

Implementasi *Complementary Filter* Menggunakan Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* pada Keseimbangan Gerak Robot *Humanoid*

Hafizhuddin Zul Fahmi¹, Rizal Maulana², Wijaya Kurniawan³

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹hafizhuddin4@gmail.com, ²rizal_lana@ub.ac.id, ³wjaykurnia@ub.ac.id

Abstrak

Dunia robotika saat ini tengah berkembang, banyak robot diciptakan untuk membantu pekerjaan manusia dalam melakukan kegiatan keseharian. Berbagai jenis robot telah diciptakan, salah satunya jenis robot menyerupai tubuh manusia (*humanoid*). Robot *humanoid* berkembang di banyak negara termasuk di Indonesia. Dalam pengembangannya, teknik berjalan merupakan faktor utama dalam pembuatan robot *humanoid*. Robot *humanoid* memiliki kemampuan berjalan layaknya manusia dengan menyeimbangkan posisi tubuh saat berjalan agar tidak terjatuh. Dalam menjaga keseimbangan tersebut, diperlukan sistem pendeteksi kemiringan posisi robot dan sistem penyeimbang saat robot akan jatuh. Maka untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan implementasi dengan menggunakan metode *complementary filter* pada keluaran sensor *gyroscope* dan *accelerometer* dalam meminimalisir *noise* atau gangguan nilai keluaran sensor. Sehingga keakurasian nilai keluaran sensor MPU6050 pada pendeteksi kemiringan sudut posisi dapat membantu robot dalam memberikan aksi penyeimbangan. Pengujian penelitian ini terbagi dalam empat bagian, yaitu: pengujian sensor tanpa filter, pengujian perubahan nilai *alpha* pada metode, pengujian reaksi robot terhadap masukan nilai sensor secara *realtime* dan manual. Pada pengujian perubahan nilai *alpha* didapatkan nilai *alpha* terbaik sebesar 0.96 dengan waktu *sampling* 0.04 detik. Sedangkan, pada pengujian reaksi robot terhadap nilai sensor secara *realtime* mengalami kegagalan dalam aksi penyeimbangan robot, dikarenakan CM-510 terlambat dalam menggerakkan servo untuk memberikan *motion* penyeimbang dan tidak dapat mengimbangi kecepatan pengolahan data dari Raspberry pi 3 B terhadap data sensor dengan waktu *sampling* 40 ms. Sedangkan untuk pengujian reaksi gerak robot secara manual dengan pengujian memberi gangguan dari sisi depan, belakang, kanan dan kiri didapatkan robot bisa memberikan reaksi penyeimbangan sesuai dengan yang diharapkan.

Kata kunci: *humanoid, complementary filter, motion, gyroscope, accelerometer*

Abstract

The development of robotics world is quite rapid, many robots are created not only to petrify human jobs, even robots deliberately created to replace the role of humans in their daily life. Various types of robots have been created, one of them is humanoid robot types that resembling a human body shapes. The development of humanoid robot in Indonesia is not less rapid with other countries. In the development, walking technique is a major factor in making humanoid robot. Humanoid robots are required to have the ability to walk like a human by balancing the body position when walking so as not to fall. So that required tilt position detection system robot and balancing system when the robot will fall. So to overcome these problems, this study was conducted. Research by implementing complementary filter method on gyroscope and accelerometer sensors to minimize noise or disturbance of sensor output value. So the accuracy of MPU6050 sensor output value at the angle position detector can assist the robot in giving the balancing action. Testing this research is divided into four parts, among others: testing unfiltered sensors, testing alpha value changes on the method, testing robot reaction to input sensor values in realtime and manual. According to the testing, the best alpha is 0.96 with a sampling time of 0.04 seconds. Robot reaction testing of real-time sensor values fails in robot balancing act, because CM-510 is delayed in moving the servo to provide counterbalance motion and can not keep pace with the data processing speed of Raspberry pi 3 B against sensor data with 40 ms sampling time. As for testing robot motion reaction manually with testing gives disturbance from the front, rear, right and left robots can get a balancing reaction in accordance with the expected.

Keywords: *humanoid, complementary filter, motion, gyroscope, accelerometer*

1. PENDAHULUAN

Robot adalah suatu alat yang dapat melakukan pekerjaan maupun tugas perintah dari manusia, baik dalam pengawasan atau kontrol dari manusia, maupun secara otomatis dengan memprogramnya terlebih dahulu, agar dapat berjalan tanpa kontrol dari manusia sesuai dengan harapan yang diinginkan. Istilah robot sendiri dipopulerkan oleh Issac Asimov dengan istilahnya “Robotika” pada tahun 1942 (Isom, 2002). Robot memiliki banyak jenis, dibedakan dari bentuk atau konstruksinya, contohnya robot lengan, *mobile robot*, robot terbang, robot *humanoid* dan sebagainya. Robot *humanoid* adalah robot dengan bentuk atau konstruksi menyerupai tubuh manusia. Pada saat ini banyak negara maju seperti Jepang dan Amerika berlomba-lomba membuat robot *humanoid* terbaik yang nantinya robot tersebut akan berfungsi membantu tugas manusia bahkan menggantikan manusia dalam mengerjakan tugas manusia.

Indonesia pun tidak hanya berdiam diri melihat negara lain sedang bersaing dalam mengembangkan dunia robotika, terutama robot *humanoid*. Banyak penelitian dan pengembangan telah dilakukan, salah satu masalah utama yang dihadapi oleh pengembang robot *humanoid* adalah membuat langkah atau teknik berjalan dan keseimbangan posisi saat robot tersebut bergerak atau berjalan. Terdapat beberapa solusi agar robot *humanoid* dapat berjalan dengan stabil, diambil dari beberapa penelitian sebelumnya, “Keseimbangan Robot *Humanoid* Menggunakan Sensor Gyro GS-12 dan *Accelerometer* DE-ACCM3D” (Andreas, 2012) yang hanya menggunakan modul sensor *gyroscope* dan *accelerometer* sebagai sensor dalam mendeteksi kemiringan sudut robot sehingga dapat dipantau keseimbangan posisi robot tersebut tanpa adanya filtering data keluaran sensor dan menggunakan metode PID dalam menggerakkan *servo* untuk reaksi penyeimbangan pada penelitian “Kendali Keseimbangan pada Robot *Humanoid*” (Fariz, 2011) yang memungkinkan akan menyebabkan hasil keluaran data sensor terganggu atau terdapat *noise* yang dapat mengurangi keakurasian sensor tersebut. Hasil atau nilai data sensor dari pengukuran atau *sensing* akan diterapkan langsung pada robot, sehingga dapat juga dikatakan sebagai *monitoring real time*

pergerakan robot. Namun masalah yang sering terjadi pada hasil nilai output dari sensor adalah kurang tepat atau kurang akurat dikarenakan adanya *noise* yang dapat mengganggu hasil dari output tersebut.

Penggunaan metode filtering pada data keluaran sensor cukup penting, dikarenakan terdapat *noise* atau gangguan yang dapat mengurangi keakurasian nilai keluaran dari sensor. Maka, penggunaan metode filtering data dibutuhkan sebagai solusi dari permasalahan tersebut. Terdapat beberapa macam metode filter yang dapat diterapkan pada nilai keluaran sensor seperti metode *Kalman Filter*, *Complementary Filter* dan filter internal dari sensor tersebut tergantung pada tipe sensornya. Walaupun terdapat beberapa macam metode filter data sensor yang berbeda, tujuannya tetap sama, yaitu mengurangi atau meminimalisir *noise*. *Complementary filter* merupakan salah satu metode filter dengan penerapan yang tidak terlalu kompleks dikarenakan tidak membutuhkan banyak variabel dalam penerapannya, hanya beberapa variabel seperti *alpha* (koefisien filter), *sampling time*, nilai kemiringan sudut dari *gyroscope* dan *accelerometer*.

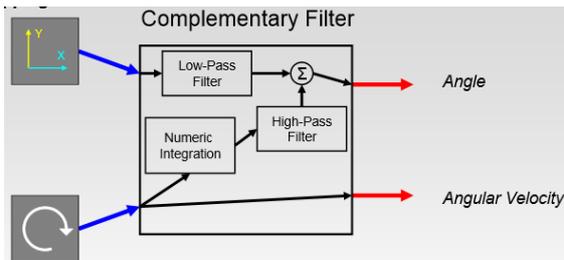
Maka, peneliti mengembangkan penelitian sebelumnya dengan memberikan metode filterisasi pada keluaran data sensor menggunakan metode *complementary filter* sehingga diharapkan mendapatkan nilai hasil sensor yang tepat dan akurat tanpa adanya gangguan atau *noise*. Hasil nilai data sensor tersebut akan merepresentasikan berapa sudut kemiringan robot, dari sudut tersebut dianalisa dan diambil sudut yang sesuai saat robot dalam posisi aman atau seimbang dan sudut jatuh di setiap sisi, baik depan, belakang, kanan dan kiri saat sedang berjalan, dalam permasalahan yang ada dengan menggunakan metode *complementary filter* didapatkan penelitian penyeimbangan gerak robot *humanoid* dengan mengimplementasikan sensor *gyroscope* dan *accelerometer* diharapkan dapat mengurangi *noise* atau gangguan.

2. DASAR TEORI

2.1. *Complementary Filter*

Complementary Filter adalah metode *filtering*, yang dapat berfungsi sebagai filter nilai sensor agar nilai tersebut memiliki *noise* yang kecil atau bahkan tidak ada, sehingga datanya

akurat. Metode ini merupakan gabungan dari *high-pass filter* yang berasal dari *output gyroscope* yang terintegrasi dan *low-pass filter* yang berasal dari *output accelerometer* yang telah diolah. Metode ini juga membutuhkan nilai waktu konstan dan waktu *sampling* untuk perhitungan nilai alpha, agar lebih jelasnya, berikut diagram blok pada gambar 1 dan rumus *complementary filter*:



Gambar 1 Complementary Filter

Sumber (Colton, 2007)

$$x_angleC = a*(x_angleC + ang_gyro *dT) + (1-a) * (ang_accl) \tag{2.1}$$

(Rizka Bimarta, 2015)

dimana:

- x_angleC = nilai complementary
- a = alpha
- ang_gyro = keluaran *gyroscope*
- dT = delta time

ang_accl = keluaran *accelerometer*

Sedangkan untuk mencari nilai alpha terdapat rumus sebagai berikut:

$$t=(a*dT)/(1-a) \tag{2.2}$$

$$a=t/(t+dT) \tag{2.3}$$

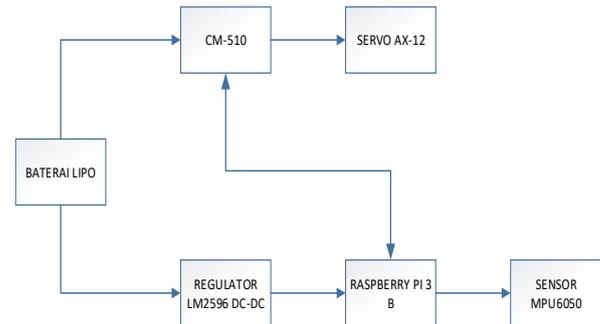
dimana:

- a = koefisien filter atau alpha
- dT = waktu sampling

Time constant (t) adalah lamanya waktu update sinyal keluaran dari *complementary filter*. (Debra, 2013)

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1. Perancangan Sistem Perangkat Keras



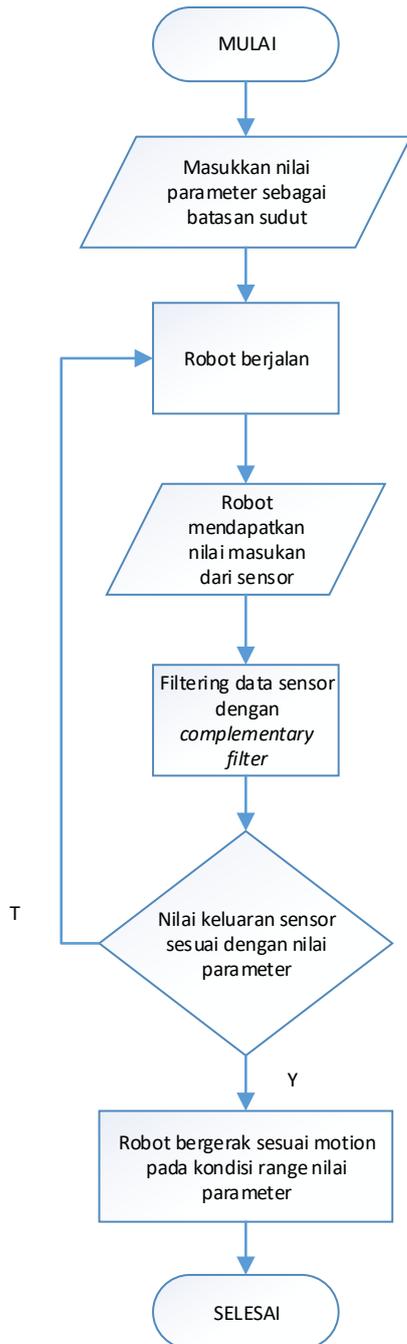
Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Penjelasan diagram blok system pada gambar 2 di atas antara lain:

- Power Supply berupa baterai LiPo dengan Voltase tegangan sebesar 12 Volt, tegangan tersebut dibutuhkan oleh Raspberry pi 3 B dan CM-510 dengan kebutuhan daya yang berbeda, untuk Raspberry pi 3 B daya yang dibutuhkan sebesar 5 Volt, sedangkan CM-510 membutuhkan daya sebesar 11.5 Volt.
- Regulator Stepdown LM2596 DC-DC yang berfungsi untuk mengubah daya dari masukan baterai LiPo sebesar 12 Volt menjadi 5 Volt untuk Raspberry pi 3 B.
- CM-510 berfungsi sebagai mikrokontroler penggerak dan konfigurasi servo serta pembuatan motion.
- Minikomputer Raspberry pi 3 sebagai pengolah data mentah sensor termasuk filtering data menggunakan complementary filter dan algoritma penyeimbangan.
- Sensor MPU6050 sebagai sensor pendeteksi kemiringan sudut yang didalamnya tertanam sensor gyroscope dan accelerometer.
- Servo AX-12 sebagai penggerak atau aktuator robot di setiap sendi pergerakan.

3.2 Perancangan Sistem Perangkat Lunak

Alur sistem atau *flowchart* jalannya sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Flowchart Sistem

3.3 Perancangan Peletakkan Sensor

Penelitian ini menggunakan sensor MPU6050 sebagai komponen pengukur nilai kemiringan sudut suatu benda. Nilai kemiringan sudut tersebut menjadi salah satu variabel input atau masukan untuk metode *complementary filter*. Peletakan sensor ini sangat penting dikarenakan kemiringan modul sensor mempengaruhi nilai awal untuk pengolahan algoritma. Ilustrasi peletakan sensor MPU6050 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Ilustrasi Peletakkan Sensor Tampak dari Belakang

Sensor MPU6050 akan diletakkan dekat bagian antara dada robot dengan punggung robot. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan posisi awal sudut yang sesuai dengan posisi berdiri robot normal dan nilai yang dikeluarkan oleh sensor MPU6050 sesuai dan tepat.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Sensor MPU6050 Output Tilt Angle

Tilt Angle adalah sudut kemiringan yang dihasilkan oleh sensor dari perubahan atau pergerakan sensor tersebut. *Output tilt angle* sebagai bagian dari pengujian sensor dibagi menjadi dua sub bagian dalam pengujiannya, yaitu *output tilt angle* (Y) dan *output tilt angle* (X). *Tilt angle X* adalah kemiringan sudut X pada robot yang dalam pengujiannya sudut x adalah sudut pergerakan kanan dan kiri robot, sedangkan *tilt angle y* adalah kemiringan sudut X pada robot yang dalam pengujiannya sudut x adalah sudut pergerakan depan dan belakang robot. Sudut pengujian parameter yang dipakai dimulai dari sudut 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, dan 90°. Pengambilan data uji sebanyak empat kali pada setiap sudut parameter pengujian dan diambil nilai rata-ratanya. Contoh pengujian dapat dilihat pada gambar 5, sedangkan hasil dari pengujian *output tilt angle y* dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 5 Pengujian Output Tilt Angle Y Tanpa Filter

Tabel 1 Pengujian Output Tilt Angle Y Tanpa Filter

SUDUT PENGUJIAN	OUTPUT TILT ANGLE (Y) TANPA FILTER				OUTPUT RATA-RATA	ERROR (°)	ERROR (%)
	PENGUJIAN KE-N						
	1	2	3	4			
0°	-3.648°	-3.875°	-3.611°	-3.508°	-3.661°	3.661°	3.661
15°	16.285°	16.653°	16.808°	16.984°	16.683°	1.683°	0.252
30°	28.783°	28.101°	28.339°	28.275°	28.375°	1.725°	0.518
45°	46.896°	47.314°	45.460°	46.647°	46.579°	1.579°	0.711
60°	61.393°	60.797°	60.854°	60.886°	60.983°	0.983°	1.189
90°	82.500°	82.627°	83.446°	81.891°	82.616°	7.384°	6.645
RATA-RATA ERROR (%)							2.163

Kesimpulan dari Tabel 1 pengujian *output tilt angle* (Y) adalah data nilai sensor MPU6050 cukup baik, dapat dilihat dari nilai *output* rata-rata pada sudut 15°, 30°, 45°, dan 60° mendekati sudut parameter pengujian. Namun untuk sudut 90° masih berbeda jauh dengan sudut parameter pengujian, dengan nilai rata-rata error persen hanya 2.163%. Tidak hanya *tilt angle y*, untuk *tilt angle x* juga mendapatkan nilai rata-rata error persen yang cukup baik sebesar 1.657%

4.2 Pengaruh Perubahan Nilai Alpha

Pengujian terhadap pengaruh perubahan nilai *alpha* terbagi menjadi lima sub bagian yang masing-masingnya terbagi dua bagian untuk *tilt angle X* dan *Y*. Perubahan nilai *alpha* sangat berpengaruh terhadap nilai hasil metode *complementary filter* dikarenakan nilai *alpha* jika dijabarkan terdapat nilai *time constant* dan waktu *sampling* yang akan mempengaruhi kestabilan nilai keluaran sensor. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data dengan penggunaan nilai *alpha* 0.96 pada *tilt angle X* dan *Y*, untuk membandingkan perbandingan dua nilai selisih antara nilai sudut parameter pengujian dengan nilai sudut sensor tanpa *complementary filter* dan nilai sudut parameter pengujian dengan nilai sudut menggunakan *complementary filter*. Sudut pengujian yang dipakai masih sama, dari 0°, 15°, 30°, 45°, 60, 90°. Hasil selisih dari kedua nilai keluaran filter dan tanpa filter dijumlahkan untuk dirata-rata, sehingga mendapatkan nilai akhir untuk perbandingan, nilai yang paling kecil adalah yang paling baik. Gambar pengujian dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 6 dan tabel 2.



Gambar 6 Pengujian Pengaruh Perubahan Nilai Alpha Output Tilt Angle Y

Tabel 2 Pengujian Pengaruh Perubahan Nilai Alpha Output Tilt Angle Y

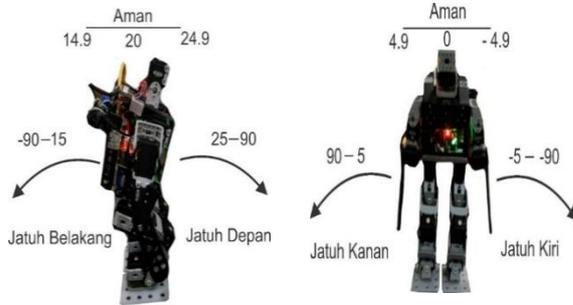
KOEFSIEN FILTER (0.96) & WAKTU SAMPLING (0.04) TILT ANGLE (Y)				
SUDUT PENGUJIAN (A)	OUTPUT SUDUT TANPA FILTER (B)	HASIL SELISIH (B-A)	OUTPUT SUDUT DENGAN FILTER (C)	HASIL SELISIH (C-A)
0°	-3.016	-3.016	-0.853	-0.853
15°	22.519	7.519	15.401	0.401
30°	33.772	3.772	31.422	1.422
45°	47.824	2.824	44.414	-0.586
60°	62.974	2.974	61.192	1.192
90°	87.047	-2.953	87.335	-2.665
RATA-RATA		1.853	RATA-RATA	-0.18

Kesimpulan dari tabel 2 cukup baik dikarenakan hasil dari rata-rata nilai selisih keluaran atau *output* sudut terfilter dengan sudut pengujian lebih sedikit dengan nilai selisih sebesar -0,18° pada *tilt angle y*. Sedangkan nilai selisih dari *output* sudut tanpa filter dengan sudut pengujian sebesar 1,884° pada *tilt angle y*, tidak hanya *tilt angle y*, *tilt angle x* pun mendapatkan hasil yang cukup baik dengan nilai selisih dari *output* sudut tanpa filter dari sudut pengujian sebesar 1,0815° dan hasil dari rata-rata nilai selisih keluaran atau *output* sudut terfilter dengan sudut pengujian lebih sedikit dengan nilai selisih sebesar -0,227°, metode *complementary filter* berhasil mengurangi *noise* atau gangguan dari nilai keluaran sensor MPU6050. Penggunaan koefisien filter 0.96 dan waktu *sampling* 0.04 lebih baik dibandingkan menggunakan koefisien filter atau nilai *alpha* 0.95, 0.97, 0.98 dan 0.99.

4.1 Pengujian Reaksi Robot Terhadap Masukan Nilai Sensor Secara Realtime

Pengujian reaksi robot terhadap masukan nilai sensor secara *realtime* terbagi menjadi dua bagian, yaitu ketika kondisi diam dan berjalan yang masing-masingnya terbagi menjadi empat sub bagian, yaitu memberi gangguan dari depan, belakang, kiri dan kanan. Terdapat enam kali pengujian di setiap sub bagian yang memiliki

parameter *range* sudut jatuh berbeda. Range sudut jatuh *tilt angle y* depan (25° s/d 90°) dan belakang (15° s/d -90°), serta range sudut jatuh *tilt angle x* kanan (5° s/d 90°), dan kiri (-5° s/d -90°). Sudut *threshold* pengujian dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Sudut *Thershold* Robot

4.1.2 Pengujian Robot Diam dengan Gangguan ke Depan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon atau reaksi robot ketika sudut robot masuk dalam range jatuh depan (25° s/d 90°) saat robot berdiri dan tidak berjalan. Ketika sensor mendeteksi sudut dan sudut tersebut masuk dalam range jatuh depan, kemudian robot tersebut harus melakukan aksi penyeimbang agar tidak jatuh, jika tidak jatuh dalam melakukan aksi penyeimbangan maka dapat disimpulkan aksi tersebut berhasil. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali. Pada pengujian ini robot bergerak secara otomatis dari masukan nilai dari nilai keluaran sensor MPU6050. Pengujian dapat dilihat pada gambar 8, sedangkan hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 8 Pengujian Robot Diam Gangguan Dorongan ke Depan dengan Masukan Nilai Secara Realtime

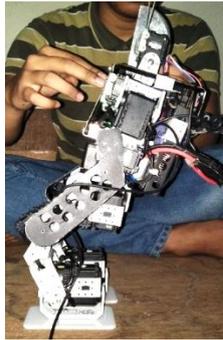
Tabel 3 Pengujian Robot Diam Gangguan Dorongan ke Depan dengan Masukan Nilai Secara Realtime

PENGUJIAN ROBOT DIAM DENGAN GANGGUAN KE DEPAN				
KOEFSISIEN FILTER 0.96				
THRESHOLD SUDUT	SUDUT TERDETEKSI	KETERANGAN POSISI SUDUT	KETERANGAN AKSI	KONDISI POSISI ROBOT SETELAH AKSI
25° s/d 90°	29.940°	jatuh	gagal	jatuh
25° s/d 90°	31.908°	jatuh	gagal	jatuh
25° s/d 90°	28.105°	jatuh	gagal	jatuh
25° s/d 90°	28.355°	jatuh	gagal	jatuh
25° s/d 90°	26.225°	jatuh	gagal	jatuh
25° s/d 90°	32.482°	iatuh	eeaal	iatuh

Kesimpulan dari tabel 3, pengujian mengalami kegagalan dikarenakan hasil dari seluruh kondisi posisi robot dalam melakukan aksi penyeimbangan gagal atau jatuh, walaupun robot berhasil mendeteksi sudut posisinya masuk dalam *threshold* sudut pengujian dan memberikan keterangan posisi sudut. Begitu pun juga pada pengujian dengan gangguan dorongan ke belakang, kanan dan kiri. Hal ini dikarenakan kecepatan pemrosesan data pada CM-510 terlambat. Pemrosesan data CM-510 tidak dapat mengimbangi pemrosesan data Raspberry pi 3 B yang dapat mengolah data sensor sebesar 40 ms.

4.1.3 Pengujian Robot Berjalan dengan Gangguan ke Belakang

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon atau reaksi robot ketika sudut robot masuk dalam range jatuh belakang (15° s/d -90°) saat robot berdiri dan berjalan. Ketika sensor mendeteksi sudut dan sudut tersebut masuk dalam range jatuh depan, kemudian robot tersebut harus melakukan aksi penyeimbang agar tidak jatuh, jika tidak jatuh dalam melakukan aksi penyeimbangan maka dapat disimpulkan aksi tersebut berhasil. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali. Pada pengujian ini robot bergerak secara otomatis dari masukan nilai dari nilai keluaran sensor MPU6050. Pengujian dapat dilihat pada gambar 9 dan hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 4.



Gambar 9 Pengujian Robot Berjalan Gangguan Dorongan ke Belakang dengan Masukan Nilai Secara Realtime

Tabel 4 Pengujian Robot Berjalan Gangguan Dorongan ke Belakang dengan Masukan Nilai Secara Realtime

PENGUJIAN ROBOT BERJALAN DENGAN GANGGUAN KE BELAKANG				
KOEFSIEN FILTER 0.96				
THRESHOLD SUDUT	SUDUT TERDETEKSI	KETERANGAN POSISI SUDUT	KETERANGAN AKSI	KONDISI POSISI ROBOT SETELAH AKSI
15° s/d -90°	9.191	Jatuh	Gagal	Jatuh
15° s/d -90°	9.722	Jatuh	Gagal	Jatuh
15° s/d -90°	10.422	Jatuh	Gagal	Jatuh
15° s/d -90°	10.680	Jatuh	Gagal	Jatuh
15° s/d -90°	10.738	Jatuh	Gagal	Jatuh
15° s/d -90°	10.805	Jatuh	Gagal	Jatuh

Kesimpulan dari tabel 4, pengujian mengalami kegagalan dikarenakan hasil dari seluruh kondisi posisi robot dalam melakukan aksi penyeimbangan gagal atau jatuh, walaupun robot berhasil mendeteksi sudut posisinya masuk dalam *threshold* sudut pengujian dan memberikan keterangan posisi sudut. Begitu pun juga pada pengujian dengan gangguan dorongan ke depan, kanan dan kiri. Hal ini dikarenakan kecepatan pemrosesan data pada CM-510 terlambat. Pemrosesan data CM-510 tidak dapat mengimbangi pemrosesan data Raspberry pi 3 yang dapat mengolah data sensor sebesar 40 ms.

Kesimpulan dari hasil 10 pengujian yang dilakukan yaitu gagalnya sistem dalam memberikan aksi penyeimbang, sehingga saat posisi robot masuk dalam sudut range jatuh namun tidak ada aksi penyeimbang dan robot terjatuh. Masalah tersebut terjadi dikarenakan kecepatan pemrosesan CM-510 yang tidak dapat mengimbangi kecepatan Raspberry pi 3 membuat robot terlambat dalam memberikan reaksi penyeimbangan secara *realtime*. Maka, untuk mengantisipasi masalah tersebut, di lakukan pengujian baru dengan cara merekayasa pemberian nilai masukan dari sensor secara manual dan tidak realtime, pengujian secara rinci dapat dilihat pada pengujian reaksi robot

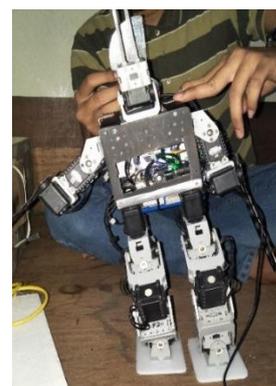
terhadap masukan nilai sensor secara manual

4.2 Pengujian Reaksi Robot Terhadap Masukan Nilai Sensor Secara Manual.

Pengujian ini dilakukan karena pengujian berjalan sebelumnya gagal, seperti pada penjelasan sebelumnya yang telah menjelaskan penyebab permasalahan dan solusinya, dengan mengikuti langkah pada penjelasan sebelumnya, berhasil didapatkan data pengujian yang masing-masing memiliki empat sub bagian, terdiri dari *motion* miring ke depan, belakang, kanan dan kiri. Setiap sub bagian dilakukakan enam kali pengujian yang sama dengan pengujian sebelumnya dengan adanya keterangan berhasil atau tidaknya aksi penyeimbangan.

4.2.1 Pengujian Robot Berjalan dengan Gangguan ke Kanan

Robot akan diuji sebanyak enam kali dengan menguji enam *motion* miring ke depan yang berbeda, dengan range sudut 5° s/d 90°, jika sudut *motion* robot masuk dalam range, maka dapat dikatakan berpotensi jatuh dan harus ada reaksi penyeimbang posisi. Jika robot berhasil melakukan aksi penyeimbangan dan robot tidak jatuh maka pengujian berhasil, namun jika robot tidak memberikan aksi dan terjatuh, maka pengujian tersebut gagal. Pengujian dapat dilihat pada gambar 10, sedangkan hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 5.



Gambar 10 Pengujian Robot Berjalan Gangguan Dorongan ke Kanan dengan Masukan Nilai Secara Manual

Tabel 5 Pengujian Robot Berjalan Gangguan Dorongan ke Kanan dengan Masukan Nilai Secara Manual

ROBOT BERJALAN DENGAN PEMBERIAN NILAI SENSOR SECARA MANUAL				
GANGGUAN KE DEPAN DENGAN KOEFISIEN FILTER 0.96				
THRESHOLD SUDUT	SUDUT TERDETEKSI	KETERANGAN POSISI SUDUT	KETERANGAN AKSI	KONDISI POSISI ROBOT SETELAH AKSI
5° s/d 90°	8.999	Jatuh	Sukses	Aman
5° s/d 90°	13.431	Jatuh	Sukses	Aman
5° s/d 90°	7.636	Jatuh	Sukses	Aman
5° s/d 90°	10.023	Jatuh	Sukses	Aman
5° s/d 90°	10.617	Jatuh	Sukses	Aman
5° s/d 90°	11.594	Jatuh	Sukses	Aman

Kesimpulan dari tabel 5 diperoleh cukup baik dikarenakan robot berhasil mendeteksi sudut yang diberikan dan memberikan aksi penyeimbang ketika melakukan *motion* miring ke kanan yang sudut kemiringannya masuk dalam sudut *threshold*, dan robot tidak jatuh ketika aksi penyeimbangan selesai dilakukan, sehingga dapat disimpulkan pengujian dengan gangguan ke kanan berhasil dilakukan, begitu pun juga dengan pengujian gangguan ke depan, belakang, dan kiri. Pengujian robot berjalan dengan pemberian nilai sensor secara manual berhasil dilakukan dan memberikan hasil yang baik dengan robot berhasil memberikan aksi penyeimbangan pada saat memberikan gangguan dari depan, belakang, kanan dan kiri tanpa terjatuh saat menjalankan aksi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari tahapan perancangan, implementasi, pengujian serta analisis hasil pengujian yang telah dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan bahwa :

1. Modul sensor gyroscope dan accelerometer dapat diimplementasikan pada robot humanoid dengan tinggi robot 54 cm. Modul sensor diletakkan diantara dada dan punggung robot, dengan menggunakan sensor MPU6050 yang didalamnya telah tertanam sensor gyroscope dan Accelerometer, Kedua sensor ini berfungsi untuk mendeteksi kemiringan sudut posisi robot. Data sensor akan diolah oleh Raspberry pi 3 yang terletak di punggung belakang robot.
2. Keakurasian nilai sensor MPU6050 tanpa filter dengan sebanyak enam kali pengujian sudut threshold 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, dan 90° menghasilkan 2.163

% dan 1.657 % untuk masing-masing tilt angle y dan x.

3. Metode Complementary filter berhasil diimplementasikan menggunakan sensor MPU6050 yang data nilai keluarannya diolah oleh Raspberry pi 3 B dengan memiliki beberapa variabel parameter algoritma metode complementary filter antara lain nilai alpha, waktu sampling dan data olah kemiringan sudut. Nilai alpha dan waktu sampling terbaik yang didapatkan dari hasil pengujian sebesar 0.96 dan 40 ms untuk menstabilkan keluaran nilai sensor MPU6050.
4. Penggunaan minikomputer Raspberry pi 3 sebagai pengolah data sensor MPU6050 cukup baik dikarenakan dapat mengolah dan mengirimkan data dengan kecepatan waktu sampling sebesar 40 ms dan mengirimkan data ke CM-510 menggunakan kabel RS232 to USB sebagai media komunikasi.
5. Dari dua kali tipe pengujian reaksi gerak robot secara realtime dan manual, hanya satu pengujian saja yang mengalami kegagalan. Pengujian reaksi robot terhadap nilai sensor secara realtime gagal dikarenakan terlambatnya CM-510 dalam menggerakkan servo AX-12 atau memberikan reaksi penyeimbangan, penyebab utama permasalahan adalah kecepatan CM-510 yang tidak dapat mengimbangi kecepatan Raspberry pi 3 sebagai pengolah data sensor dengan waktu sampling data sebesar 40 ms. Sedangkan untuk pengujian reaksi gerak robot secara manual dengan pengujian memberi gangguan dari sisi depan, belakang, kanan dan kiri didapatkan robot bisa memberikan reaksi penyeimbangan sesuai dengan yang diharapkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andreas, R., 2012. Keseimbangan Robot Humanoid Menggunakan Sensor Gyro GS-12 dan Accelerometer DE-ACCM3D. p. 1.
- Debra, 2013. Gyroscopes and Accelerometers on a Chip. [Online]
Available at:
<http://www.geekmomprojects.com/gyroscopes-and-accelerometers-on-a-chip/>
[Diakses 26 April 2017].
- Fariz, R. J., t.thn. KENDALI KESEIMBANGAN PADA ROBOT HUMANOID, Bandung: Universitas Telkom.
- Isom, J., 2002. Robotics. [Online]
Available at:
<http://robotics.megagiant.com/history.html>
- Rizka Bimarta, A. E. P. A. D., 2015. Balancing Robot Menggunakan Metode Kendali Proporsional Integral Derivatif. IJEIS, Volume v, p. 89~98.
- Scolton, t.thn. PCB Quadrotor (Brushless). [Online]
Available at:
<http://www.instructables.com/id/PCB-Quadrotor-Brushless/>
[Diakses 26 April 2017].
- Tjahyadi, C., 2009. NEXT SYSTEM Robotics Learning Center. [Online]
Available at:
<http://christianto.tjahyadi.com/belajar-robotik/kelemahan-sensor->
- Colton, S., 2007. The Balance Filter, s.l.: s.n.