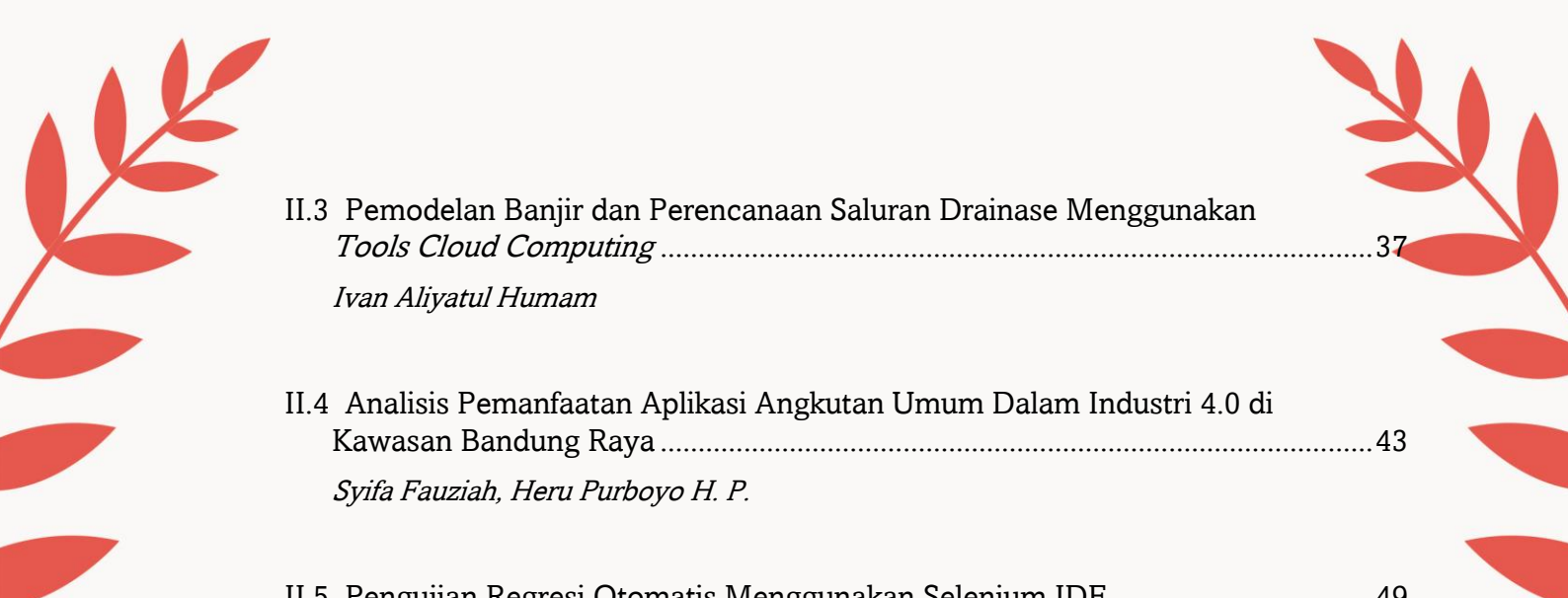
Layout : Ummi Nur Asyifah Bahmi, Putri Faradilla, Hafi Auliya Nurhayati
Desain sampul : Hesti Rosita Dwi Putri
Staf Redaksi : A. Iin Nindy Karlinda K., Arfa Izzati, Arif Efendi, Atika Rahmawati, Helfa Rahmadyani, Jehan Faradika, Nanik Aryani Putri, Togi Haidat Manggara, Zulhendra
Distribusi : Yeni Saro Manalu, Mutiara Qalbi Pebrian

Alamat Redaksi : KAMIL Pasca Sarjana ITB
Gedung Kayu lt.2, Kompleks Masjid Salman ITB, Jalan Ganesha
No.10 Bandung 40132




DAFTAR ISI

Chapter I BIOTEKNOLOGI	1
I.1 Analisis Bioinformatika interaksi Protein Tirosin Fosfatase A (PtpA) dengan Asam Lemak Trans-2-Eikosenoat	1
<i>Baiq Repika Nurul Furqan, Imam Syahputra Yamin</i>	
I.2 <i>Biorefinery</i> Industri Sawit Nasional dalam Upaya Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Sawit (TKS) sebagai Bahan Baku Xilitol	5
<i>Abdurrahman Adam, Shelvi Putri Ayu, Muhammad Hanief Auliya Lukman</i>	
I.3 Strategi Sintesis dan Peningkatan Kadar Zat Aktif Pada Tanaman Kumis Kucing (<i>Orthosiphon aristatus (Blume)</i> Miq. dengan Rekayasa Genetik.....	11
<i>Fahrauk Faramayuda, Sukrasno, Elfahmi</i>	
I.4 Karakterisasi Taksonomi dan Substrat Alami <i>Phythium vexans</i> Sebagai Potensi Sumber Pangan Protein	19
<i>Istikoyah, I Nyoman Pugeg Aryantha</i>	
Chapter II ELEKTRO DAN INFORMATIKA	27
II.1 Sistem Monitoring Kualitas Produksi PT. XYZ Berbasis <i>Internet of Things</i>	27
<i>Mulyani Pratiwi, Teguh Raharjo, Mochammad Aldi Kushendriawan, Kevin Chandra Abimaulana</i>	
II.2 Kecerdasan Buatan untuk Rekognisi Audio Alat Musik Berbasis <i>Ciri Mel Frequency Cepstral Coefficient</i> (MFCC)	33
<i>Sinta, Yokanan Wigar Satwika, Miranti Indar Mandasari</i>	



II.3	Pemodelan Banjir dan Perencanaan Saluran Drainase Menggunakan <i>Tools Cloud Computing</i>	37
	<i>Ivan Aliyatul Humam</i>	
II.4	Analisis Pemanfaatan Aplikasi Angkutan Umum Dalam Industri 4.0 di Kawasan Bandung Raya	43
	<i>Syifa Fauziah, Heru Purboyo H. P.</i>	
II.5	Pengujian Regresi Otomatis Menggunakan Selenium IDE.....	49
	<i>Dwi Ilham Prabowo, Hanson Prihantoro Putro</i>	
II.6	Perbandingan Filter Digital pada <i>Accelerometer</i> untuk Mengoptimalkan Pengukuran Sudut <i>Pitch</i> dan <i>Roll</i>	55
	<i>Adidin Aidin Maulana, Hendri Maja Saputra, Abdurrahman Nurhakim</i>	
Chapter III SOCIAL SCIENCE		63
III.1	<i>Social Impact in Digital Economic Era to Improving Coffee Production at Temanggung District</i>	63
	<i>Fajar Abdurrafi</i>	
III.2	Konseptualisasi Aplikasi Chatbot sebagai Kanal Interaksi Layanan Pemerintah di Era Industri 4.0	71
	<i>Arfive Gandhi</i>	
III.3	Masyarakat Pasca-Literasi sebagai Fenomena Baru Revolusi Digital	77
	<i>Aditya Firman Ihsan</i>	
III.4	Menyoal Tawaran Revolusi Industri 4.0 pada Interaksi Manusia dan Teknologi, Sebuah Kajian Kritis	85
	<i>Aditya Firman Ihsan, Muhammad Suryo Panotogamo Abi Suroso</i>	



Perbandingan Filter Digital Pada *Accelerometer* untuk Mengoptimalkan Pengukuran Sudut *Pitch* dan *Roll*

Adidin Aidin Maulana¹, Hendri Maja Saputra², Abdurrahman Nurhakim³

¹Departemen Teknik Elektro Universitas Komputer Indonesia
Jl. Dipati Ukur No.112-116, Lebakgede, Cobleng, Kota Bandung
Email : m.adidinaidin@gmail.com

²Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Jl. Cisit, No.21/154D, Bandung 40135, Indonesia (022) 2503055
Email : hendri.maja@gmail.com

³Departemen Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H Nasution 105 Cibiru Bandung
Email : abdurrahmannurhakim@gmail.com

ABSTRAK

This paper discusses the comparison of digital filters on the accelerometer sensor data to optimize pitch and roll angle measurements from the Inertial Measurement Unit (IMU) system. The accelerometer sensor can be applied to several fields of technology such as robot balancing, advanced surgical tools, navigation systems, attitude-control systems, and others. The accelerometer sensor used in this research is an MPU6050, which includes an accelerometer and a gyroscope sensor. Raw data on the accelerometer sensor is not optimal, so it needs a digital filter to reduce the noise (noise). There are six types of digital filters compared to this research which are low pass filter, average filter, Kalman filter, Finite Impulse Response (FIR), Hanning filter, and exponential filter. To get an optimal variable value (constant) on each filter, It uses a "try and error" method on the accelerometer sensor. The experiment is done by rotating the accelerometer sensor with a reference angle of 0-45 degrees using the Rotary Table. Based on test results, the Kalman filter is the most optimal digital filter for filtering accelerometer data.

Keywords : *Pitch, Roll, MPU 6050, Digital Filter, Accelerometer, Gyroscope.*

ABSTRAK

Makalah ini membahas perbandingan filter digital pada data sensor *accelerometer* untuk mengoptimalkan pengukuran sudut *pitch* dan *roll* dari sistem *Inertial Measurement Unit* (IMU). Sensor *accelerometer* dapat diaplikasikan pada beberapa bidang teknologi seperti *robot balancing*, *advanced surgical tools*, sistem navigasi, *attitude-control systems*, dan lain-lain. Sensor *accelerometer* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe MPU6050, dimana didalamnya terdapat sensor *accelerometer* dan *gyroscope*. Data mentah pada sensor *accelerometer* belum optimal, sehingga dibutuhkannya filter digital yang mampu merendam derau (*noise*). Adapun filter digital yang dibandingkan pada penelitian ini sejumlah enam jenis, antara lain *low pass filter*, *average filter*, *Kalman filter*, *Filter Finite Impulse Response* (FIR), *Hanning filter*, dan *exponential filter*. Pengujian dilakukan dengan cara "try and error" langsung pada sensor *accelerometer* untuk mendapatkan nilai variabel (konstanta) yang optimal pada masing-masing filter. Pengujian dilakukan dengan memutar sensor *accelerometer* dengan sudut referensi 0-45 derajat menggunakan *Rotary Table*. Berdasarkan hasil pengujian, Kalman filter merupakan filter digital yang paling optimal untuk digunakan memfilter data *accelerometer*.

Kata kunci : *Pitch, Roll, MPU 6050, Filter Digital, Accelerometer, Gyroscope.*

Kontak Penulis

Adidin Aidin Maulana

* Mahasiswa Departemen Teknik Elektro Universitas Komputer Indonesia

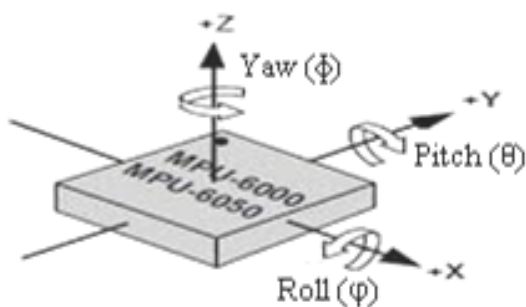
Jl. Dipati Ukur No.112-116, Lebakgede, Cobleng, Kota Bandung

Tel : +6287826729003

E-mail : m.adidinaidin@gmail.com

1. Pendahuluan

Beberapa bidang teknologi khususnya sistem yang membutuhkan keseimbangan mensyaratkan adanya sistem inersia yang diterapkan pada perangkat seperti robot *balancing*, *advanced surgical tools*, sistem navigasi dan *attitude-control systems*. *Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan salah satu sensor yang dapat digunakan pada sistem inersia tersebut. Sudut pitch merupakan sudut rotasi putaran terhadap sumbu-Y, sedangkan sudut roll merupakan sudut rotasi putaran terhadap sumbu-X (Łuczak, DKK, 2006). Sensor IMU yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe MPU6050, di mana di dalam MPU6050 terdapat sensor *accelerometer* dan *gyroscope* (InvenSense Inc, 2010). Gambar 1 menunjukkan ilustrasi sudut orientasi dari sensor MPU6050.



Gambar 1. Ilustrasi Sudut Orientasi dari MPU6050

Secara sederhana, sudut orientasi *roll* merupakan sudut rotasi yang berputar terhadap sumbu-x, sudut orientasi *pitch* merupakan sudut rotasi yang berputar terhadap sumbu-y, sedangkan sudut orientasi *yaw* merupakan sudut rotasi yang mengelilingi sumbu-z. Sensor ini merupakan gabungan 6-Axis yang terdiri dari 3-Axis Accelerometer (A_x, A_y, A_z), dan 3-Axis Gyroscope (G_x, G_y, G_z). Pada umumnya setiap sensor memiliki antara dua hingga tiga derajat kebebasan (3-DoF) yang di tentukan untuk ketiga sumbu. Data mentah pada sensor tersebut masih terdapat *noise*, sehingga persamaan filter digital dibuat untuk membantu mengurangi *noise* pada data sensor tersebut (Zhao, DKK, 2013).

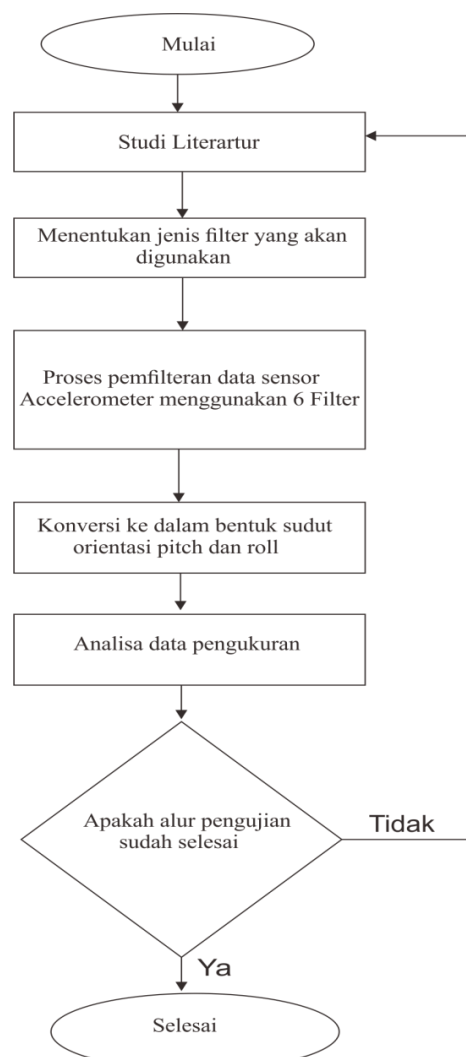
Penelitian terkait sensor Inertial Measurement Unit (IMU) telah banyak dilakukan, salah satunya makalah Chang, J, dimana sebuah Algoritma *Smooth Sliding Mode* (SSH) dapat memberikan estimasi sudut *pitch* dan *roll* yang handal di bawah asumsi gangguan (Chang, DKK, 2016). Persamaan filter digital *complementary filter*, *average filter*, dan Kalman filter digunakan untuk memfilter data sensor IMU (Q., Wei, & Xu, 2017). Algoritma *complementary filter* menggunakan menggabungkan data *pitch* dan *roll* dari sensor *accelerometer* dengan data *pitch* dan *roll* sensor *gyroscope*, sementara Kalman filter mengambil sudut kemiringan dan bias *gyroscope* sebagai status sistem untuk memperkirakan sudut kemiringan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui respon sudut kemiringan setelah difilter menggunakan beberapa metode filter digital lalu di konversi ke data sudut, tahap terakhir di uji coba pengambilan data sensor diputar dari 0 - 45° dengan menggunakan *rotary*. Setiap filter akan dibandingkan dengan akurasi dan respon hasilnya dapat diketahui metode filter apa yang paling optimal. Beberapa filter perlu ditentukan nilai parameter dan frekuensinya tergantung kebutuhan.

Pada penelitian ini, beberapa filter digital yaitu *low pass filter*, *average filter*, Kalman filter, *finite impulse response* (FIR), *hanning filter*, dan *Exponential filter* dibandingkan supaya dapat ditemukan jenis filter yang paling optimal untuk memfilter data sensor accelerometer.

2. Metodologi Penelitian

Pengerjaan penelitian dilakukan secara bertahap. Gambar 2 memaparkan metodologi penelitian yang digunakan secara keseluruhan.



Gambar 2. Alur Penelitian.

Alur penelitian dimulai dengan membaca data mentah dari

sensor *accelerometer*, kemudian data mentah tersebut difilter menggunakan enam filter digital. Selanjutnya data yang telah difilter dikonversi ke dalam bentuk sudut *pitch* dan *roll*. Hasil pengukuran sudut kemudian dibandingkan untuk mendapatkan filter yang paling optimal.

Pada penelitian ini, terdapat enam filter yang digunakan untuk memfilter data sensor *accelerometer*, yaitu *low pass filter*, *average filter*, *Kalman filter*, *finite impulse response (FIR)*, *hanning filter*, dan *Exponential filter*. Pengujian pertama dilakukan terhadap *low pass filter*. *Lowpass filter* merupakan suatu filter digital yang melewatkan sinyal frekuensi rendah dan menghambat frekuensi tinggi. Filter *lowpass* adalah cara yang baik untuk menghilangkan *noise* (baik mekanis dan listrik) dari sensor *Accelerometer* (Seifert, & Camacho, 2007). Respon filter sangat berpengaruh terhadap perubahan parameter yang di tentukan sesuai kebutuhan pada filter ini. Bagian parameter yang akan di ubah yaitu nilai *alpa* pada filter *low pass filter*. Berikut persamaan filter *low pass* yang akan di tampilkan pada persamaan (1).

$$y_i = ax_i + (1 - a) y_{i-1} \quad (1)$$

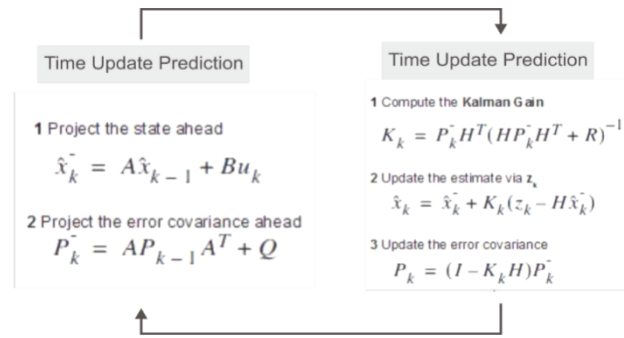
dimana x_i adalah data mentah *accelerometer*, y_i adalah data yang telah difilter, dan a adalah nilai *alpha*.

Filter digital kedua yang dipakai pada penelitian ini adalah *average filter*. *Average filter* bekerja dengan menghitung nilai rata-rata secara *real time* untuk mendapatkan data yang optimal (Redhyka, DKK, 2016). Pada penggunaannya, fungsi diskrit berjumlah n dibagi dengan nilai n itu sendiri. Pada penelitian ini nilai ditentukan nilai $n = 4$ (Nurhakim, 2018). Secara sederhana persamaan *average filter* dipaparkan pada persamaan (2).

$$a_{n+1} = \frac{1}{n} \sum_{n=1} a_n \quad (2)$$

dimana a_n merupakan data mentah ke- n dan a_{n+1} adalah nilai yang telah difilter

Percobaan selanjutnya dilakukan menggunakan Kalman Filter yang merupakan sebuah filter penduga diskrit variable dari sistem dinamis kontinu. Filter tersebut biasa digunakan untuk penyaringan dan pengkondisian sinyal dalam sistem navigasi (Kownacki, 2011). Kalman filter memiliki dua langkah yaitu memperbarui dan memprediksi, langkah untuk memprediksi data kalman filter dengan memprediksi perkiraan data. Pada pengujian filter kalman tersebut di *setting* parameter sesuai dengan kebutuhan. Nilai parameter yang akan di *seting* yaitu gain, nilai gain tersebut akan di uji untuk mengetahui mana yg lebih optimal untuk data sensor *accelerometer* pada filter tersebut. persamaan filter Kalman di tampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Persamaan Filter Kalman

Percobaan selanjutnya dilakukan terhadap filter *Finite Impulse Response (FIR)*. Filter FIR merupakan salah satu filter yang mempunyai respon impluse dari sistem LTI memiliki durasi yang berhingga, filter FIR memiliki tanggapan impuls yang panjangnya terbatas dan tidak memiliki *pole* sehingga kestabilannya dapat dijamin. Untuk mengoptimalkan data sensor menggunakan filter FIR, hal yang perlu di perhatikan yaitu *setting* nilai koefisien yang terdapat pada nilai b_k pada filter, nilai b_k tersebut merupakan nilai *trial in eror* yang akan di coba memasukan nilai satu persatu. Berikut persamaan filter FIR.

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k [n - k] \quad (3)$$

dimana $b_k[n]$ merupakan data mentah ke- n dan $y[n]$ adalah nilai yang telah difilter

Percobaan selanjutnya dilakukan terhadap *Hanning filter*. *Hanning filter* merupakan salah satu dari jenis dari filter digital yang digunakan pada penelitian ini (Riau & Saputra, 2016). Persamaan (4) berikut memaparkan persamaan *Hanning filter*.

$$y[k] = \frac{1}{4}(x[k] + a_h) \times (x[k] - 1) + (x[k] - a_h) \quad (4)$$

dimana $x[k]$ merupakan data mentah sebelum difilter, $y[k]$ merupakan data yang telah difilter, dan a_h merupakan konstanta *alpha*.

Percobaan terakhir dilakukan terhadap *Exponential filter*. *Exponential filter* merupakan salah satu jenis filter digital yang berjenis filter rekursif linear (Vidi Rahman Alma 2016). Persamaan (5) memaparkan persamaan *Exponential filter* yang digunakan pada penelitian.

$$y(t) = (1 - a_{ek}) \times y(t - 1) + a_{ek}x(t) \quad (5)$$

dimana $x(t)$ adalah data mentah *accelerometer*, $y(t)$ adalah data ke- t yang telah difilter, dan a_{ek} adalah nilai *alpha*.

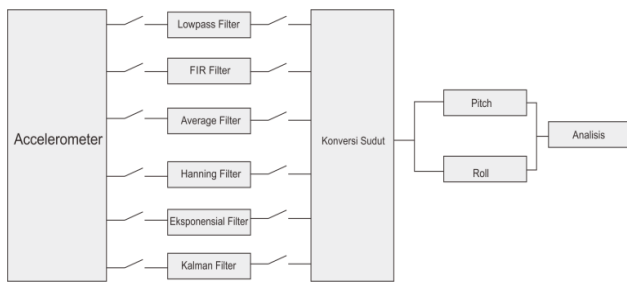
Setelah mengalami proses pemfilteran, data *accelerometer* kemudian dikonversi ke dalam bentuk sudut orientasi *pitch* dan *roll*. Persamaan (6) dan persamaan (7) berikut memaparkan perhitungan sudut orientasi *pitch* dan *roll*.

$$\theta = \tan^{-1}(a_y, a_z) \tag{6}$$

$$\phi = \tan^{-1}(a_x, a_z) \tag{7}$$

dimana a_y merupakan nilai *accelerometer* sumbu-x, a_x merupakan nilai *accelerometer* sumbu-y, a_z merupakan nilai *accelerometer* sumbu-z, θ merupakan nilai *pitch*, dan ϕ merupakan nilai *roll*.

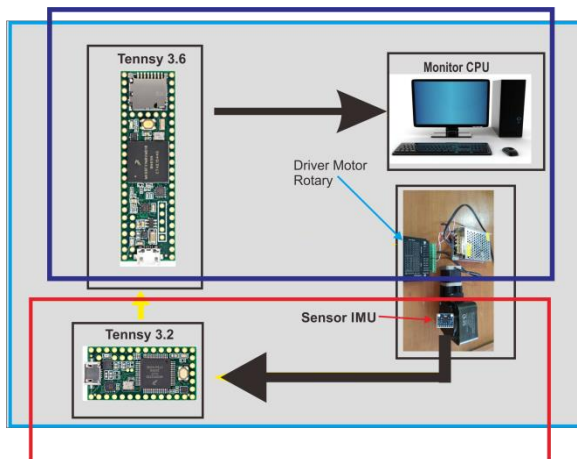
Secara sederhana seluruh alur pengujian dipaparkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Blok Diagram Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan enam filter digital, yang akan dibandingkan yaitu setiap filter yang digunakan dan di konversi menjadi data *pitch* dan *roll*, kemudian dianalisis nilai akurasi dan responnya.

Pada penelitian ini, pengujian menggunakan rotary table yang merupakan simulator putaran sudut orientasi. Gambar 5 memaparkan *set-up* pengujian pada penelitian ini.



Gambar 5. Set-up Pengujian

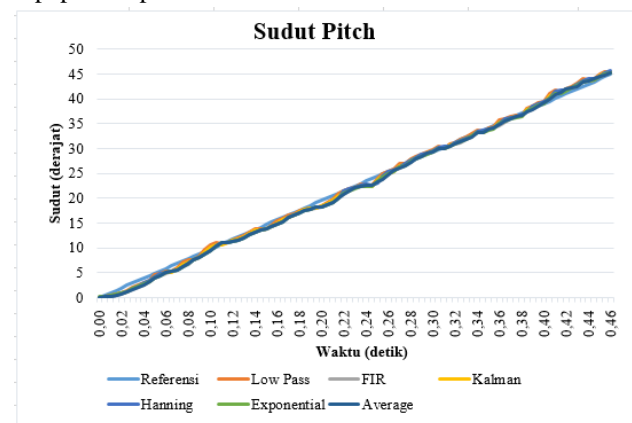
Berdasarkan pada Gambar 5, terdapat dua jenis mikrokontroler yang digunakan yaitu Teensy 3.2 dan Teensy 3.6. Teensy 3.2 difungsikan untuk membaca data mentah dari sensor IMU melalui komunikasi I2C. Semua proses pemfilteran dan konversi dilakukan di dalam Teensy 3.2. Adapun Teensy 3.6 difungsikan untuk menggerakkan *rotary table*. Rotary table merupakan simulator pergerakan sudut orientasi *pitch* dan *roll* yang bekerja dengan motor stepper. Pengujian dilakukan

dengan menjalankan rotary table dengan sudut putaran 0-45° karena pengujian parameter 0 - 45° termasuk ideal untuk mengukur akurasi dan respon. Data yang telah dikonversi di dalam Teensy 3.2 kemudian ditampilkan pada monitor.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini, dilakukan pengujian respon dan akurasi filter terhadap sudut *pitch* dan sudut *roll*, dimana pengujian grafik respon untuk semua jenis filter. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan filter saat diterapkan pada pengukuran sudut orientasi *pitch* dan *roll*.

Pada pengujian pertama, semua filter dicoba pada rotasi sudut *pitch* untuk melihat respon yang terjadi dengan parameter konstanta yang dipilih berdasarkan pertimbangan tingkat optimal. Grafik respon sudut *pitch* dipaparkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Respon Sudut Pitch.

Selanjutnya akan dipaparkan tabel hasil pengujian respon sudut *pitch*, dimana data pada tabel yang ditandai dengan warna kuning adalah data yang unggul diantara pengujian rotasi sudut *pitch*. Gambar tabel tersebut akan di tampilkan pada Gambar 9.

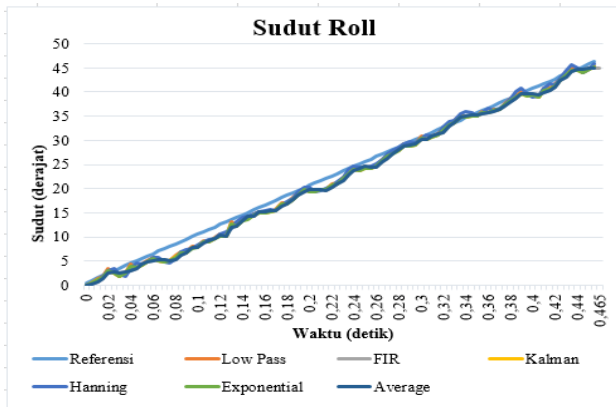
Pengujian Sudut Pitch						
Filter Digital	LPF	FIR	KF	HF	EF	Average
Kesalahan Rata-Rata	1,807	1,955	1,891	2,140	1,909	1,955
Delay	0,010	0,010	0,013	0,013	0,010	0,010
Rise Time	0,460	0,465	0,460	0,460	0,460	0,465

Gambar 9. Tabel hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, *low pass filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,807% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, filter FIR memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,955% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,465 detik, Kalman filter memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,891% dengan waktu delay respon sebesar 0,013 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, *Hanning filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 2,140% dengan waktu delay respon sebesar 0,013 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, *exponential filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,909% dengan waktu delay respon

sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, sedangkan *average filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,955% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,465 detik, sedangkan *average filter*. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa *low pass filter*, dan *exponential filter* cenderung memiliki respon yang lebih cepat. Adapun filter dengan akurasi terbaik adalah *low pass filter* dengan persentase *error* 1,807% dan Kalman filter dengan persentase *error* sebesar 1,891%.

Pada pengujian selanjutnya, semua filter dicoba pada rotasi sudut *roll* untuk melihat respon yang terjadi pada data yang telah difilter. Grafik respon sudut *roll* dipaparkan pada pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Respon Sudut Roll.

Berikut tabel hasil pengujian rotasi sudut roll, dimana data pada tabel yang ditandai dengan warna kuning adalah data yang unggul diantara pengujian rotasi sudut *roll*. Tabel tersebut akan ditampilkan pada Gambar 11.

Pengujian Sudut Roll						
Filter Digital	LPF	FIR	KF	HF	EF	Average
Kesalahan Rata-Rata	1,518	1,250	1,234	1,317	1,217	1,259
Delay	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,010
Rise Time	0,460	0,465	0,460	0,460	0,460	0,460

Gambar 11. Tabel pengujian sudut roll

Berdasarkan hasil pengujian, *low pass filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,518% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, filter FIR memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,250% dengan waktu delay respon sebesar 0,013 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,465 detik, Kalman filter memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,234% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, *Hanning filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,317% dengan waktu delay respon sebesar 0,013 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, *exponential filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,217% dengan waktu delay respon sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, sedangkan *average filter* memiliki nilai persentase kesalahan sebesar 1,259% dengan waktu delay respon

sebesar 0,01 detik dan nilai *rise time* sebesar 0,46 detik, sedangkan *average filter*. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa *low pass filter*, Kalman filter, *exponential filter*, *average filter* cenderung memiliki respon yang lebih cepat. Adapun filter dengan akurasi terbaik adalah *exponential filter* dengan persentase *error* 1,217% dan Kalman filter dengan persentase *error* sebesar 1,234%.

Berdasarkan hasil pengujian dari sudut *pitch* dan *roll* dapat disimpulkan bahwa Kalman filter menjadi filter yang lebih optimal digunakan karena Kalman memiliki akurasi dan respon yang cukup baik pada kedua pengujian.

4. Kesimpulan

Pada pegujian sudut pertama *low pass filter*, dan *exponential filter* cenderung memiliki respon yang lebih cepat. Adapun filter dengan akurasi terbaik adalah *low pass filter* dengan persentase *error* 1,807% dan Kalman filter dengan persentase *error* sebesar 1,891%. Pada pengujian kedua, *low pass filter*, Kalman filter, *exponential filter*, *average filter* cenderung memiliki respon yang lebih cepat. Adapun filter dengan akurasi terbaik adalah *exponential filter* dengan persentase *error* 1,217% dan Kalman filter dengan persentase *error* sebesar 1,234%. Berdasarkan hasil pengujian dari sudut *pitch* dan *roll* dapat disimpulkan bahwa Kalman filter menjadi filter yang lebih optimal digunakan karena filter kalman merupakan filter yang handal untuk digunakan pada suatu sistem, sehingga memiliki akurasi dan respon yang cukup baik pada kedua pengujian *pitch* dan *roll*.

Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah bersyukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. Segala nikmat yang telah diberikan terutama kesehatan sehingga penulis bisa berkesempatan menyusun makalah ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada nabi besar Muhammad *Shallallahu 'Alaihi wa Sallam*. Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih sebanyak-banyaknya kepada penyelenggara acara CFP ADIWIDYA 7 Pascasarjana Institut Teknologi Bandung (ITB), sehingga memiliki kesempatan untuk mempublikasikan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kepala Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mengizinkan untuk magang kerja ditempat tersebut, selain itu kami berterima kasih pula dengan para anggota di kelompok penelitian otomasi industri yang turut memberikan motivasi dan bimbingan, serta kepada teman-teman sesama *research assistant* yang telah memberikan semangat belajar yang kondusif.

Daftar Pustaka

- Luczak, S., Oleksiuk, W., & Bodnicki, M. (2006). Sensing tilt with MEMS accelerometers. *IEEE Sensors Journal*, 6(6), 1669–1675. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2006.881433>
- InvenSense Inc.,” 24 11 2010. [Online]. Available: <http://www.invensense.com>.
- Zhao, H., Hu, S., Li, L., & Wan, X. (2013). NLMS adaptive FIR filter design method. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, (61006022).
- Chang, J., Cieslak, J., Zolghadri, A., Dávila, J., & Zhou, J. (2016). Design of sliding mode observers for quadrotor pitch/roll angle estimation via IMU measurements. *2015 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems, RED-UAS 2015*, 393–400. <https://doi.org/10.1109/RED-UAS.2015.7441032>
- He, Q., Wei, C., & Xu, Y. (2017). An improved adaptive Kalman filtering algorithm for balancing vehicle. *Proceedings - 2017 Chinese Automation Congress, CAC 2017, 2017-January*, 5721–5725. <https://doi.org/10.1109/CAC.2017.8243804>
- Seifert, K., & Camacho, O. (2007). Implementing positioning algorithms using accelerometers. *Freescale Semiconductor*, 1–13. Retrieved from http://perso-etis.ensea.fr/~pierandr/cours/M1_SIC/AN3397.pdf
- Redhyka, G. G., Setiawan, D., & Soetraprawata, D. (2016). Embedded sensor fusion and moving-average filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the microcontroller-based stabilized platform. *Proceedings of the 2015 International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology, ICACOMIT 2015*, 72–77. V.
- Nurhakim, A. (2018). Modified Fourth-Order Runge-Kutta Method Based on Trapezoid Approach. *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 1–5.
- Kownacki, C. (2011). Optimization approach to adapt Kalman filters for the real-time application of accelerometer and gyroscope signals’ filtering. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 21(1), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2010.09.00>
- Riau, P. C., & Saputra, H. M. (2016). *Perbandingan Average Filter dengan Hanning Filter pada Pengolahan Sinyal Load Perbandingan Average Filter dengan Hanning Filter pada Pengolahan Sinyal Load Cell*. (November).
- Vidi Rahman Alma, Wahyudi M.T, I. S. M. . (2016). *Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi*. (March).