

PERANCANGAN SISTEM PENGGERAK ROBOT BERKAKI MENGUNAKAN *FORWARD KINEMATICS & INVERSE KINEMATICS*

Ferry Rippun Gideon Manalu^{1,2*}, Melisa Mulyadi², Linda Wijayanti²

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta

Email: ferry.rippun@atmajaya.ac.id

²Program Profesi Insinyur, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta

*Penulis Korespondensi

Masuk : 02-10-2023, revisi: 18-10-2023, diterima untuk diterbitkan : 25-10-2023

ABSTRAK

Dalam makalah ini dibahas mengenai penerapan sistem pembelajaran matematika trigonometri dan fisika menggunakan robot lengan dan robot berkaki. Sistem ini dikembangkan sebagai alternatif yang bisa digunakan dalam pembelajaran robotika di sekolah dasar atau di universitas dibandingkan sistem yang ada dengan harga yang mungkin jauh lebih mahal. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler dan motor *servo* yang mudah diperoleh di toko *online*. Sistem dibuat untuk menggerakkan robot lengan 3 *derajat kebebasan* (DOF: *degree of freedom*), robot berkaki 4 dan robot berkaki 6. Pada tahapan pengujian dilakukan pengujian ketepatan posisi dari implementasi kinematika terbalik dan pergerakan kinematika maju robot 3 DOF dengan 3 jenis motor *servo* analog yang berbeda. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa motor *servo* tipe SG90 menghasilkan kesalahan sudut yang lebih besar yaitu sekitar 6-8 derajat dibandingkan motor *servo* RDS 3135. Hal ini terjadi karena torsi motor SG90 sangat kecil untuk menggerakkan lengan dibandingkan MG945 dan RDS 3135. Dari pengujian perangkat lunak dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak sudah memiliki fitur-fitur yang dibutuhkan yaitu fitur komunikasi, fitur, pengendalian Gerakan motor dan fitur perekaman gerakan, dan semua fitur sudah berfungsi sesuai dengan tujuan.

Kata Kunci: Derajat Kebebasan, Kinematika Terbalik, Kinematika Maju, Robot Lengan, Motor *Servo*

ABSTRACT

This paper discusses the application of a trigonometry and physics mathematics learning sistem using arm and leg robots. This sistem was developed as an alternative that can be used in teaching robotics in elementary schools or universities compared to existing sistem which may be much more expensive. The sistem is built using a microcontroller and servo motor which are easily available in online stores. The sistem was created to move a 3 degree of freedom (DOF) arm robot, a 4 legged robot and a 6 legged robot. At the testing stage, the position accuracy of the implementation of inverse kinematics and forward kinematic movement of the 3 DOF robot was tested with 3 different types of analog servo motors. The test results show that the SG90 servo motor produces a larger angular error of around 6-8 degrees compared to the RDS 3135 servo motor. This occurs because the SG90 motor torque is very small to move the arm compared to the MG945 and RDS 3135. From software testing it can be seen conclude that the software already has the required features, namely communication features, motor movement control features and movement recording features, and all features are functioning according to their purpose.

Keywords: Degree of Freedom, Inverse Kinematics, Forward Kinematics, Arm Robot, Servo Motor

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Model Pendidikan sekolah dasar saat ini berkembang ke arah pembelajaran berbasis STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics*). Sistem pembelajaran ini dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis (Davidi, 2021) dan dapat meningkatkan kemampuan belajar, bertanya dan bereksperimen (Zubaidah, 2019). Pendekatan belajar ini dapat

mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan sebenarnya di dunia nyata yang semakin kompleks. Untuk dapat belajar dengan metode STEAM ini terkadang dibutuhkan model-model alat pembelajaran yang bisa dilihat, dirancang dan direalisasikan oleh para siswa dengan mudah. Salah satu model pembelajaran yang mudah dan mengasyikkan bagi para siswa adalah menggunakan model robot (Aristawati, 2017). Robot yang bisa diterapkan untuk model pembelajaran STEAM ini adalah model robot lengan 3 DOF. Dari pembelajaran model robot 3DOF ini dapat dikembangkan menjadi pembelajaran gerak robot berkaki 4 maupun berkaki 6, karena robot berkaki ini biasanya dibangun dari sistem robot 3DOF (Budiharto, 2014). Permasalahannya adalah sangat jarang perangkat lunak dan sistem perangkat keras yang mudah dan murah yang dapat diperoleh oleh sekolah. Beberapa perangkat lunak yang menjadi satu paket dengan sistem perangkat kerasnya antara lain adalah Robotis (Robotis, 2023) yang menggunakan motor *servo* digital Dynamixel, UBTECH Robot (UBTECH, 2023) dengan motor *servo* digital keluaran mereknya sendiri, LEGO Mindstorm, dan masih banyak perangkat lunak dengan satu paket perangkat keras yang merupakan paket dari mereknya sendiri. Untuk sekolah-sekolah yang memiliki kemampuan pembiayaan yang kuat, paket-paket pembelajaran robot di atas dapat direalisasikan. Tetapi sebagian besar sekolah di Indonesia masih memiliki kendala pembiayaan sehingga pembelajaran menggunakan perangkat di atas akan sulit untuk direalisasikan. Perkembangan toko *online* komponen elektronika sekarang ini sebenarnya sangat baik. Komponen-komponen sudah mudah diperoleh di toko *online* dengan harga terjangkau. Yang menjadi kendala dalam pembelajaran adalah bagaimana proses merancang sistem robot dan perangkat lunak apa yang bisa digunakan dengan mudah dan kompatibel dengan komponen-komponen yang ada, serta tipe komponen apa yang dapat digunakan dengan biaya yang sesuai dengan kemampuan tetapi tanpa mengurangi proses pembelajaran yang diperlukan. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem modul *User Interface* untuk pembelajaran robot lengan dan robot berkaki yang mudah dan murah untuk digunakan oleh pengguna. Selain itu dalam penelitian ini juga akan dibandingkan kinerja beberapa jenis motor *servo* dengan tipe tertentu yang mudah ditemukan di toko *online*. Dari penelitian ini diharapkan sekolah dapat mampu mengembangkan sistem pembelajaran praktis menggunakan modul robot rakitan sendiri dengan pengendalian robot menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan dalam penelitian ini serta dapat memutuskan sendiri penggunaan motor *servo* yang sesuai dengan kemampuan keuangan masing-masing sekolah. Dari penelitian ini diharapkan siswa maupun sekolah dapat mampu meningkatkan kemampuan STEAM mereka sehingga menunjang SDG (*Sustainable Development Goals*) yang dicanangkan oleh pemerintah terutama pada issue ke-4 yaitu *Quality Education*. (Klaus, 2021).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu: tahap pertama yaitu analisa dan uji coba perangkat lunak bawaan dari sistem yang sudah dijual dengan beberapa merek tertentu yaitu Robotis dan UBTECH Alpha 1. Dari tahapan pertama tersebut maka dirancang dan direalisasikan sistem perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan dan memiliki kemampuan yang mirip dengan perangkat lunak yang dicoba, dan mudah digunakan. Metode-metode Kinematika Maju dan Kinematika Terbalik diimplementasikan dalam perangkat lunak. Perangkat keras dirancang menggunakan mikrokontroler dengan 18 motor *servo* yang dapat dikendalikan oleh mikrokontroler. Untuk mengendalikan masing-masing motor *servo* dari aplikasi komputer ke mikrokontroler digunakan komunikasi dengan format data yang berisi nomor motor *servo*, sudut gerakan motor. Format data ini diperlukan agar sistem perangkat keras dapat mudah dikendalikan walaupun susunan rangkaiannya diubah-ubah karena sistem perangkat lunak dapat di atur nomor motor *servonya*. Tahapan pembuatan perangkat lunak dimulai dengan pembuatan perangkat lunak untuk mengendalikan lengan robot 3 DOF. Sistem perangkat lunak ini digunakan untuk pengujian Kinematika Maju dan Kinematika Terbalik serta menguji kemampuan beberapa jenis motor *servo*.

Tahapan selanjutnya adalah merancang dan merealisasikan sistem perangkat lunak penggerak robot bertipe 2 kaki, 4 kaki dan 6 kaki. Masing-masing jenis robot ini sebenarnya menggunakan Teknik lengan robot 3 DOF sehingga untuk implementasinya dapat menduplikasi sistem robot 3 DOF dengan penyesuaian-penyesuaian. Setelah perangkat keras dan perangkat lunak di realisasikan, tahapan selanjutnya adalah pengujian sistem perangkat keras dan perangkat lunak. Di pengujian sistem perangkat keras digunakan sistem lengan robot 3 DOF. Dalam pengujian ini ingin diketahui kinerja dari masing-masing jenis motor *servo* di pasaran. Dalam penelitian ini diambil jenis motor *servo* SG90, MG945, dan RDS3135. Ketiga jenis motor *servo* tersebut dipilih karena mudah dicari, dan memiliki kemampuan torsi yang berbeda-beda seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Selain itu masing-masing motor *servo* juga memiliki perbedaan harga yang bisa menjadi pertimbangan dalam penggunaannya nanti.

Tabel 1. Torsi motor *servo* SG90, MG945, dan RDS3135

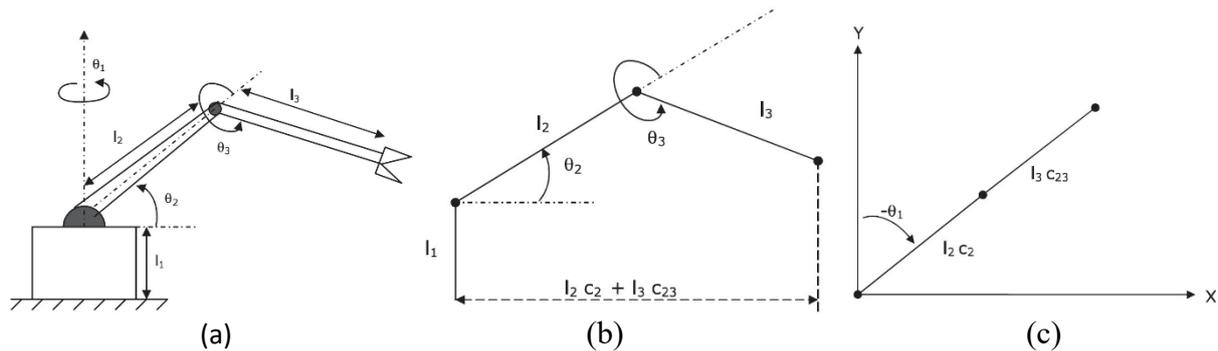
Motor <i>Servo</i>	berat	Torsi
SG90	9gr	1.8kg-cm
MG945	55gr	12kg-cm
RDS3135	64gr	35kg-cm

Dari hasil penelitian ini akan diperoleh informasi motor *servo* yang memiliki kinerja lebih baik. Pengujian selanjutnya adalah pengujian kinerja perangkat lunak yang dirancang. Dalam pengujian ini akan dicoba penggunaan perangkat lunak apakah mudah digunakan dan mudah di hubungkan dengan perangkat keras tanpa butuh kemampuan pemrograman tertentu. Diharapkan dengan pengujian dapat diketahui apakah sistem sudah dapat digunakan oleh orang biasa dan tanpa harus memahami pemrograman lebih lanjut. Proses penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

Model robot yang digunakan dalam penelitian ini adalah model robot Articulated Robot. Model robot tipe ini adalah robot dengan sendi rotasi yang mana menurut strukturnya dapat berupa dua sendi/*Joint* atau lebih yang di gerakan oleh motor listrik dengan bentuk lengan robot diperlihatkan pada Gambar 2. Robot yang direalisasikan merupakan robot dengan 3 *Degree of Freedom* (DOF). Arti dari 3 DOF berarti ada 3 kendali gerak bebas pada sistem robot yang diwakili oleh masing-masing sistem penggerak motor seperti diperlihatkan pada Gambar 2 yaitu motor pertama yang menggerakkan θ_1 , motor kedua yang menggerakkan θ_2 dan motor ketiga yang menggerakkan θ_3 .



Gambar 2. *Articulated Robot 3 DOF* (Cook, 2020)

(a) sketsa 3 dimensi (b) sketsa sambungan antar sendi, (c) sketsa posisi lengan tampak atas

Dalam merancang sistem simulasi pengendali gerakan robot, metode yang digunakan adalah metode Kinematika Maju dan Kinematika Terbalik. Berdasarkan gambar 2b dan 2c dapat ditentukan perhitungan posisi x,y, dan z untuk pergerakan sudut motor $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ berdasarkan Kinematika Maju. Parameter-parameter yang berpengaruh dalam perhitungan Kinematika Maju ini adalah $L_1, L_2, L_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3$. Dari parameter-parameter tersebut dapat dihitung nilai z seperti Persamaan (1) sampai persamaan (3) (Cook, F. & Zhang, F. 2020).

$$x = -\{l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)\} \sin \theta_1 \quad (1)$$

$$y = \{l_2 \cos \theta_2 + l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3)\} \cos \theta_1 \quad (2)$$

$$z = l_1 + l_2 \sin \theta_2 + l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (3)$$

Untuk perhitungan Kinematika Terbalik, parameter-parameter yang diproses adalah L_1, L_2, L_3, z , dan posisi yang diinginkan yaitu x, y , dan z . Nilai tersebut diproses untuk mendapatkan posisi sudut $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ seperti diperlihatkan pada persamaan 4 sampai persamaan 6 (Cook, F. & Zhang, F. 2020).

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{-x}{y} \right) \quad (4)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 - l_2^2 - l_3^2}{2l_2l_3} \right) \quad (5)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2 + l_2^2 - l_3^2\} / \{2l_2 \sqrt{x^2 + y^2 + (z - l_1)^2}\} + \alpha \quad (6)$$

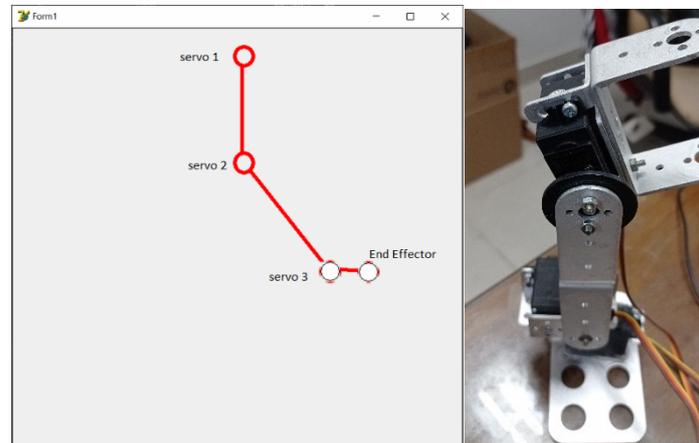
Persamaan 1-6 ini diimplementasikan dalam program penggerak lengan robot dengan penyesuaian terhadap Koordinat Kartesian terhadap koordinat layar komputer. Contoh potongan program implementasi diperlihatkan pada Gambar 3.

```

procedure Tform1.GerakTelapak(kelompok:byte;ShapeDasar,ShapeA,ShapeB,ShapeC:TShape;x,y:integer);
begin
    suduttelapak[kelompok]:=arctan2(y-ShapeB.Top,x-ShapeB.Left);
    sudutbetistelapak[kelompok]:=sudutbetis[kelompok]-suduttelapak[kelompok]+pi;
    ShapeC.Left:=ShapeB.left+round(panjangtelapak[kelompok]*cos(suduttelapak[kelompok]));
    ShapeC.top:=ShapeB.top+round(panjangtelapak[kelompok]*sin(suduttelapak[kelompok]));
end;
    
```

Gambar 3. Implementasi Program Kinematika Terbalik dalam program

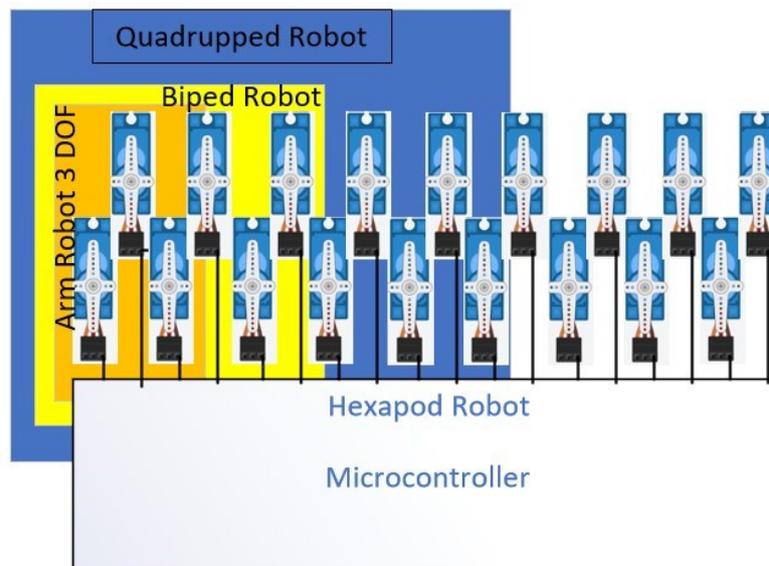
Gambar 3 memperlihatkan implementasi program simulasi untuk menggerakkan telapak atau motor *servo* 3 dari simulasi robot lengan yang diperlihatkan pada Gambar 4. Program ini juga merupakan implementasi dari persamaan 1-3 yang mana jika *servo* 3 saja yang digerakkan maka hanya θ_3 yang berubah sehingga *end effector* dapat dihitung posisinya seperti diperlihatkan pada program Gambar 3.



Gambar 4. GUI Lengan Robot 3DOF dan Realisasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem direalisasikan dengan menggunakan 18 buah motor *servo*, dan 1 buah sistem mikrokontroler. Realisasi sistem diperlihatkan seperti pada blok diagram Gambar 5. Dalam blok diagram tersebut diperlihatkan bahwa dengan satu sistem berbasis mikrokontroler kita sudah dapat mengendalikan lengan robot (*Arm Robot*) dengan 3 buah *servo*, robot 2 kaki (*Biped Robot*) dengan 6 buah *servo*, Robot 4 kaki (*Quadrupped Robot*) dengan 12 *servo* dan Robot 6 kaki (*Hexapod Robot*) dengan 18 buah *servo*.



Gambar 5 Blok Diagram Sistem Robot

Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis motor *servo* yang berbeda untuk dibandingkan kelebihan dan kekurangan performa motor *servo* masing-masing. Jenis motor *servo* yang digunakan adalah *servo* tipe SG90, MG945, dan RDS3135. Spesifikasi dari masing-masing motor *Servo* yang sudah

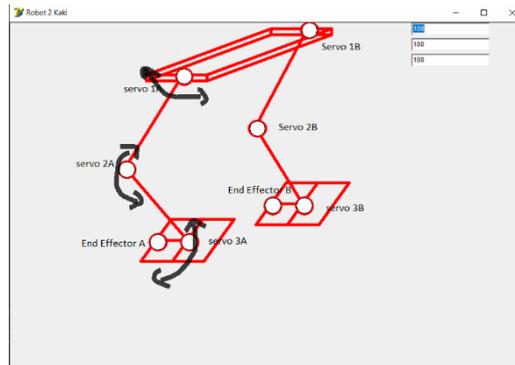
diperlihatkan pada Tabel 1. Pengujian dilakukan dengan cara merangkai 3 buah motor *servo* menjadi bentuk lengan seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Panjang lengan masing-masing adalah sebagai berikut *servo* 1-2 adalah 8.3cm, *servo* 2-3 adalah 6.2cm. Sedangkan sendi putarnya sendiri berukuran 2cm dari dasar. Rangkaian motor *Servo* dihubungkan dengan aplikasi yang dibuat dikomputer dan diberikan perintah pergerakan untuk bergerak ke posisi yang dipilih untuk pengujian yaitu posisi $x=4, y=6$ dan $z=7$, serta posisi $x=5, y=9$ dan $z=3$. Posisi ini dipilih karena dari hasil perhitungan bisa mendapatkan sudut theta 1, theta 2 dan theta 3 seperti diperlihatkan pada Tabel 2 kolom perhitungan. Hasil pergerakan motor *servo* kemudian diukur menggunakan busur derajat yang memiliki ketelitian 1 derajat. Hasil pengujian menggunakan ketiga jenis motor *servo* diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian posisi Kinematika Terbalik

Posisi	Theta 1		Theta 2		Tetha 3	
	Perhitungan	Real	Perhitungan	Real	Perhitungan	Real
Posisi(4,6,7) <i>Servo</i> SG90	33.6	25	101.6	95	72.4	78
<i>Servo</i> MG945	33.6	30	101.6	105	72.4	74
RDS 3135	33.6	32	101.6	101	72.4	73
Posisi (5,9,3) <i>Servo</i> SG90	29.0	35	134.5	120	73.3	78
<i>Servo</i> MG945	29.0	35	134.5	130	73.3	77
RDS 3135	29.0	30	134.5	135	73.3	73

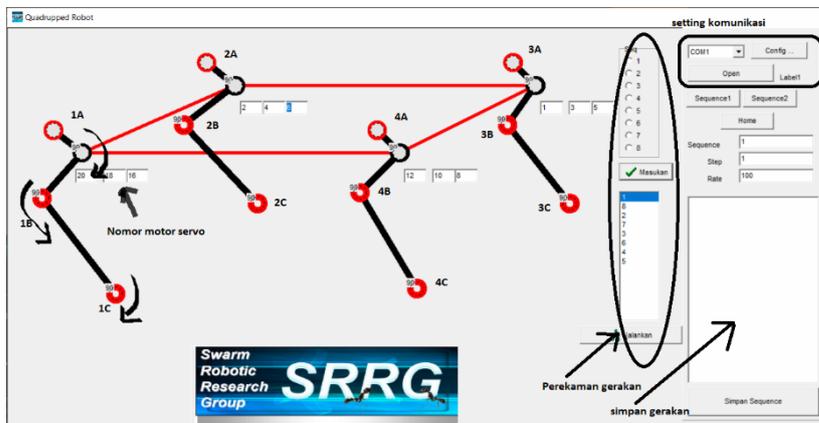
Hasil pengujian memperlihatkan bahwa *Servo* RDS 3135 memiliki akurasi yang lebih baik sebesar 2-4 derajat dibandingkan *servo* SG90 yang memiliki error sampai 8 derajat. Hal ini menyebabkan posisi x, y, z yang diinginkan pun kesalahan sudut yang akan terakumulasi. Kesalahan yang terjadi terutama yang di dapatkan saat menggunakan motor *servo* SG90 dikarenakan motor *servo* ini tidak memiliki torsi yang besar. Torsi yang dimiliki motor *servo* ini adalah hanya sebesar 1.8kg-cm. Hal ini berarti motor *servo* 1 harus mengangkat keseluruhan sistem yaitu motor *servo* 2 dan *end effector* sepanjang 14.5 cm (8.3cm+6.2cm). Untuk lengan sepanjang itu dan berat keseluruhan sistem sekitar 100gr mengakibatkan sistem *servo* tertahan menyebabkan kesalahan dengan sudut tertentu saat bergerak. Dibandingkan dengan motor *servo* RDS 3135 yang dapat memiliki torsi jauh lebih besar, maka gerakan motor *servo* RDS 3135 dapat bergerak dengan baik. Kesalahan yang terjadi dalam pengukuran juga terjadi karena ketidak konsistenan sistem sensor dalam motor *servo* dan ketelitian motor *servo* dalam melakukan pergerakan. Oleh karena itu ketelitian yang baik dalam melakukan pergerakan, motor *servo* perlu di kalibrasi ulang untuk pemosisian sudut motor *servo* SG90 dan MG945 untuk akurasi yang lebih baik sebelum di fungsikan. Sistem kalibrasi motor *servo* belum direalisasikan dalam sistem perangkat lunak ini dan akan menjadi pengembangan sistem berikutnya.

Setelah pengujian jenis motor *servo*, maka selanjutnya dilakukan pengujian perangkat lunak sistem penggerak motor jenis *Biped*, *Quadrupped* dan *Hexapod*. Perangkat lunak direalisasikan menggunakan Borland Delphi 7.0, Gambar 6 untuk *Biped Robot*, Gambar 7 untuk *Quadrupped Robot* dan Gambar 8 untuk *Hexapod Robot*.



Gambar 6. GUI *Biped Robot*

Pada pengujian perangkat lunak ini mikrokontroler dihubungkan dengan 6 buah motor *servo* dan dihubungkan ke komputer menggunakan *port* komunikasi serial. Setelah di atur komunikasi antara perangkat lunak dan perangkat keras, sistem diuji dengan cara menggerakkan simbol (lingkaran) motor *servo* 1A, motor *servo* 2A dan motor *servo* 3A seperti pada arah panah pada Gambar 5. Saat menggerakkan simbol lingkaran motor *servo* tersebut, motor *servo* yang terhubung dengan mikrokontroler akan bergerak sesuai dengan arah pergerakan yang diberikan. Hal ini menandakan bahwa sistem sudah berjalan dengan baik yaitu dapat menggerakkan motor *servo* dengan posisi yang bersesuaian bergerak menuju sudut tertentu. Selain itu motor *Servo* 1B, 2B dan 3B juga digerakkan sesuai dengan arah panah dan dapat merespons dengan baik.



(a)

(b)

Gambar 7. GUI *Quadrupped Robot* dan Realisasi perangkat keras

(a) Tampilan GUI Perangkat Lunak *Quadrupped Robot*

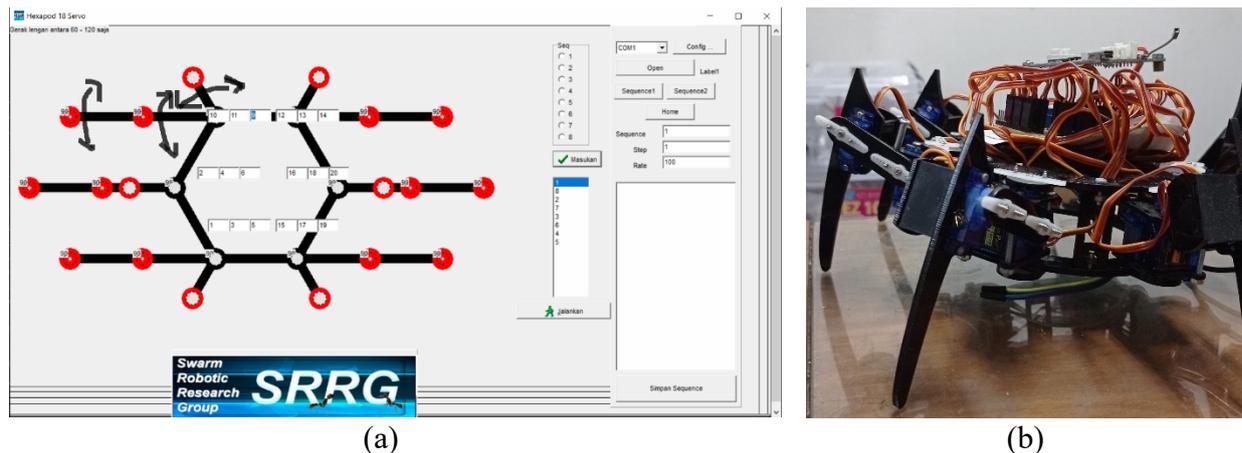
(b) Tampilan perangkat keras *Quadrupped Robot*

Untuk pengujian perangkat lunak pengendali *Quadrupped Robot*, perangkat lunak yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 7a dan perangkat keras diperlihatkan pada Gambar 7b. *Servo* yang digunakan pada perangkat keras ini adalah RDS 3135. Dengan menggunakan *servo* ini terlihat pada Gambar 7b robot dapat berdiri dilantai dengan kokoh.

Seperti pada sistem perangkat lunak *Biped Robot*, pengujian perangkat lunak ini juga dilakukan dengan cara menghubungkan sistem mikrokontroler ke komputer menggunakan saluran serial. Pemilihan *port* komunikasi serial yang digunakan dapat dipilih menggunakan menu pengaturan komunikasi seperti diperlihatkan pada Gambar 7a pada bagian kanan atas. Setelah komunikasi terjadi, maka robot dapat dikendalikan. Gerakan masing-masing motor dapat dikendalikan dengan

cara menggerakkan simbol lingkaran yang mewakili motor *servo* berputar searah atau berlawanan arah jarum jam.

Fitur yang ditambahkan dalam sistem ini adalah fitur mengganti Alamat motor *servo* yang dipilih dengan cara memasukkan nomor motor *servo* di masing-masing menu editor. Selain itu dalam sistem ini ditambahkan juga fitur perekaman gerakan motor *servo*. Posisi motor *servo* disimpan dalam *sequence* dari 1- 8. Jika sudah disimpan, maka gerakan motor dengan *sequence* 1-8 dapat di ulang Kembali sesuai urutannya. Masing-masing fitur dalam sistem ini sudah diuji coba dan memberikan hasil sesuai dengan perancangan.



Gambar 8. GUI *Hexapod Robot* dan Realisasinya
(a) Tampilan GUI Perangkat Lunak *Hexapod Robot*
(b) Tampilan perangkat keras *Hexapod Robot*

Gambar 8a memperlihatkan tampilan GUI untuk pengendalian *Hexapod Robot* dan Gambar 8b memperlihatkan perangkat keras yang direalisasikan untuk sistem *Hexapod Robot*. *Servo* yang digunakan pada *hexapod robot* ini menggunakan motor *servo* SG90.

Dari sisi perangkat lunak, tampilan kendali robot *hexapod* disajikan dalam bentuk tampilan tampak atas. Teknik pengendalian sama dengan perangkat lunak *hexapod* yaitu menggerakkan lingkaran yang mewakili motor *servo* masing-masing. Fitur penentuan nomor motor *servo*, penyimpanan *sequence* gerakan serta pemilihan saluran komunikasi serial juga disiapkan dalam perangkat lunak ini. Pengujian masing-masing fitur dilakukan dan hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem sudah berjalan dengan baik.

Karena motor *servo* yang digunakan adalah motor *servo* SG90, yang memiliki torsi yang sangat kecil, mengakibatkan sistem tidak berjalan dengan baik saat ditempatkan langsung di permukaan. Maka dalam pengujian ini, sistem ditempatkan dengan badan robot diberikan ganjalan sehingga kaki-kaki robot tidak menempel di permukaan tanah tetapi mengambang. Dengan cara seperti ini maka motor *servo* tidak menerima gaya yang besar di masing-masing motor sehingga dengan torsi kecil gerakan motor *servo* masih dapat di amati.

Secara keseluruhan pengujian perangkat lunak dapat diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian masing-masing fitur di program perangkat lunak

Fitur	<i>Biped</i>	<i>Quadrupped</i>	<i>Hexapod</i>
Tampilan software	Tampak samping	Tampak samping	Tampak atas
Fitur Komunikasi	Di atur langsung di program, tidak ada menu pilihan	Bisa diatur/ dipilih menggunakan <i>scroll bar</i> yang berisi <i>port</i> komunikasi serial yang tersedia	Bisa diatur/ dipilih menggunakan <i>scroll bar</i> yang berisi <i>port</i> komunikasi serial yang tersedia
Pengendali gerakan motor	Nomor identitas motor <i>servo</i> ditentukan langsung di program. Tidak dapat diubah.	Nomor identitas motor <i>servo</i> dapat ditentukan di program dan diubah sesuai dengan nomor motor <i>servo</i> yang terhubung ke mikrokontroler	Nomor identitas motor <i>servo</i> dapat ditentukan di program dan diubah sesuai dengan nomor motor <i>servo</i> yang terhubung ke mikrokontroler
Perekaman dan pemutaran <i>Sequence</i> gerakan	Tidak ada fitur perekaman dan pemutaran Kembali <i>sequence</i> gerakan	Ada fitur perekaman dan pemutaran Kembali <i>sequence</i> gerakan	Ada fitur perekaman dan pemutaran Kembali <i>sequence</i> gerakan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan realisasi serta pengujian perangkat keras dan perangkat lunak pengendali robot berdasarkan metode Kinematika Maju dan Kinematika Terbalik dapat disimpulkan sebagai berikut: Motor *servo* yang dapat digunakan untuk menghasilkan akurasi yang baik dan torsi yang besar adalah motor *servo* RDS 3135. Namun demikian untuk biaya yang tidak terlalu besar dapat digunakan tipe motor *servo* MG945 dengan Panjang lengan masing-masing *servo* tidak terlalu panjang disesuaikan dengan torsi motor MG945 dengan berat motor dan lengan keseluruhan yang terhubung dengan motor tersebut. Karena motor MG945 memiliki torsi 12kg, berdasarkan percobaan awal dengan panjang lengan ke *end effector* kurang dari 15 cm masih dapat secara baik dan akurat menggerakkan sistem, tetapi jika diterapkan untuk robot *Quadrupped* atau *Hexapod*, torsi dari motor masih kurang kuat untuk mengangkat badan robot. Oleh karena itu rekomendasi yang diberikan dalam penelitian ini adalah menggunakan motor RDS 3135. Untuk perangkat lunak pengendali, keempat perangkat lunak sudah dapat digunakan untuk mengendalikan masing-masing tipe robot.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada Unika Atma Jaya yang telah mendukung penelitian dalam hal dana penelitian menggunakan hibah penelitian mandiri.

REFERENSI

- Aristawati, FA. & Budiyanto, C. (2017). "Penerapan Robotika Dalam Pembelajaran STEM: Kajian Pustaka". Seminar Nasional Pendidikan Vokasi ke 2.
- Beiter, Klaus. (2021). SDG 4: Quality Education. <https://www.researchgate.net/publication/349503128>, pages 125-158, ISBN: 978-1-83970-166-5
- Budiharto, W. (2014). "Robotika Modern Teori & Implementasi (Edisi Revisi)", Penerbit Andi
- Cook, F. & Zhang, F. (2020). "Mobile Robots: Navigation, Control and Sensing, Surface Robots and AUVs", Wiley-IEEE Press
- Davidi, EIN. Sennen, E. & Supardi, K. (2021). "Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan", Vol. 11 No. 1, Januari 2021: 11-22.

Ewall, Ewall - *Servo Metal Gear 270 Degree 35Kg High Torque RDS3135 Coreless Motor Digital Robot with Brackets*

Robotis, Robotis Official Site | The study of humanexperiences, <https://en.robotis.com/>

SG90, SG90 PDF Datasheet - Micro *Servo* Motor - Tower pro (datasheetcafe.com)

TowerPro, TowerPro MG945 *Servo* Specifications and Reviews (*servodatabase.com*)

UBTECH, UBTECH ROBOTICS CORP LTD (*ubtrobot.com*),
https://www.ubtrobot.com/web2/template/product_C-Alpha_Ebot.shtml

Zubaidah, S. (2019). “STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics): Pembelajaran untuk Memberdayakan Keterampilan Abad ke-21”.
<https://www.researchgate.net/publication/336065211>