

ANALISA KESTABILAN GERAKAN STATIS PADA ROBOT HUMANOID

Nicko Satrio Pambudi¹, Dewa Made Wiharta², Nyoman Putra Sastra³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana

Email: satrio.nicko@gmail.com¹, wiharta@unud.ac.id², putra.sastra@unud.ac.id³

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang bangun robot humanoid yang dapat berjalan dengan stabil dan tidak mudah jatuh. Robot humanoid ini dirancang agar dapat mengikuti ajang perlombaan Kontes Robotika Indonesia kategori robot humanoid sepak bola yang diselenggarakan oleh Kemenristekdikti. Robot dapat berjalan dengan stabil pada lapangan berumput dan mampu menggiring bola lalu memasukannya ke gawang lawan. Robot yang digunakan menggunakan 8 servo dynamixel AX-12 dan 10 servo dynamixel AX-18. Robot dilengkapi dengan sebuah kamera pada bagian kepala robot dengan rangka akrilik. Untuk mendeteksi kemiringan robot digunakan sensor MPU6050. Kontrol utama yang digunakan adalah Raspberry Pi. Robot dikatakan stabil jika selama melakukan pergerakan robot tidak mudah terjatuh. Untuk mencapai kestabilan pergerakan robot secara statis perlu diperhatikan titik COG (Center of Gravity) dari robot agar selalu tegak lurus dengan support polygon atau tumpuan robot.. Hasil dari pengujian sensor MPU6050 menunjukkan ketika robot miring ke depan atau ke belakang maka output sumbu Y mengalami perubahan dan ketika miring ke kiri atau ke kanan maka output sumbu X akan berubah. Pengujian gerakan statis robot menunjukan bahwa robot berhasil tidak terjatuh selama berjalan.

Kata Kunci : Center of Gravity, Raspberry, Sensor MPU6050, Servo Dynamixel

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin berkembang terutama dibidang sistem kendali. Salah satu dari perkembangan tersebut adalah pada bidang robotika. Berbagai macam jenis robot telah dibuat dan dikembangkan demi memenuhi keperluan manusia. Mulai dari robot yang dapat membantu pekerjaan rumah, robot yang digunakan pada industri, maupun robot yang digunakan untuk hiburan. [1]

Di Indonesia terdapat kompetensi robot yang diadakan oleh pemerintah untuk tingkat perguruan tinggi yakni "Kontes Robot Indonesia" (KRI). Kontes ini memiliki 5 cabang kategori perlombaan, salah satunya adalah "Kontes Robot Sepak Bola Indonesia" (KRSBI) *humanoid*. KRSBI yang sudah terselenggara sejak tahun 2013. Kegiatan ini dinilai pemerintah sangat strategis untuk dapat menjadi salah satu obyek penelitian

Di Universitas Udayana, terdapat Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yang

dan edukasi rekayasa robotika tingkat dunia dengan kiblat langsung kepada komunitas yang sama di seluruh dunia. Kontes ini juga menjadi ajang kualifikasi nasional untuk mewakili Indonesia dalam RoboCup yang merupakan kompetisi robot sepak bola resmi tingkat dunia di bawah organisasi RoboCup, seperti organisasi FIFA dalam kejuaraan dunia sepak bola manusia. [2]

Pada kompetisi KRSBI ini, robot diharapkan secara *autonomous* (tanpa dikendalikan oleh *user*) dapat mendeteksi bola serta dapat menggiring bola ke gawang lawan. Tentu tidak mudah dalam membangun sistem pada robot agar sesuai dengan harapan yang ingin dicapai. Salah satu sistem yang dibangun adalah pada pergerakan robot yang memerlukan perhitungan matematika yang cukup kompleks agar pergerakan robot stabil dan tidak mudah jatuh. mempelajari tentang robotika dan teknologi telah memiliki robot *humanoid* dan telah

diikutsertakan pada KRI cabang kategori “Kontes Robot Seni Tari Indonesia” (KRSTI). Pada kompetisi ini, robot masih belum memiliki stabilitas pada pergerakan robot.

Dalam mengatasi kestabilan pergerakan robot secara statis perlu diperhatikan titik COG (*Center of Gravity*) dari robot humanoid dalam setiap pergerakannya agar selalu berada pada *support polygon*. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap pergerakan robot secara statis dengan menerapkan teori COG (*Center of Gravity*).

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Robot Bioloid GP

Robot Bioloid GP merupakan Robot Humanoid yang diproduksi secara massal oleh perusahaan robotis. Robot Bioloid GP diperuntukan sebagai robot yang dapat mengikuti kompetisi dengan memiliki struktur tubuh yang terbuat dari aluminium serta aktuator yang terdiri dari servo dynamixel AX-18A dan AX-12A. Robot Bioloid GP memiliki pusat pengendali yakni CM-530. Robot Bioloid GP juga memiliki 2 sensor yang dapat digunakan yakni sensor gyro dan sensor infrared. Robotis telah menyediakan program Graphical User Interface (GUI) untuk memudahkan pengguna dalam memprogram serta merekam gerakan pada Robot Bioloid GP. Program tersebut adalah Roboplus Task, Roboplus Motion, dan Roboplus Manager. Roboplus Task berfungsi untuk memprogram Robot Bioloid GP dengan menggunakan bahasa pemrograman C. Pengguna dapat memberikan instruksi pada robot melalui Roboplus Task. Roboplus Motion berfungsi untuk membangkitkan pose gerakan pada Robot Bioloid GP. Roboplus Manager berfungsi untuk memonitoring hardware pada Robot Bioloid GP yang dapat memberikan informasi hardware pada pengguna.



Gambar 1 Robot Bioloid GP

2.2 Servo Dynamixel

Motor servo adalah sebuah motor servo dengan sistem *closed feedback* dimana posisi dari motor servo akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada dalam motor servo [3]. Motor servo terdiri atas dua jenis yakni servo digital dan servo analog. Perbedaan kedua jenis servo terletak pada sinyal dan bagaimana sinyal itu diproses dari penerima ke servo dan bagaimana servo menggunakan informasi dari penerima untuk menggerakkan servo sesuai dengan sudut yang diinginkan. Motor servo dynamixel yang digunakan pada Robot Bioloid GP menggunakan tipe AX-18A dan AX-12A. Perbedaan dari kedua tipe tersebut terletak pada torsi. Tipe AX-18A memiliki torsi yang lebih besar daripada tipe AX-12A.



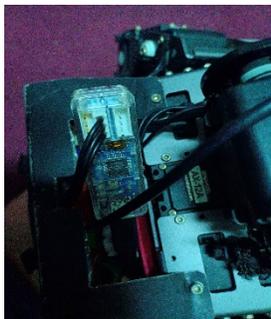
Gambar 2 Servo Dynamixel

Servo dynamixel bekerja dengan menerima instruksi paket data dari *main controller* yang kemudian data yang diterima diolah untuk menggerakkan servo atau meminta data sensor yang ada pada servo dynamixel. Instruksi data yang dikirimkan oleh *main controller* menggunakan komunikasi serial *half duplex*, oleh karena usb serial pada *main controller* menggunakan

komunikasi serial *full duplex* maka diperlukan suatu *converter* yang dapat mengubah komunikasi serial *full duplex* menjadi *half duplex*.

2.3 U2D2

U2D2 merupakan modul yang berfungsi sebagai alat komunikasi untuk mengirim perintah yang berupa paket instruksi kepada actuator dynamixel. Agar dapat berkomunikasi dengan servo dynamixel diperlukan komunikasi data *Half duplex* dan U2D2 merupakan alat yang mengubah komunikasi data *Full Duplex* menjadi *Half Duplex*.



Gambar 3 U2D2

Tabel 1 Port U2D2

Port	Deskripsi
4 Pin UART	Mengubah USB dan UART
3 Pin TTL	Dynamixel Port dengan 3 pin Komunikasi TTL
4 Pin TTL	Dynamixel Port dengan 4 pin Komunikasi RS-485
Status LED	Menampilkan status dari Power Supply, TxD dan RxD
Micro-B USB	Menyambungkan ke PC melalui kabel USB

2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi (RasPi) merupakan komputer berukuran kecil yang ukurannya hampir sama dengan sebuah kartu yang dikembangkan oleh Yayasan Raspberry Pi yang bermarkas di Negara Inggris. Dalam Raspberry Pi ini sudah dilengkapi dengan prosesor ARM1176JZF-S 700 MHz, RAM sebesar 256 MB dan juga sebuah GPU

VideoCore IV. Dan untuk penyimpanan data, Raspberry Pi tidak menggunakan Hard Disk namun Raspberry Pi dapat menggunakan SD Card untuk menyimpan data, baik itu data Operating System ataupun untuk media penyimpanan data jangka panjang. Raspberry Pi sudah banyak digunakan dalam berbagai kegiatan akademis yang berkaitan dengan teknologi maupun robotika. Penggunaan Raspberry Pi pada tugas akhir ini adalah sebagai main controller pada robot humanoid yang memberikan data kepada sub controller.



Gambar 4 Raspberry Pi

2.5 Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 merupakan sensor yang terdiri atas sensor accelerometer dan sensor gyro yang berada pada satu papan. Sensor MPU6050 digunakan sebagai pendeteksi perubahan kemiringan robot bioloid GP berdasarkan perubahan pada roll, pitch, dan yaw.



Gambar 5 Sensor MPU6050

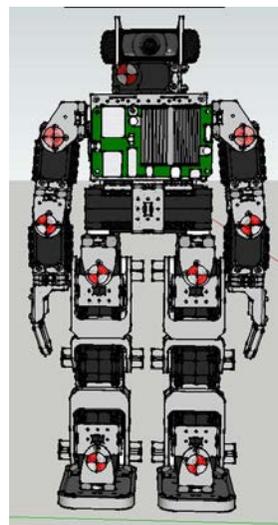
2.6 Center of Gravity (COG)

Center of Gravity atau pusat gravitasi merupakan sebuah titik dimana massa benda terdistribusi secara merata. Titik ini selalu berubah-ubah apabila suatu objek mengalami perubahan bentuk. Pada robot humanoid titik ini selalu berubah seiring dengan perubahan gerakan pada robot. Robot humanoid dikatakan dalam keadaan seimbang apabila titik *Center of Gravity* dari robot berada pada area tumpuan robot [4]. Robot humanoid memiliki 2 fase tumpuan yakni, SSP (*Single*

Support Phase) dan DSP (Double Support Phase). Robot humanoid berada pada fase SSP jika robot humanoid mengangkat satu kaki dan bertumpu pada satu kaki saja sedangkan pada fase DSP merupakan suatu keadaan robot humanoid pada saat bertumpu pada dua kaki.

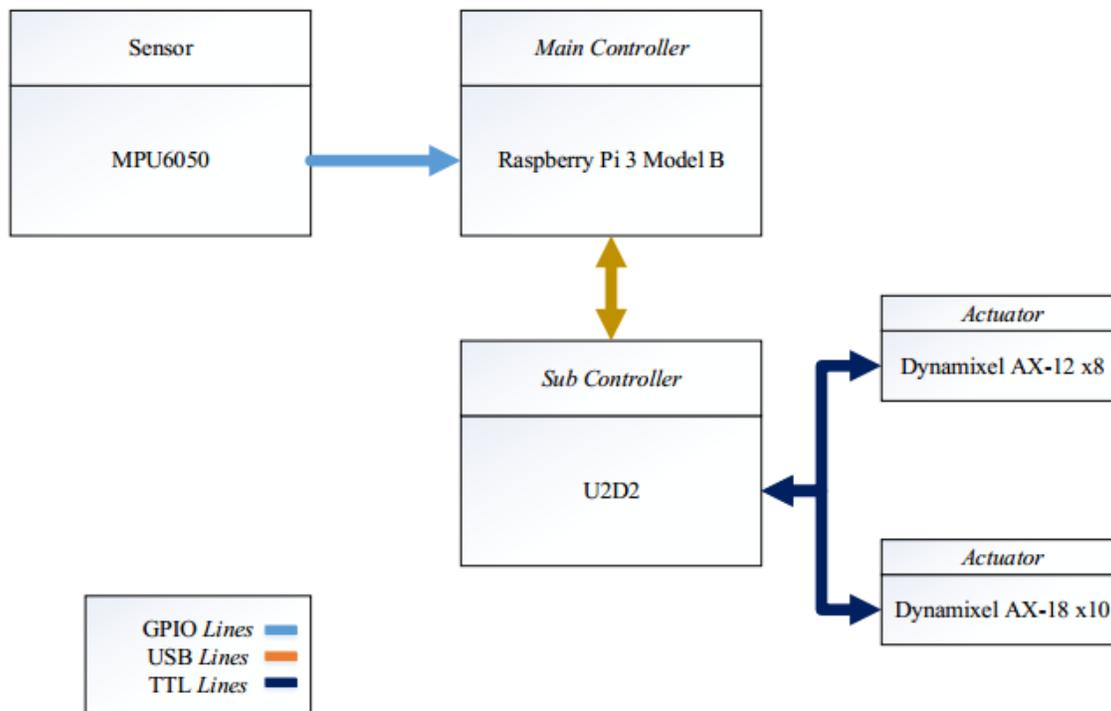
2.7 Desain Sistem

Pada tugas akhir ini robot humanoid yang digunakan adalah robot Bioloid GP yang telah diubah pada bagian kepala robot dengan menggunakan satu servo AX-12 Dynamixel sehingga bagian kepala robot dapat bergerak secara vertical dan sebuah kamera yang dipasang pada servo tersebut dengan menggunakan *frame* yang terbuat dari bahan akrilik seperti pada gambar 6.



Gambar 6 Desain Robot

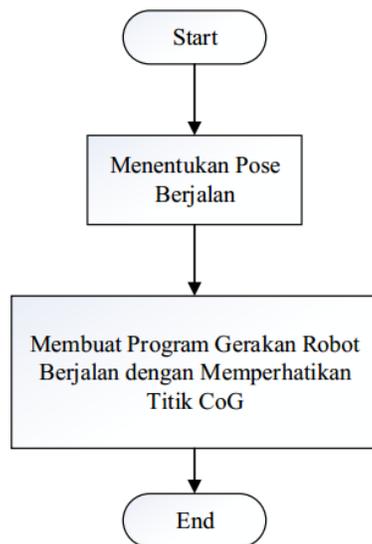
Pada sistem kontrolnya, Raspberry Pi 3 Model B akan digunakan sebagai pengontrol utama (*main controller*) dan U2D2 digunakan sebagai sub-pengontrol (*sub controller*). Desain elektronik robot dapat digambarkan pada gambar 7.



Gambar 7 Desain Elektronik Robot

2.8 Gerakan Statis

Pada pergerakan robot, gerakan statis robot dibangkitkan dengan memperhatikan titik *Center of Gravity* (COG) dari robot humanoid dalam menentukan pose gerakan robot. Alur pembuatan gerakan statis adalah sebagai berikut.



Gambar 8 Flowchart Gerakan Statis

Pada gerakan statis hal yang paling awal dilakukan adalah menentukan pose berjalan. Dalam menentukan pose berjalan perlu diperhatikan titik COG dari robot agar tetap tegak lurus dengan area pijakan. Setelah mendapatkan pose berjalan, selanjutnya menentukan sudut setiap DOF (*Degree of Freedom*) agar pose robot saat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 Realisasi Hardware

Pada penelitian ini robot yang digunakan adalah robot humanoid biooid GP yang telah dimodifikasi sedemikian rupa agar robot dapat memenuhi kriteria sebagai robot sepakbola. Adapun perubahan yang dilakukan adalah menambah 2 servo dynamixel AX-12 pada bagian kepala robot, penambahan kamera pada robot, penambahan *mini PC* dengan Raspberry Pi Model 3B yang dipasang pada bagian depan tubuh robot, dan penambahan sensor IMU

gyroscope dan *accelerometer* yang dipasang pada titik COG robot humanoid.



Gambar 9 Realisasi Robot Humanoid Sepak Bola

Gambar 9 merupakan tampilan robot yang telah dimodifikasi. Pada bagian depan tubuh robot diberikan seng baja yang telah dibentuk sedemikian rupa agar dapat melindungi Raspberry Pi yang diletakkan pada bagian depan tubuh robot.

Tabel 2 Spesifikasi Robot Humanoid

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Tinggi Robot	45 cm
2	Lebar Robot	48 cm
3	<i>Degree of Freedom</i>	18
4	Aktuator	Dynamixel AX-12 Dynamixel AX-18
5	<i>Supply Daya</i>	Baterai Lipo 12 V 1000 mAh
6	<i>Controller</i>	Raspberry Pi 3
7	Kamera	Logitech Webcam C170
8	<i>Sub-Controller</i>	CM-530

3.1.1.1 Bagian Kepala Robot

Pada bagian kepala robot terdiri atas 2 servo dynamixel AX-12 yang dipasang sedemikian rupa sehingga robot dapat menggerakkan kepala ke atas dan bawah serta ke samping kanan dan kiri. Kamera dipasang dengan *frame* akrilik sehingga kamera dapat bergerak sesuai dengan arah gerakan kedua servo tersebut



Gambar 10 Tampak Depan dan Samping Robot

3.1.1.2 Bagian Tubuh Robot

Pada bagian depan tubuh robot dipasang *main controller* yaitu Raspberry Pi 3 Model B yang bertugas mengolah data kamera agar dapat mendeteksi bola maupun gawang. Pada bagian belakang tubuh robot dipasang *sub controller* yaitu U2D2 yang bertugas menggerakkan aktuator dan juga dipasang baterai Lipo 1000 mAh dan bertegangan 12 V sebagai *supply* daya. Tegangan kerja yang digunakan oleh Raspberry Pi 3 Model B adalah 5 V sehingga tegangan baterai perlu diturunkan menggunakan modul *step down*. Bagian depan dan belakang tubuh robot ditutup menggunakan baja ringan agar dapat melindungi rangkaian saat robot terjatuh. Pada bagian belakang tubuh robot juga dipasang 2 saklar yang berfungsi untuk mengaktifkan atau menon-aktifkan *main-controller* dan *sub-controller*.



Gambar 11 Bagian Depan dan Belakang Robot

3.1.1.3 Bagian Lengan Robot

Pada bagian lengan robot dipasang 3 aktuator yang terdiri atas servo dynamixel AX-12 yang dipasang dengan *frame* aluminium. Lengan robot dirangkai sedemikian rupa agar lengan digerakkan ke depan dan ke belakang serta ke kanan dan ke kiri.



Gambar 12 Bagian Samping dan Depan Lengan Robot

3.1.1.4 Bagian Kaki Robot

Pada bagian kaki robot terdiri atas 10 aktuator yang menggunakan servo dynamixel AX-18 dan dirangkai dengan *frame* aluminium. Pada bagian kaki dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat digerakkan maju, belakang, kiri, dan kanan.

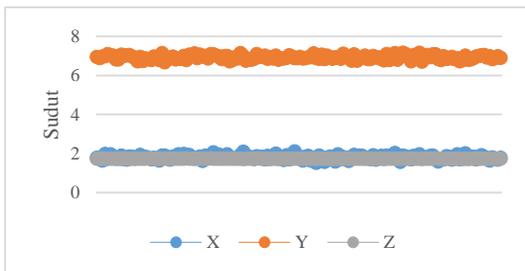


Gambar 13 Bagian Samping dan Depan Kaki Robot

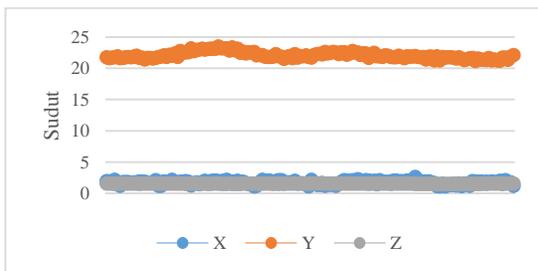
3.2 Pembahasan

3.2.1 Pengujian Sensor MPU6050

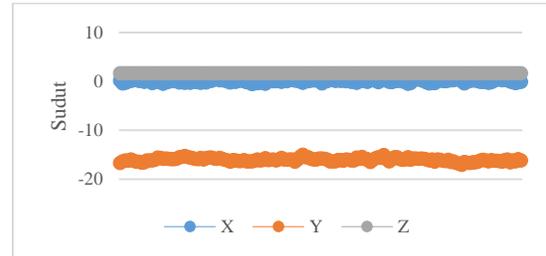
Pengujian ini dilakukan dengan penggunaan pose robot *stand by* yakni robot berdiri dengan dengan kaki yang sedikit ditekuk. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali yakni robot posisi *stand by*, dimiringkan ke depan, ke belakang, ke kiri, dan ke kanan. Data-data yang diperoleh ditunjukkan pada gambar 14 - 18.



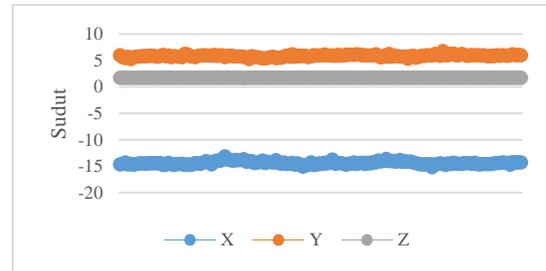
Gambar 14 Grafik Data Sensor MPU6050 Posisi *Stand By*



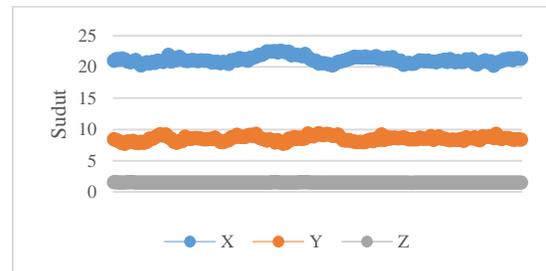
Gambar 15 Grafik Data Sensor MPU6050 Posisi *Stand By* Dimiringkan ke Depan



Gambar 16 Grafik Data Sensor MPU6050 Posisi *Stand By* Dimiringkan ke Belakang



Gambar 17 Grafik Data Sensor MPU6050 Posisi *Stand By* Dimiringkan ke Kanan



Gambar 18 Grafik Data Sensor MPU6050 Posisi *Stand By* Dimiringkan ke Kiri

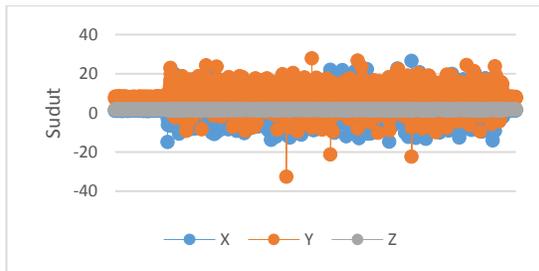
3.2.2 Pengujian Gerakan Statis

Pengujian pada gerakan statis dilakukan dengan mengeksekusi program robot berjalan. Robot akan dijalankan sejauh 100 cm pada 2 lintasan berbeda yakni karpet rumput sintetis dengan tinggi rumput 1 cm dan lantai keramik. Kemudian diamati *output* dari sensor MPU6050 dan juga diamati apakah robot terjatuh atau tidak.



Gambar 19 Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Berumput

Pengujian dilakukan dengan robot berjalan sejauh 100 cm pada lintasan berumput kemudian dari salah satu pengujian didapat *output* dari sensor MPU6050 seperti pada gambar 20 berikut.



Gambar 20 Grafik *Output* Sensor MPU6050 pada Pengujian 1 Gerakan Statis pada Lintasan Berumput

Pengujian dilakukan dengan 10 kali pengujian pada lintasan berumput dan hasil dari pengujian tersebut dijabarkan pada tabel 3.

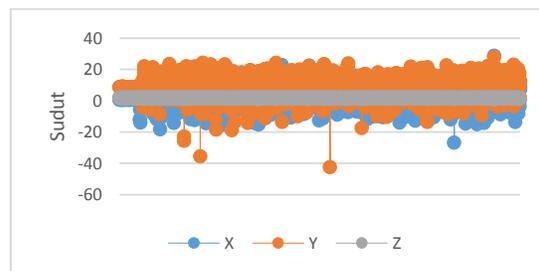
Tabel 3 Hasil Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Berumput

Pengujian	Keadaan Robot
1	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
2	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
3	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
4	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
5	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
6	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
7	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
8	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
9	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
10	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>



Gambar 20 Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Lantai Keramik

Pengujian selanjutnya dilakukan pada lintasan lantai keramik dengan robot berjalan selama 100 cm. Dari salah satu pengujian yang telah dilakukan didapatkan *output* dari sensor MPU6050 yang ditunjukkan pada gambar 21.



Gambar 21 Grafik *Output* Sensor MPU6050 pada Pengujian 1 Gerakan Statis pada Lintasan Lantai Berkeramik

Pengujian dilakukan dengan 10 kali pengujian pada lintasan lantai berkeramik dan hasil dari pengujian tersebut dijabarkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Berkeramik

Pengujian	Keadaan Robot
1	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
2	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
3	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
4	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
5	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
6	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
7	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
8	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
9	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>
10	Tidak Terjatuh sampai <i>Finish</i>

3.2.3 Analisa Hasil Data Pengujian Sensor MPU6050

Data yang telah didapat dari pengujian posisi robot dalam keadaan *stand by* berdasarkan gambar grafik 14 menunjukkan bahwa keadaan robot stabil saat diam pada sumbu Y data berkisar antara $6^\circ - 8^\circ$, pada sumbu X berkisar antara $1^\circ - 2^\circ$, dan pada sumbu Z berkisar antara $1^\circ - 2^\circ$. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memiringkan robot ke depan pada saat robot dalam posisi *stand by* menunjukkan perubahan data yang lebih besar pada sumbu Y seperti pada gambar grafik 15. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memiringkan robot ke belakang pada saat robot dalam posisi *stand by* menunjukkan perubahan data yang lebih kecil pada sumbu Y seperti pada gambar grafik 16. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memiringkan robot ke kanan pada saat robot dalam posisi *stand by* menunjukkan perubahan data yang lebih kecil pada sumbu X seperti pada gambar grafik 17. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memiringkan robot ke kiri pada saat robot dalam posisi *stand by* menunjukkan perubahan data yang lebih besar pada sumbu X seperti pada gambar grafik 18.

Tabel 5 Analisa Data Hasil Pengujian Sensor MPU6050

Posisi Robot	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
Berdiri	$1^\circ - 2^\circ$	$6^\circ - 8^\circ$	$1^\circ - 2^\circ$
Berdiri Dimiringkan Ke Depan	$1^\circ - 2^\circ$	$20^\circ - 22^\circ$	$1^\circ - 2^\circ$
Berdiri Dimiringkan ke Belakang	$1^\circ - 2^\circ$	$-15^\circ - -18^\circ$	$1^\circ - 2^\circ$
Berdiri Dimiringkan ke Kanan	$-15^\circ - -16^\circ$	$5^\circ - 6^\circ$	$1^\circ - 2^\circ$
Berdiri Dimiringkan ke Kiri	$20^\circ - 23^\circ$	$6^\circ - 8^\circ$	$1^\circ - 2^\circ$

3.2.4 Analisa Hasil Data Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Berumput

Analisa dilakukan dengan mencari data maksimum, minimum, rata-rata, dan standar deviasi dari data yang telah

didapatkan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 6 Analisa Data Hasil Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Berumput

Data	X	Y	Z
Maksimum	26,54	27,81	1,99
Minimum	-14,86	-32,65	0,97
Rata-Rata	2,10	7,97	1,71
Standar Deviasi	4,49	4,18	0,12

Berdasarkan hasil pengujian serta data dari sensor MPU6050 diketahui bahwa robot selama berjalan tidak terjatuh. Hal ini disebabkan karena setiap pose dari pembuatan gerakan jalan pada robot menerapkan konsep titik COG. Namun, berdasarkan hasil dari data sensor MPU6050 terdapat perubahan kemiringan pada robot. Hal ini, disebabkan karena faktor eksternal dari robot yakni pada lingkungan robot saat berjalan.

3.2.5 Analisa Hasil Data Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Lantai Berkeramik

Analisa dilakukan dengan mencari data maksimum, minimum, rata-rata, dan standar deviasi dari data yang telah didapatkan seperti yang ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7 Analisa Data Hasil Pengujian Gerakan Statis pada Lintasan Lantai Berkeramik

Data	X	Y	Z
Maksimum	28,74	27,82	1,99
Minimum	-26,93	-42,41	0,56
Rata-Rata	2,05	8,82	1,69
Standar Deviasi	4,78	5,49	0,15

Berdasarkan hasil pengujian serta data dari sensor MPU6050 diketahui bahwa robot selama berjalan tidak terjatuh. Hal ini disebabkan karena setiap pose dari pembuatan gerakan jalan pada robot menerapkan konsep titik COG. Namun, berdasarkan hasil dari data sensor MPU6050 terdapat perubahan kemiringan pada robot. Hal ini, disebabkan karena faktor eksternal dari robot yakni pada lingkungan robot saat berjalan.

4 SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan teori-teori yang sudah ada serta hasil pengujian dan analisa dari pergerakan robot humanoid berjalan, dalam membuat pergerakan robot perlu diperhatikan titik dari COG (Center of Gravity) agar selalu berada dalam polygon support dari robot agar robot tidak mudah terjatuh saat berjalan.

Sensor MPU6050 dapat digunakan sebagai pendeteksi kemiringan dari titik COG (Center of Gravity) robot humanoid. Data yang didapat dari sensor MPU6050 adalah data roll, pitch, dan yaw yang merupakan data dari kemiringan robot. Data kemiringan robot yang paling mengalami perubahan selama robot berjalan adalah roll dan pitch atau pada sumbu X dan Y. Data sensor MPU6050 pada saat robot dimiringkan ke depan dan ke belakang hanya mengalami perubahan pada sumbu Y. Sedangkan data sensor MPU6050 pada saat robot dimiringkan ke kanan dan ke kiri hanya mengalami perubahan pada sumbu X.

Pengujian gerakan statis pada lintasan berumput memiliki rata-rata nilai yang lebih besar pada sumbu X dan Y ketimbang pada lintasan lantai berkeramik. Hal ini disebabkan oleh faktor lingkungan pada lantai keramik yang memiliki tingkat gaya gesek yang lebih kecil dibandingkan dengan lintasan berumput yang membuat robot mengalami *slip* pada saat bergerak.

4.2 Saran

Pergerakan statis robot masih terdapat gangguan kestabilan pada kemiringan titik COG. Hal ini dapat diatasi dengan menerapkan pergerakan dinamis robot yang mana robot dapat menstabilkan pose agar kemiringan titik COG tidak mengalami perubahan yang drastis.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sholihah, W. Adiprawita and K. Mutijarsa, "Design and Implementation of Playing Soccer Communication System and Strategy Algorithm on Humanoid Robot Soccer KidSize," *2014 IEEE 4th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, 2014.
- [2] Kemenristekdikti, "Panduan Kontes Robot Sepak Bola Indonesia Divisi Humanoid," 2017.
- [3] D. Caysar, "Pengaturan Pergerakan Robot Lengan Smart Arm Robotic Ax-12a Melalui Pendekatan Geometry Based Kinematic Menggunakan Arduino," *SKRIPSI*, pp. 1-8, 2014.
- [4] A. A. Saputra, A. Al-Farouq, H. A. Al-Khusna, E. A. Herbanu, H. Bastian and D. Pritovani, "Implementasi Pembangkitan Pola Gerakan Berjalan Berbasis Trajektori Joint Pada Robot EROS-1(EEPIS Robosoccer-1)," *ISRC*, pp. 45-48, 2013.
- [1] M. Sholihah, W. Adiprawita and K. Mutijarsa, "Design and Implementation of Playing Soccer Communication System and Strategy Algorithm on Humanoid Robot Soccer KidSize," *2014 IEEE 4th*