

Rancang Bangun Robot *Humanoid* Penari Untuk Berjalan Pada Lantai Berundak

Nikmatul Azizah¹, Bustanul Arifin^{*)2}, Eka Nuryanto Budisusila³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

^{*)}Corresponding author, email: bustanul@unissula.ac.id

Abstrak	INFO.
<p>Perkembangan dunia robotika di Indonesia telah maju dengan pesat. Salah satu perkembangan robot yaitu robot humanoid, robot humanoid merupakan salah satu bentuk teknologi dalam dunia robotika yang dimana robot ini memiliki kemampuan untuk dapat menirukan beberapa kegiatan manusia contohnya yaitu jongkok, berdiri, dan berjalan. Salah satu contoh robot humanoid adalah robot penari, yang biasanya di ajang perlombaan robot humanoid yang ada di Indonesia adalah Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI). Jenis motor servo yang digunakan pada robot humanoid yaitu servo Dynamixel MX-28T. Pada penelitian ini dilakukan sebuah perancangan robot humanoid dengan menggunakan kontroler OpenCM9.04 dan OpenCM 485 EXP, serta menggunakan software robotis. Pengujian menggunakan variasi <i>MotionPagePlay</i> yaitu 1800, 2200, 2500, 2800, dan 3200. <i>MotionPagePlay</i> yang digunakan dapat mempengaruhi perpindahan gerak robot humanoid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan permukaan berundak yang mempunyai perbedaan ketinggian 4mm dapat dilalui oleh robot dengan baik, dengan <i>MotionPagePlay</i> senilai 2500 dan 2800. Persentase keberhasilannya mencapai 90%. Sedangkan untuk berjalan di area datar dengan <i>MotionPagePlay</i> senilai 2200 dengan rata-rata persentase <i>error</i> 0,33%.</p>	<p>Info. Artikel: No. 446 Received. July, 21, 2023 Revised. August, 03, 2023 Accepted. August, 08, 2023 Page. 555 – 565</p> <p>Kata kunci: ✓ Robot Humanoid ✓ KRSTI ✓ Dynamixel MX 28T ✓ OpenCM ✓ MotionPagePlay</p>

Abstract
<p><i>The development of the world of robotics in Indonesia has progressed rapidly. One of the robot developments is the humanoid robot, humanoid robot is a form of technology in the world of robotics where this robot has the ability to be able to imitate several human activities, for example, namely squatting, standing and walking. One example of a humanoid robot is a dancing robot, which is usually held in humanoid robot competitions in Indonesia, namely the Indonesian Dance Robot Contest (KRSTI). The type of servo motor used in humanoid robots is the Dynamixel MX- 28T servo. In this research a humanoid robot design was carried out using the OpenCM9.04 and OpenCM 485 EXP controllers, as well as using robotic software. The test uses variations of MotionPagePlay, namely 1800, 2200, 2500, 2800, and 3200. The MotionPagePlay used can affect the movement of humanoid robots. The results showed that with a stepped surface that has a height difference of 4mm the robot can pass well, with MotionPagePlay worth 2500 and 2800. The percentage of success reaches 90%. Meanwhile, for walking in flat areas with MotionPagePlay worth 2200 with an average error percentage of 0.33%.</i></p>

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia robotika di Indonesia sudah maju sangat pesat. Dengan terbuktinya banyak kontes-kontes robot yang telah diselenggarakan dan juga jumlah pesertanyapun semakin meningkat dari tahun ke tahun. Salah satu jenis robot yang banyak dilakukan penelitian yaitu robot *humanoid*. Robot *humanoid* merupakan robot yang meyerupai manusia yang dimana robot ini dapat digunakan dalam bidang, kesenian, kesehatan, pendidikan dan industri[1]. Berdasarkan panduan umum Kontes Robot Indonesia 2023 dijelaskan bahwa Kontes Robot Indonesia (KRI) adalah kegiatan perlombaan yang diselenggarakan oleh Balai Pengembangan Talenta Indonesia (BPTI) Pusat Prestasi Nasional (Puspresnas) Kementerian, Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) Republik Indonesia[2], [3].

Di Indonesia terdapat ajang tahunan tentang dunia robotika yaitu KRI (Kontes Robot Indonesia) yang diikuti oleh perguruan tinggi seluruh Indonesia baik negeri maupun swasta. Dalam Kontes Robot Indonesia terdapat berbagai divisi, salah satunya yaitu Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI). Dengan adanya kontes tari nusantara merupakan salah satu upaya dalam pelestarian warisan budaya[4] yang telah memanfaatkan perkembangan teknologi. Kontes Robot Seni Tari Indonesia (KRSTI) merupakan kompetisi perancangan, pembuatan, dan pemrograman robot *humanoid* yang disertai dengan unsur seni dan budaya bangsa Indonesia khususnya seni tari di tanah air. Untuk pelaksanaan KRSTI tahun 2023 mengambil tema “Robot Penari Denok Semarang/Robot Penari Gambang Semarang”[3]. Tari denok merupakan tarian tradisional yang berasal dari Kota Semarang ibu kota Jawa Tengah yang sudah terpengaruh oleh gerak gaya Surakarta[5].

Robot *humanoid* yang dipertandingkan pada KRSTI 2023 mampu melakukan gerakan-gerakan dalam Tarian Denok Semarang. Pada salah satu peraturan yang dibuat dalam lomba KRI di KRSTI ini yaitu robot dapat melewati Zona B dengan papan yang berukuran 1190x800mm dan ketinggian 4mm. Pada Zona B ini memiliki Zona Larangan dengan diameter 300mm dengan tinggi 10mm, dimana Zona Larangan ini tidak boleh dilewati[3].

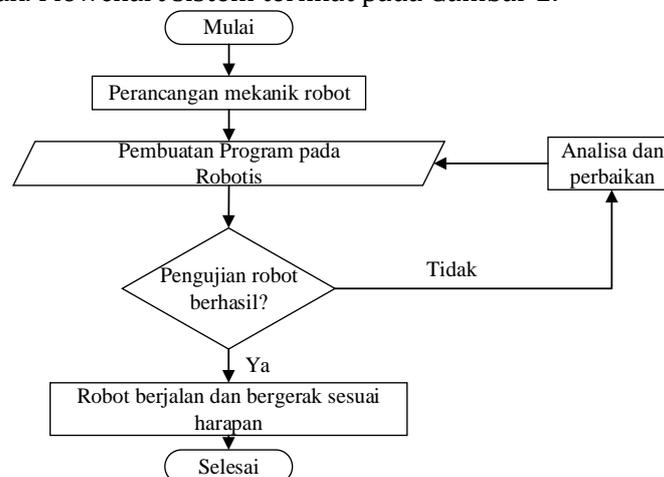
Penelitian yang akan dilakukan tentang rancang bangun yang terdapat pada robot KRSTI Tim Saroseta. Robot *humanoid* pada penelitian ini dapat melakukan gerakan berjalan melewati undakan. Sesuai dengan judul dari penelitian ini yaitu “Rancang Bangun Robot Humanoid Penari Untuk Berjalan Pada Lantai Berundak” maka, penelitian juga akan membahas tentang gerak robot berjalan pada lantai yang berundak dengan melewati zona dengan ketinggian 4mm. Pada prinsipnya, robot *humanoid* yang dirancang hanya robot dapat berjalan[6] namun dalam penelitian ini robot dapat berjalan pada permukaan yang lebih tinggi 4mm dengan menggunakan motor servo *Dynamixel MX-28T* dengan kontroler *OpenCM9.04* dan *OpenCM 485 EXP*. Dalam penggunaan motor memerlukan sebuah kontrol agar dapat digunakan sesuai dengan fungsinya[7].

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa proses dengan tujuan untuk mempermudah dalam pengimplementasiannya. Proses yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi diagram blok, flowchart sistem, perancangan mekanik, perancangan *hardware*, dan perancangan *software* yang diuraikan sebagai berikut:

Flowchart Sistem

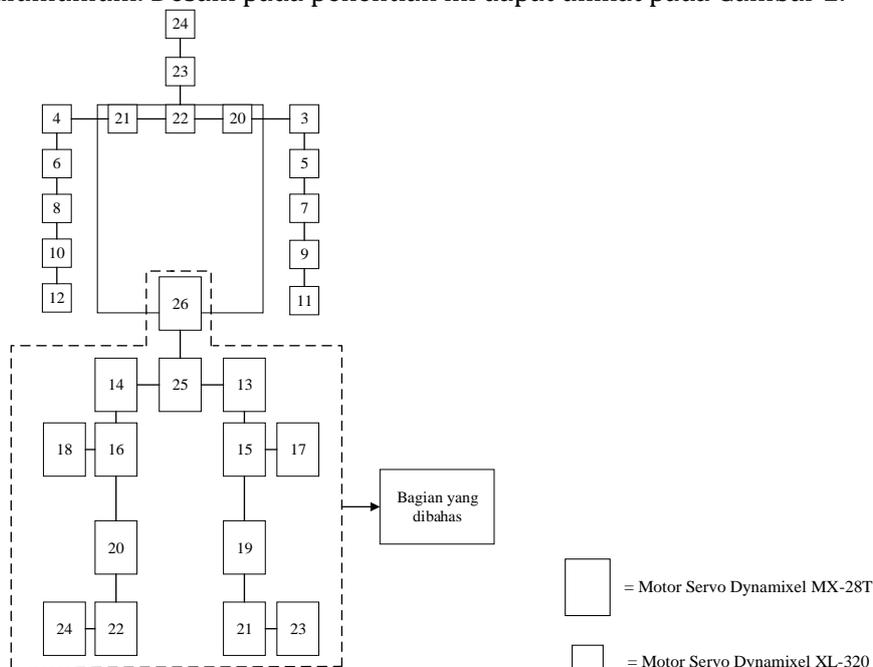
Flowchart menjelaskan tentang alur kerja dari keseluruhan sistem yang akan dirancang, berikut ini merupakan penjelasan flowchart dari Perancangan Sistem Gerak Berjalan Robot Humanoid Penari pada Jalan yang Berundak. Flowchart sistem terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Flowchart perancangan sistem gerak dan berjalan robot humanoid penari

Perancangan Mekanik

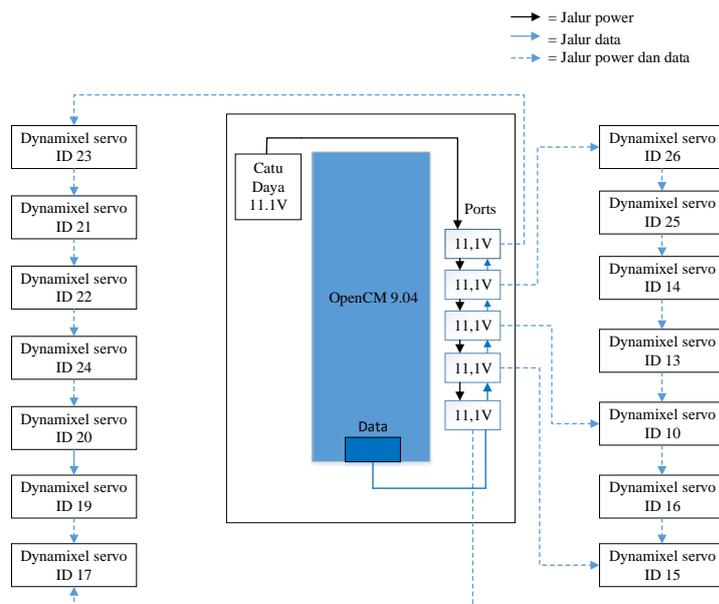
Perancangan mekanik pada robot humanoid penari ini didesain seperti dengan manusia yang pada umumnya yang dapat melakukan gerakan tari. Robot *humanoid* penari menggunakan dua jenis motor servo. Pada kerangka tubuh, tangan dan juga kepala menggunakan motor servo Dynamixel XL-320 dengan jumlah 13 buah motor servo. Pada bagian kedua kaki dan bagian perut menggunakan jenis servo Dynamixel MX-28T dengan jumlah 14 buah motor servo sedangkan untuk kerangkanya sendiri menggunakan alumunium. Desain pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desai Perancangan Sistem Mekanik Robot Humanoid

Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* bermanfaat unruk menentukan perangkat yang akan digunakan, dengan perancangan *hardware* dapat membantu dalam menentukan mekanik yang diperlukan. Berikut ini merupakan diagram blok dari perancangan *hardware* pada bagian kaki robot *humanoid*.



Gambar 3 Diagram blok sistem robot humanoid pada bagian kaki

Berdasarkan diagram blok pada Gambar 1, terdapat beberapa komponen yang berfungsi sebagai berikut:

1. Catu Daya 11,1V
Catu daya dengan tegangan 11,1V digunakan untuk mencatu motor servo[8] *Dynamixel* 28T. Catu daya yang digunakan yaitu baterai Lipo 3s 25C 2200mAh.
2. OpenCM9.04
OpenCM 9.04 digunakan untuk kontroler pada motor servo[9]. OpenCM 9.04 yang digunakan yaitu dengan *type* C. Pada openCM 9.04 *type* C hanya memiliki sambungan *Dynamixel* TTL seri XL yang berjumlah 4[10]
3. OpenCM 485
OpenCM 485 digunakan sebagai *board ekspansi* sebagai pengontrol motor servo *Dynamixel*. Dibutuhkan kontroler OpenCM 9.04 sebagai pendukung *Dynamixel* menggunakan TTL dan RS-485[11], [12]. OpenCM 485 *EXP* digunakan, untuk menerima data motor dari koneksi OpenCM dan menghubungkannya ke Sumber Daya listrik[13].
4. Servo *Dynamixel* MX 28T
Servo *Dynamixel* MX series merupakan konsep baru dari *Dynamixel* dengan fungsi lanjutan, seperti kontrol presisi, kontrol PID, kontrol posisi 360 derajat dan komunikasi kecepatan tinggi. Kontrol posisi pada MX-series ini sebesar 360 derajat tanpa zona mati.[14]. Motor servo tersebut merupakan jenis motor servo yang presisi dan memiliki susunan roda gigi *open-circuit* dari kontroler yang terdapat dalam satu paket. *Circuit* dari kontroler merupakan otak dari setiap motor servo[15].

Perancangan Software

Perancangan *software* atau perangkat lunak pada tugas akhir ini yaitu dengan menggunakan ROBOTIS OpenCM. ROBOTIS OpenCM adalah perangkat lunak pengembangan dan alat download untuk *board* OpenCM9.04[16]. Program yang telah dikembangkan pada ROBOTIS OpenCM dikompilasi dan diunggah ke OpenCM9.04 untuk mengontrol input maupun output dari keseluruhan sistem guna untuk menjalankan robot *humanoid* untuk dapat berjalan pada permukaan yang berundak dengan ketinggian 4mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukannya beberapa tahapan seperti perancangan mekanik, *hardware*, dan *software*. Maka terbentuklah bentuk fisik robot *humanoid* dan hasil dari implementasi perancangan pergerakan kaki robot. Analisa data menggunakan nilai rata-rata dari keberhasilan robot *humanoid* untuk dapat mengetahui jumlah persentase keberhasilan pada setiap pengujian dengan *MotionPagePlay* 1800, 2200, 2500, 2800, dan 3200.

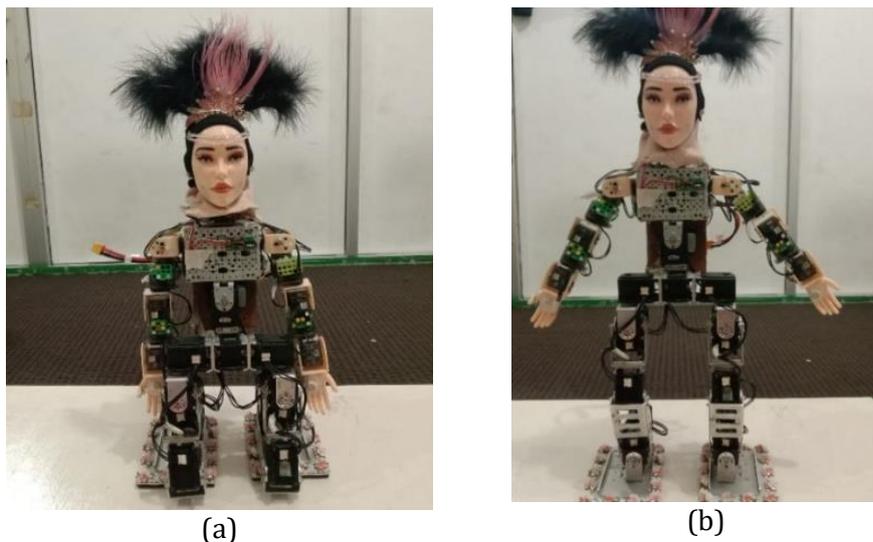
Hasil Perancangan Software

Pada hasil perancangan *software* akan dilakukan langkah variasi gerakan jongkok, *stay*(berdiri), dan berjalan sebagai berikut:

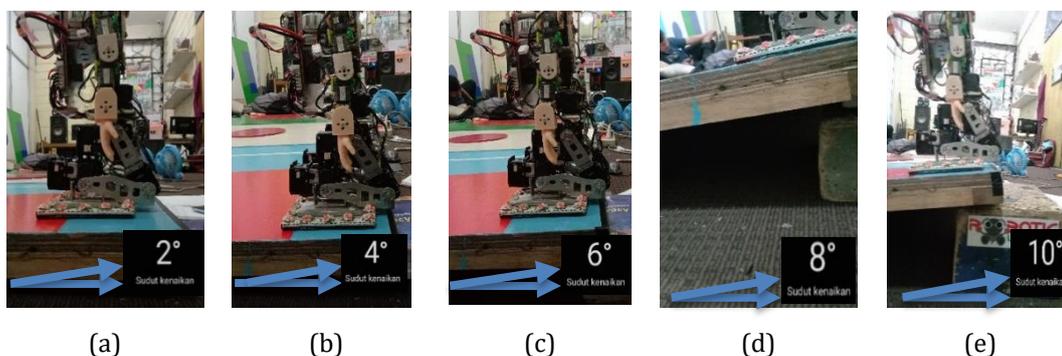
1. Mekanisme Jongkok dan Stay

Terlihat pada Gambar 4 (a) bahwa robot *humanoid* penari seperti sedang dalam posisi jongkok. Pada saat robot *humanoid* diberi hambatan dengan angin maupun sentuhan pada robot *humanoid*, robot tetap dapat berjongkok dengan baik. Begitupun pada saat percobaan pada permukaan dengan kemiringan 2°, 4°, 6°, 8° dan 10° robot *humanoid* masih dapat berjongkok dengan baik, dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada saat pengujian mekanisme *stay* Gambar 4 (b) dengan rentan waktu robot berdiri selama 1 menit 54 detik robot masih dapat berdiri dengan baik. Namun, pada tumpuan lutut robot *humanoid* penari sedikit mengalami perubahan suhu. Pada saat diberi hambatan angin dan sentuhan sedikit robot *humanoid* penari masih dapat berdiri dengan baik.



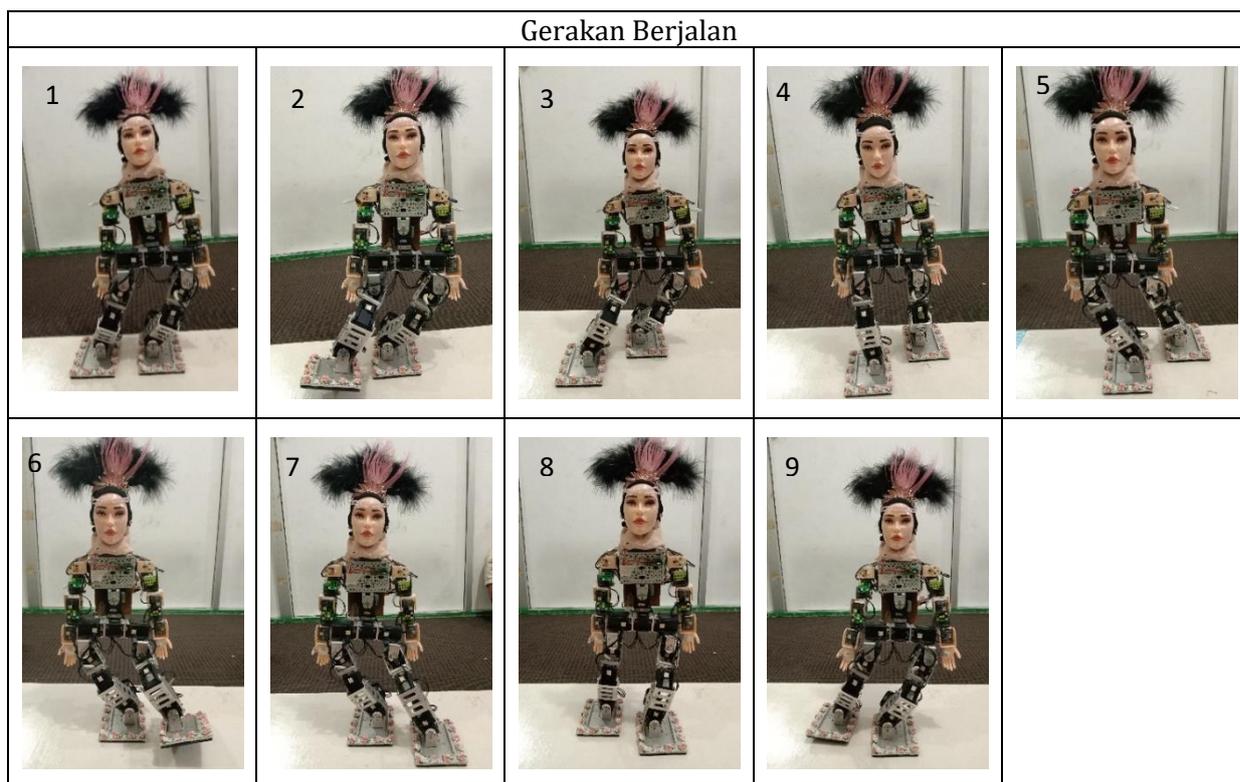
Gambar 4 Hasil perancangan software (a) jongkok dan (b) stay



Gambar 5 Hasil percobaan mekanisme jongkok dengan kemiringan (a) 2°, (b) 4°, (c) 6°, (d) 8°, dan (e) 8°

2. Mekanisme Berjalan

Gerakan berjalan pada robot humanoid penari ini langkahnya hampir menyerupai berjalannya manusia, yaitu gerakan pergantian langkah kaki kanan dan juga kaki kiri yang dilakukan secara bergiliran. Dapat di lihat pada Gambar 6 terdapat 9 *step*. *Step* pertama yaitu robot miring ke kiri, pada menit ke 1 servo tidak dapat menahan beban. *Step* kedua yaitu miring ke kiri kaki kanan melangkah, pada detik ke 23 servo tidak dapat menahan beban. *Step* ketiga yaitu kaki kanan robot menyentuh tanah dengan posisi robot masih miring, pada detik ke 17 servo tidak dapat menahan beban. *Step* keempat yaitu posisi badan robot stabil di tengah, pada detik ke 17 servo tidak dapat menahan beban. *Step* kelima yaitu robot miring ke kanan, robot dapat bertahan selama 50 detik. *Step* keenam yaitu miring ke kanan kaki kiri melangkah, pada detik ke 35 servo tidak dapat menahan beban. *Step* ketujuh yaitu kaki kiri robot menyentuh tanah dengan posisi robot masih miring, robot dapat bertahan selama 1 menit. *Step* kedelapan yaitu posisi robot stabil ditengah, robot dapat bertahan selama 1 menit. *Step* kesembilan merupakan *step* pengganti untuk *step* pertama jika dilakukan pengulangan berjalan, robot dapat bertahan selama 31 detik. Pada langkah kaki kanan berjarak 8,8 cm, sedangkan langkah kaki kiri berjarak 15,4 cm.



Gambar 6 Step mekanisme berjalan

Hasil Pengujian Jalan pada Permukaan Bidang

Pengujian robot berjalan pada permukaan yang bidang dilakukan dengan meletakkan robot di atas lapangan yang telah disediakan dengan panjang 71 cm serta jarak selebar 26 cm. Pengujian delay atau MotionPagePlay yang akan dilakukan pengujian sebanyak 10 kali mulai dari MotionPagePlay 1800, 2200, 2500, 2800 dan 3200. Pengaturan MotionPagePlay yang digunakan yaitu untuk mengatur kecepatan gerak atau perpindahan gerak robot humanoid dari gerakan satu kegerakan yang satunya. Dengan pengaturan pada percepatan geraknya yaitu mempengaruhi gerakan robot. Dapat dilihat dari Tabel 1 merupakan rata-rata dari hasil keseluruhan pengujian pada permukaan bidang dengan menggunakan variasi MotionPagePlay.

Tabel 1 Hasil pengujian berjalan pada permukaan bidang secara keseluruhan

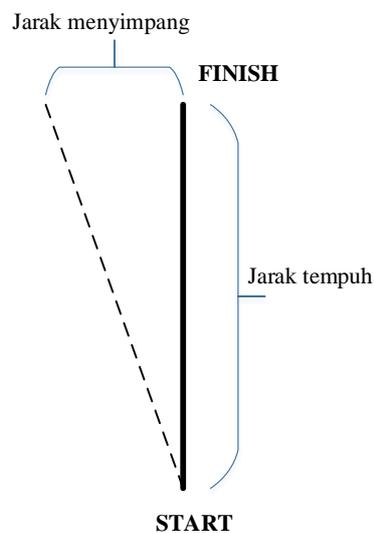
MotionPagePlay	Rata-rata nilai sudut	Rata-rata persentase error	Jumlah keberhasilan (dari 10 percobaan)
1800	1,08°	0,60%	4
2200	0,59°	0,33%	7
2500	0,86°	0,48%	6
2800	1,44°	0,80%	5
3200	0,77°	0,43%	6

Dari hasil pengujian dengan menggunakan MotionPagePlay yang berbeda-beda akan memberikan hasil yang berbeda pula. Pada saat percobaan dengan menggunakan MotionPagePlay 1800 menunjukkan bahwa dengan perpindahan pergerakan 1,8 detik setiap pergerakannya akan menghasilkan robot humanoid kurang seimbang dalam berjalannya, sehingga mengakibatkan robot menyerong pada satu sisi. Percobaan dengan menggunakan MotionPagePlay 2200 memiliki hasil yang baik jika dibandingkan dengan MotionPagePlay yang lainnya. Pada pengujian tersebut robot dapat berjalan dengan lurus walaupun terdapat percobaan yang dimana robot melewati batas. Adapun hasil percobaan secara lengkap dengan MotionPagePlay 2200 dapat dilihat pada Tabel 2. Pada percobaan dengan MotionPagePlay 2500 dan 2800 menghasilkan bahwa perpindahan pergerakan menghasilkan

pergeseran pada tiap langkahnya. Kemudian, pada hasil percobaan dengan *MotionPagePlay* 3200 menghasilkan rata-rata persentase *error* 0,43% yang dimana untuk pergeseran yang terjadi pada saat robot berjalan tidak lebih dari 1 cm. Rata-rata dari hasil percobaan tersebut jika robot menyeronong, robot akan menyeronong ke kiri. Pengujian pada permukaan bidang dengan *MotionPagePlay* yang telah diujikan menghasilkan bahwa dengan menggunakan yang terlalu cepat maupun lambat dapat mempengaruhi jalannya robot *humanoid*. Pada pengujian ini posisi awal robot juga mempengaruhi hasil akhir dari robot. Apabila robot bergeser 1 milimeter dapat mengakibatkan jalan robot sedikit menyeronong. Gambar 7 merupakan hasil akhir pada saat robot berhenti yaitu yang dimana kedua kaki robot masih berada dalam garis jarak yang telah ditentukan.

Tabel 2 Hasil pengujian berjalan pada permukaan bidang dengan *MotionPagePlay* 2200

Percobaan	Jarak menyimpang (cm)	Sudut	Persentase <i>error</i>
1	0,5	0,40°	0,22%
2	0,5	0,40°	0,22%
3	0,5	0,40°	0,22%
4	1,5	1,21°	0,67%
5	0,5	0,40°	0,22%
6	0,5	0,40°	0,22%
7	0,7	0,56°	0,31%
8	0,5	0,40°	0,22%
9	0,5	0,40°	0,22%
10	1,6	1,29°	0,72%
Rata-rata			0,33%



Gambar 7 Ilustrasi pengukuran menyimpang

Pada Tabel 2 terdapat perhitungan sudut[17] yang dihasilkan dari persamaan (1):

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Jarak menyimpang}}{\text{Jarak tempuh}} \right) \tag{1}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,5}{71} \right)$$

$$\theta = 0,40^\circ$$

Setelah mendapatkan hasil dari sudut maka dapat dilakukan perhitungan persentase *error* dengan menggunakan rumus persamaan (2) berikut:

$$\text{Persentase error} = \frac{\text{Hasil sudut}}{180^\circ} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Persentase error} = \frac{0,40^\circ}{180^\circ} \times 100\%$$

$$\text{Persentase error} = 0,22\%$$

Dari 10 hasil persentase *error* maka didapatkan rata-rata persentase *error* yaitu dengan menggunakan persamaan (3) berikut:

$$\text{Rata – rata persentase error} = \frac{\text{Jumlah persentase error}}{\text{Jumlah percobaan}} \quad (3)$$

$$\text{Rata – rata persentase error} = \frac{3,3}{10}$$

$$\text{Rata – rata persentase error} = 0,33\%.$$

Nilai *error* pada pengujian permukaan bidang ini dipengaruhi oleh percepatan perpindahan pada pergantian gerak robot *humanoid*. Sehingga jalan robot *humanoid* menjadi kurang seimbang pada saat berjalan, sehingga mengakibatkan pergeseran. Selain itu, terdapat faktor lain seperti halnya kondisi suhu pada servo yang meningkat, serta tegangan baterai yang kurang dari 12,2V.



Gambar 8 Hasil percobaan pada permukaan bidang dengan *MotionPagePlay* 2200

Hasil Pengujian Jalan pada Permukaan Berundak

Pengujian robot berjalan pada permukaan yang terdapat undakan dengan ketinggian 4mm dan terdapat zona larangan di tengah dengan diameter 300mm[3] dilakukan dengan meletakkan robot di atas lapangan yang telah disediakan. Pada pengujian permukaan berundak yaitu dengan menggunakan variasi *MotionPagePlay* 1800, 2200, 2500, dan 3200. Terlihat pada Tabel 3 merupakan rata-rata dari hasil keseluruhan pengujian pada permukaan berundak dengan menggunakan variasi *MotionPagePlay*. Persentase keberhasilan didapatkan dari persamaan (4);

$$\text{Persentase keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah keberhasilan}}{\text{Jumlah percobaan}} \times 100\% \quad (4)$$

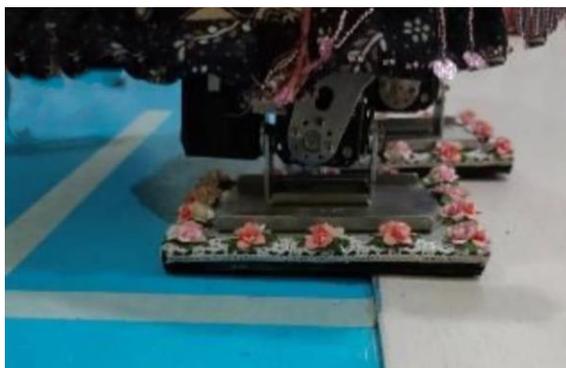
$$\text{Persentase keberhasilan} = \frac{3}{10} \times 100\%.$$

$$\text{Persentase keberhasilan} = 30\%.$$

Tabel 3 Hasil pengujian berjalan pada permukaan berundak secara keseluruhan

<i>MotionPagePlay</i>	Jumlah Keberhasilan (dari 10 percobaan)	Persentase keberhasilan
1800	3	30%
2200	6	60%
2500	9	90%
2800	9	90%
3200	1	10%

Tabel 3 merupakan ringkasan hasil pengujian yang telah dilakukan pengujian pada robot *humanoid* penari dapat disimpulkan bahwa *MotionPagePlay* pada pengujian ini berpengaruh. Pengujian pada permukaan berundak dapat dilihat pada Gambar 9 yang terdapat perbedaan tinggi 4mm pada permukaan lapangan. Pada saat pengujian dengan menggunakan *MotionPagePlay* 1800 pada robot *humanoid* penari tingkat keberhasilannya pada percobaan ini adalah 30%. Pada percobaan ini robot *humanoid* dapat berjalan dengan perpindahan gerak yang cepat dan jalan lurus tetapi robot *humanoid* penari ini pada saat menaiki undakan robot *humanoid* hampir jatuh hanya kurang seimbang dan pada saat menuruni undakan robot terjatuh. Pada saat pengujian dengan *MotionPagePlay* 2200 pada robot *humanoid* penari tingkat keberhasilannya pada percobaan ini adalah 60%. Pada saat pengujian robot masih kurang stabil dalam menaiki undakan maupun turunan. Pada saat pengujian dengan *MotionPagePlay* 2500 dan 2800 pada robot *humanoid* penari tingkat keberhasilannya adalah 90% dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian dengan variasi *MotionPagePlay* ini adalah hampir semua percobaan robot dapat berjalan melewati undakan dan juga turunan dengan baik dan tanpa mengenai zona larangan. Pada pengujian terakhir yaitu dengan menggunakan variasi *MotionPagePlay* 3200 pada robot *humanoid* penari tingkat keberhasilannya adalah 10%. Hasil pengujian ini robot berjalan dengan lambat dan pada saat berjalan ke jalan berundak robot sedikit kurang stabil mengakibatkan robot menyerong dan berjalan mengenai zona larangan, sehingga harus dilakukan pengangkatan robot untuk meletakkan posisi robot agar lurus kembali. Sedangkan, pada saat turun dari permukaan yang berundak robot *humanoid* penari dapat berjalan dengan baik. Sama halnya dengan permukaan bidang, pada permukaan berundak ini posisi awal robot juga mempengaruhi hasil akhir dari robot. Selain itu, perubahan suhu pada motor servo dan tegangan pada baterai juga mempengaruhi kinerja dari robot *humanoid*. Apabila robot bergeser 1 milimeter dapat mengakibatkan jalan robot sedikit menyerong. Dalam hasil pengujian yang telah digunakan yaitu dengan *MotionPagePlay* 2500 dan 2800 yang menunjukkan jumlah keberhasilan sebanyak 9 dari 10 percobaan.

Gambar 9 Hasil percobaan pada permukaan berundak dengan *MotionPagePlay*

Tabel 4 Hasil pengujian berjalan pada permukaan bidang dengan MotionPagePlay 2500

Percobaan	Hasil pengujian	Keterangan
1	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri dan hampir mengenai zona larangan
2	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri dan hampir mengenai zona larangan
3	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri dan hampir mengenai zona larangan
4	Tidak berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi menyentuh zona larangan
5	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri
6	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri
7	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri dan hampir menyentuh zona larangan
8	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri dan pada saat jalan sedikit tidak stabil
9	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri
10	Berhasil	Robot berjalan dengan baik pada saat naik undakan dan pada saat turun undakan, tetapi jalan agak menyerong ke kiri

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *MotionPagePlay* yang direkomendasikan adalah 2200 sampai dengan 2500. Jika *MotionPagePlay* diatur dengan lebih lambat maupun cepat maka akan mempengaruhi gerakan robot. Pada saat pengujian jalan pada permukaan bidang menunjukkan bahwa dengan menggunakan *MotionPagePlay* 2200 dapat berjalan dengan lurus menghasilkan keberhasilan sebanyak 7 dari 10 percobaan dengan persentase keberhasilan 70% serta rata-rata persentase *error* sebesar 0,33%. Sedangkan pada saat pengujian jalan pada permukaan berundak dengan *MotionPagePlay* 2500 sampai dengan 2800 menghasilkan keberhasilan sebanyak 9 dari 10 percobaan dengan persentase keberhasilan 90%.

Kondisi baterai dan juga perubahan suhu pada servo mempengaruhi kinerja terhadap gerakan pada robot humanoid. Kondisi baterai yang optimal untuk menggerakkan servo yaitu 12,6V sampai dengan 12,2V. Di bawah kondisi baterai tersebut maka kinerja dari servo akan menurun. Selama pengujian robot sebanyak 4 kali percobaan motor servo MX-28T mengalami peningkatan suhu pada servo sehingga dapat mempengaruhi kinerja gerakan pada robot humanoid.

Untuk penelitian lebih lanjut robot *humanoid* penari pada jalan berundak dapat menambahkan menambahkan sensor Gyroskop dan accelerometer yang digunakan untuk menunjang dalam pengenalan gerakan robot, menjaga keseimbangan serta mengontrol postur tubuh.

Robot humanoid memerlukan pemeriksaan secara berkala, terutama pada bagian dengan beban tumpuan yang berat. Pemeriksaan visual meliputi kerusakan dan keausan pada servo, uji gerak robot untuk memastikan bahwa servo bergerak dengan lancar, pemeriksaan suhu untuk memastikan bahwa servo telah bekerja lebih baik, pemeriksaan koneksi antar servo untuk memastikan bahwa antar servo telah terhubung dengan baik dan pemeriksaan catu daya yang cukup.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Fahd, D. Purwanto, and M. H. Fatoni, "Rancang Bangun Robot Penari Humanoid dengan 25 DoF untuk Melakukan Gerakan Tari Remo," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. 2337–3539, 2018.
- [2] Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi, "KRI 2023 - Kontes Robot Indonesia," *Panitia Pusat Kontes Robot Indonesia*, 2023. <https://kontesrobotindonesia.id/kri-2023.html> (accessed Apr. 20, 2023).
- [3] B. Kusumoputro *et al.*, *Buku Pedoman Kontes Robot Indonesia (Kri) Tahun 2023*. Jakarta: Balai Pengembangan Talenta Indonesia Pusat Prestasi Nasional Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, 2023.
- [4] F. Hermawanto and I. Karim, "Rancang Bangun Robot Penari Tidi," *Energy-Jurnal Ilm. Ilmu-Ilmu Tek.*, vol. 8, no. 2, pp. 35–41, 2018.
- [5] R. W. K. Andriani, "Minat Remaja Kelurahan Mugassari Kota Semarang Terhadap Tari Denok," 2015.
- [6] S. Soim, B. Joni, and F. D. Junaidi, "Perancangan Robot Humanoid Berbasis Mikrokontroler ATmega 32," *Pros. Semnastek*, pp. 1–6, 2015.
- [7] B. Arifin, A. A. Nugroho, B. Suprpto, S. A. D. Prasetyowati, and Z. Nawawi, "Review of Method for System Identification on Motors," in *2021 8th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2021, pp. 257–262.
- [8] L. A. Sutawati, I. N. S. Kumara, and W. Widiadha, "Pengembangan Three Degree of Freedom Hexapod sebagai Robot Pemadam Api dengan Sensor UVTron Hamamatsu," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, pp. 417–426, 2018.
- [9] H. D. Saputro, R. Maulana, and M. H. H. Ichsan, "Implementasi Real Time pada Pergerakan Robot Quadrupeid menggunakan Multisensor dan RTOS," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 12, pp. 6868–6875, 2018.
- [10] Robotis, "OpenCM 9.04." <https://manual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencm904/> (accessed Jul. 19, 2023).
- [11] Robotis, "OpenCM 485 EXP." <https://manual.robotis.com/docs/en/parts/controller/opencm485exp/> (accessed Sep. 26, 2022).
- [12] Robotis, "OpenCM 485 Expansion Board - Robotis." <https://www.robotis.us/opencm-485-expansion-board/> (accessed Sep. 26, 2022).
- [13] A. N. de Paula *et al.*, "Edrom Humanoid Kid Size 2019," 2019.
- [14] Robotis, "Dynamixel MX-28T - Robotis," 2022. <https://www.robotis.us/dynamixel-mx-28t/> (accessed Sep. 26, 2022).
- [15] U. W. Putri and T. Thamrin, "Perancangan Pergerakan Kaki Robot Humanoid Menggunakan Servo Dynamixel Berbasis OpenCM 9.04," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.)*, vol. 7, no. 3, pp. 76–84, 2019.
- [16] Robotis, "OpenCM IDE." https://manual.robotis.com/docs/en/software/opencm_ide/getting_started/# (accessed Jul. 19, 2023).
- [17] A. A. Syakur, R. Maulana, and E. Setiawan, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Pola Berjalan Pada Robot Hexapod Menggunakan Metode Inverse Kinematic," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, no. 6, pp. 1875–1881, 2020.