

Perancangan Robot Serial Manipulator 6DoF dengan Sistem Transmisi Kabel pada 3 *Joint* Terakhir

Ivan Christian Hernando^{1*}, Roche Alimin¹, Edwin Manat¹, Melvin Emil Simanjuntak²,
Joseph Wicaksono Tandio³

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Politeknik Negeri Medan
Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

³ Mechatronic Systems Design Engineering Doctorate
Department of Mathematics and Computer Science, Eindhoven University of Technology
5612 AZ Eindhoven, Nederland

*Penulis korespondensi; E-mail: ivan.hernando@petra.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika, khususnya robot serial manipulator 6-axis, telah memberikan dampak signifikan dalam industri manufaktur dan otomasi. Penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem transmisi kabel pada tiga sumbu terakhir robot serial manipulator 6-axis untuk mengurangi berat dan meningkatkan efisiensi pergerakan. Sistem transmisi kabel memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem *rigid-link* konvensional, termasuk bobot yang lebih ringan, konsumsi daya yang lebih rendah, dan fleksibilitas yang lebih tinggi. Namun, tantangan utama terletak pada kontrol ketegangan kabel dan presisi pergerakan. Penelitian ini melibatkan perancangan dan pembuatan prototipe robot menggunakan perangkat lunak 3D desain dan 3D *printing*, diikuti dengan pemrograman dan kalibrasi robot menggunakan perangkat lunak ACRS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan transmisi kabel pada robot 6-axis dapat meningkatkan fleksibilitas desain dan mengurangi beban pada *joint* robot. Meskipun demikian, penggunaan kabel juga menimbulkan tantangan dalam hal kontrol presisi, serta keterbatasan material filamen PLA+ yang digunakan dalam pembuatan komponen robot. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan robot manipulator yang lebih efisien dan fleksibel untuk aplikasi industri.

Kata Kunci : robot serial manipulator, 6dof, transmisi kabel.

ABSTRACT

The advancement of robotics technology, particularly 6-axis serial manipulator robots, has significantly impacted the manufacturing and automation industries. This research proposes the use of a cable-driven transmission system for the last three axes of a 6-axis serial manipulator robot to reduce weight and improve movement efficiency. The cable transmission system offers advantages over conventional rigid-link systems, including lighter weight, lower power consumption, and increased flexibility. However, the main challenges lie in controlling cable tension and movement precision. This study involves the design and fabrication of a robot prototype using 3D design software and 3D printing, followed by programming and calibration of the robot using ACRS software. The results show that using a cable transmission system on the 6-axis robot can enhance design flexibility and reduce the load on the robot joints. However, the use of cables also presents challenges in precision control, along with material limitations of PLA+ filament used for the robot components. This research is expected to contribute to the development of more efficient and flexible manipulator robots for industrial applications.

Keywords: serial manipulator robot, 6dof, cable transmission.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika telah mengalami kemajuan pesat dalam beberapa dekade terakhir, khususnya dalam industri manufaktur dan otomasi. Salah satu teknologi yang semakin

banyak digunakan adalah robot serial manipulator 6-axis, yang menawarkan fleksibilitas tinggi dalam melakukan tugas-tugas industri yang kompleks seperti perakitan, pengelasan, dan pemindahan material [1][2]. Namun, salah satu tantangan utama dalam desain robot ini adalah berat dan inersia sistem akibat penggunaan komponen mekanis berbasis *rigid-link*. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem transmisi kabel untuk menggerakkan tiga sumbu terakhir guna meningkatkan efisiensi pergerakan dan mengurangi beban pada aktuator.

Sistem transmisi kabel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem *rigid-link* konvensional, termasuk bobot yang lebih ringan, konsumsi daya yang lebih rendah, dan peningkatan fleksibilitas dalam pergerakan [3][4]. Selain itu, penggunaan kabel memungkinkan perancangan sistem yang lebih modular dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan industri *modern*. Namun, penerapan sistem ini juga menimbulkan tantangan dalam hal kontrol dan stabilitas, terutama dalam mengatur ketegangan kabel agar tetap optimal selama operasi [5][6]. Dalam konteks industri, robot manipulator 6-axis memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas manufaktur. Dengan adanya inovasi dalam desain sistem aktuasi, seperti penggunaan transmisi kabel, robot manipulator dapat menjadi lebih ringan dan lebih cepat dalam melakukan tugasnya. Selain itu, penerapan teknologi seperti *machine vision* juga semakin banyak digunakan untuk meningkatkan presisi dan akurasi gerakan robot dalam industri otomatisasi [7].

Robot serial manipulator merupakan salah satu jenis robot industri yang memiliki enam derajat kebebasan (6-DOF), memungkinkan pergerakan yang kompleks dan presisi tinggi dalam berbagai aplikasi industri. Namun, desain konvensional berbasis *rigid-link* sering kali memiliki keterbatasan dalam hal bobot dan konsumsi energi. Oleh karena itu, penelitian mengenai *Cable-Driven Parallel Robots* (CDPRs) mulai berkembang untuk menggantikan komponen rigid dengan sistem kabel yang lebih ringan dan fleksibel [3][4][8]. CDPRs memanfaatkan kabel untuk mengendalikan pergerakan end-effector, menggantikan batang mekanis yang umumnya digunakan pada robot paralel atau serial tradisional. Keunggulan sistem ini meliputi berat yang lebih ringan, efisiensi energi yang lebih tinggi, serta fleksibilitas pergerakan yang lebih baik dibandingkan dengan sistem *rigid-link* [3][4]. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa CDPRs dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti manufaktur, konstruksi, rehabilitasi medis, dan sistem transportasi material [4][8][9].

Namun, penerapan teknologi ini dalam sistem serial manipulator 6-axis masih memiliki tantangan tersendiri, terutama dalam hal stabilitas, presisi pergerakan, serta kendali tegangan kabel. Selain itu, aspek kinematika dan dinamika perlu dikaji lebih lanjut untuk memastikan pergerakan yang optimal tanpa mengorbankan akurasi posisi dan orientasi end-effector [5][6]. Penelitian mengenai analisis kinematika dan dinamika robot serial manipulator 6-axis menjadi aspek penting dalam memastikan performa sistem yang optimal [10]. Selain itu, penelitian tentang sistem transmisi kabel pada robot manipulator juga berkaitan erat dengan analisis getaran dan stabilitas struktural. Penggunaan metode elemen hingga (FEA) untuk mengevaluasi karakteristik getaran robot dengan sistem transmisi kabel menjadi aspek penting dalam memastikan keandalan dan daya tahan sistem saat beroperasi dalam kondisi industri yang dinamis [11][12]. Pemilihan aktuator dan motor yang tepat juga menjadi faktor krusial dalam memastikan performa optimal sistem robotik ini [13].

Robot manipulator juga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti sistem pemilahan produk berbasis otomatisasi [14] dan robot pick and place untuk industri manufaktur [15]. Selain itu, penelitian tentang pemilihan aktuator dan motor yang tepat pada robot 6-axis juga menjadi perhatian utama dalam perancangan sistem yang efisien dan akurat [16][2]. Dengan semakin berkembangnya teknologi, berbagai aspek seperti pengembangan antarmuka pengguna (UI) untuk simulasi robot juga menjadi fokus penelitian untuk meningkatkan efisiensi operasional [17]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem transmisi kabel pada tiga sumbu terakhir robot serial manipulator 6-axis guna mengurangi berat dan meningkatkan efisiensi pergerakan. Selain itu, penelitian ini juga akan menguji dan mengevaluasi prototipe robot serial manipulator 6-axis dengan sistem transmisi kabel pada tiga sumbu terakhirnya.

METODE

Perancangan Komponen Mekanis

Proses Penelitian dimulai dengan merancang komponen-komponen robot prototipe menggunakan perangkat lunak 3D desain Inventor. Parameter yang digunakan untuk menentukan dimensi robot prototipe disesuaikan dengan ruang kerja yang diinginkan. Selain membuat model solid dari komponen robot, dilakukan juga pembuatan model motor yang akan digunakan. Selain itu, dimensi contoh robot AR3 dan model sistem transfer daya, seperti pada contoh robot AR3, juga dipertimbangkan dalam menentukan parameter dimensi robot prototipe. Dalam proses penentuan motor *stepper* yang digunakan, dilakukan kalkulasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan motor *stepper*

<i>Joint</i>	Beban	Lengan	Kebutuhan Torsi	Motor Stepper
1	3 N	17 cm	51 Ncm	Nema 17 (54 Ncm)
2	5.5 N	42 cm	231 Ncm	Nema 23 (250 Ncm)
3	3 N	32 cm	96 Ncm	Nema 17 (54 Ncm dengan gearbox 1:2)
4	2 N	6 cm	12 Ncm	
5	1.5 N	6 cm	9 Ncm	Nema 17 (40 Ncm)
6	0.5 N	6 cm	3 Ncm	Nema 17 (40 Ncm)

Komponen-komponen bersama dengan motor kemudian dirangkai menggunakan perangkat lunak 3D desain. Dalam perancangan robot ini tidak dilakukan analisa Jika terjadi kegagalan *constraint* selama proses *assembly* pada *software* maka dimensi robot akan disesuaikan kembali. Pada saat melakukan *assembly*, komponen-komponen pendukung seperti *bearing*, mur, dan baut juga sudah disertakan, sehingga diperoleh hasil akhir perakitan seakurat mungkin. Pada penelitian ini, seluruh komponen utama dibuat menggunakan filamen PLA+ dengan metode *3D printing* (*Fused Deposition Modeling* - FDM). Filamen PLA+ dipilih karena memiliki karakteristik mekanik yang lebih baik dibanding PLA standar, termasuk kekuatan tarik yang lebih tinggi dan ketahanan terhadap retak. Selain itu, PLA+ juga mudah diproses dan umum digunakan dalam pembuatan prototipe fungsional.

Meskipun PLA+ belum memiliki standar internasional khusus seperti ASTM atau JIS, spesifikasi mekaniknya mengacu pada data teknis dari produsen, yang biasanya mencakup modulus elastisitas, kekuatan tarik maksimum, serta temperatur lunaknya. Oleh karena itu, seluruh perhitungan desain disesuaikan dengan sifat material PLA+ untuk memastikan komponen mampu bekerja dengan aman di bawah beban yang diberikan. Setelah berhasil merakit komponen-komponen dalam perangkat lunak 3D desain, langkah berikutnya adalah melakukan manufaktur robot prototipe dilakukan dengan *3D printer*. Desain dan ukuran-ukurannya yang telah didesain dalam 3D desain dan akan dicetak oleh mesin *3D printing* dengan menggunakan *infill* sebesar 75%. Komponen-komponen yang telah selesai di manufaktur akan di *assembly* sesuai dengan desain yang sudah dibuat. Proses *assembly* pada tahap ini juga termasuk untuk *assembly* komponen elektronika.

Perancangan Komponen Elektronik

Penelitian ini menggunakan beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk membentuk sistem kendali robot yang fungsional dan stabil. Masing-masing komponen memiliki peran penting dalam mengatur alur komunikasi, suplai daya, dan pergerakan robot. Berikut adalah penjelasan tiap komponen:

1. Mikrokontroler – Teensy 4.1

Mikrokontroler Teensy 4.1 digunakan sebagai penghubung antara komputer (PC) dan sistem robot. Perintah dari PC berupa data sudut *joint* akan diteruskan ke Teensy, yang kemudian mengolah data tersebut menjadi sinyal kendali (*step* dan arah) untuk menggerakkan motor. Teensy 4.1 dipilih karena memiliki kecepatan tinggi (600 MHz) dan banyak port I/O, yang sangat mendukung sistem kendali multi-sumbu.

2. Stepper Motor

Motor *stepper* digunakan sebagai aktuator utama yang menggerakkan masing-masing *joint* robot. Motor ini bergerak dalam unit langkah (*step*) dan sangat cocok untuk aplikasi yang

membutuhkan presisi tinggi. Setiap motor dikontrol agar berputar pada jumlah *step* tertentu untuk mencapai sudut yang diinginkan.

3. *Motor Driver*

Driver motor bertugas sebagai penguat sinyal dan jembatan antara mikrokontroler dan motor *stepper*. *Driver* menerima sinyal logika dari Teensy dan mengubahnya menjadi arus serta tegangan yang sesuai untuk menggerakkan motor *stepper*. Penggunaan *driver* sangat penting agar motor bekerja optimal dan terlindung dari lonjakan arus.

4. *Power Supply*

Sistem ini membutuhkan power supply eksternal untuk memberikan tegangan dan arus yang cukup besar untuk menggerakkan motor *stepper*. *Power supply* ini memberikan sumber daya utama bagi seluruh sistem aktuator. Spesifikasi *power supply* disesuaikan dengan kebutuhan arus total dari semua motor yang digunakan agar tidak terjadi *drop* tegangan saat sistem aktif penuh.

5. *Step-down Regulator*

Karena tegangan output dari *power supply* (misalnya 12V atau 24V) terlalu tinggi untuk mikrokontroler, digunakan *step-down* regulator untuk menurunkan tegangan ke *level* yang aman (misalnya 5V) sebelum masuk ke Teensy 4.1. Penggunaan modul *step-down* ini penting untuk melindungi mikrokontroler dari kerusakan akibat *overvoltage*, serta menjaga kestabilan suplai tegangan pada bagian kendali.

Pemrograman Robot

Setelah berhasil merakit model prototipe, tahap berikutnya adalah memulai proses pemrograman robot dengan memanfaatkan perangkat lunak ARCS versi 1.0. Langkah awal melibatkan penyesuaian parameter dimensi pada robot prototipe. Setelah itu, dilakukan konfigurasi *pin-pin output* untuk mengontrol *end-effector*. Setelahnya, dilakukan kalibrasi posisi robot. Apabila terdapat perbedaan antara gerakan yang terjadi dalam situasi nyata dengan hasil pemrograman, diperlukan peninjauan ulang pemrograman, terutama pada parameter-parameter robot yang mungkin salah diinput. Pemrograman robot dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak open source dari ARCS. ARCS merupakan sistem kendali robot berbasis mikrokontroler yang dikembangkan secara open source untuk mendukung fleksibilitas dalam pengembangan dan pemrograman robot. Secara umum, alur kerja pemrograman robot ini dimulai dengan input dari pengguna berupa nilai sudut target untuk masing-masing *joint* robot. Setelah itu, perangkat lunak akan menerjemahkan input sudut tersebut menjadi jumlah *step* yang harus dijalankan oleh motor *stepper*.

Langkah-langkah alur kerja sistem pemrograman robot adalah sebagai berikut:

1. Pengguna menginput nilai sudut untuk setiap *joint*.
2. Komputer (PC) menjalankan program dan mengirimkan data sudut ke mikrokontroler.
3. Mikrokontroler menerjemahkan sudut menjadi sinyal *step* dan arah untuk *driver* motor.
4. *Driver* motor mengatur arah dan jumlah *step* motor *stepper* sesuai perintah.
5. Motor *stepper* bergerak menggerakkan lengan robot sesuai sudut yang diminta.

Selanjutnya melakukan pemrograman di mana robot akan diberikan tugas untuk bergerak searah dengan sumbu x, sumbu y, dan sumbu z kerangka *base*. Disamping itu juga melakukan pengujian pada *end-effector* supaya dapat bergerak sesuai dengan 6 derajat kebebasan. Selanjutnya melakukan pengecekan terhadap *slink* yang tersambung pada poros *end-effector* dan motor *stepper* yang berada di lain tempat bukan di robot manipulator serial 6 DoF ini. Jika robot telah berhasil melakukan arah 6 derajat kebebasan dan *slink* dapat berkerja dengan baik, maka proses desain serta pemrograman telah dinyatakan berhasil.

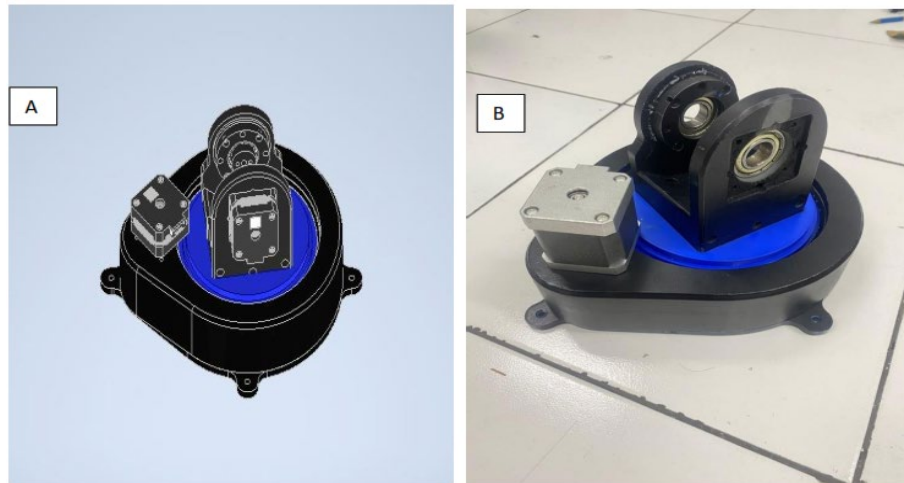
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 1 terlihat gambar dari *joint* 1 berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 1a) dan kenyataan setelah desain (gambar 1b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan 3D *print* dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint* 1 berfungsi untuk penggerak *base* dari keseluruhan robot.

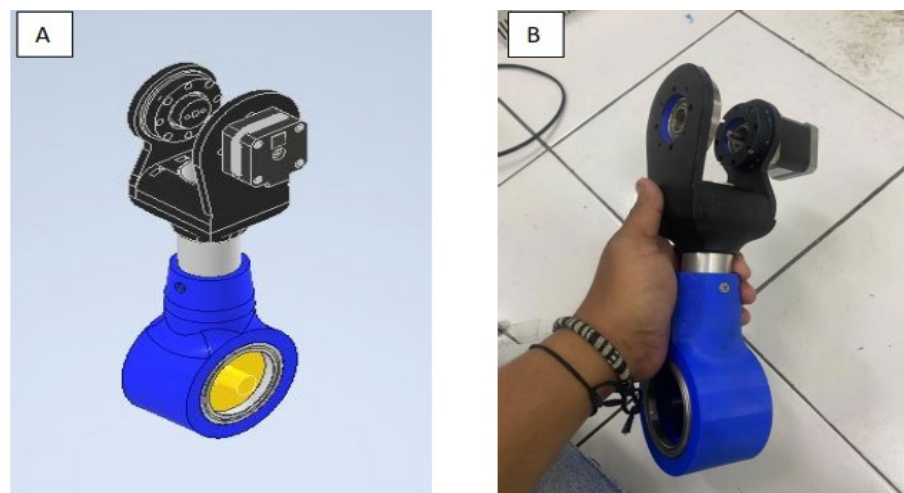
Pada gambar 2 terlihat gambar dari *joint* 2 berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 2a) dan kenyataan setelah desain (gambar 2b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan 3D *print*

dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint 2* berfungsi untuk penggerak lengan pertama.

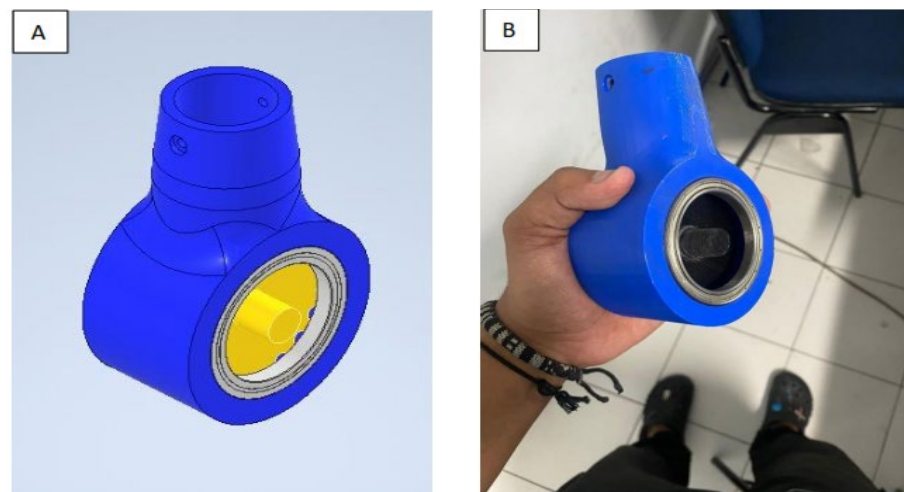
Pada gambar 3 terlihat gambar dari *joint 3* berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 3a) dan kenyataan setelah desain (gambar 3b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan *3D print* dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint 3* berfungsi untuk penggerak lengan kedua.



Gambar 1. *Joint 1* (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

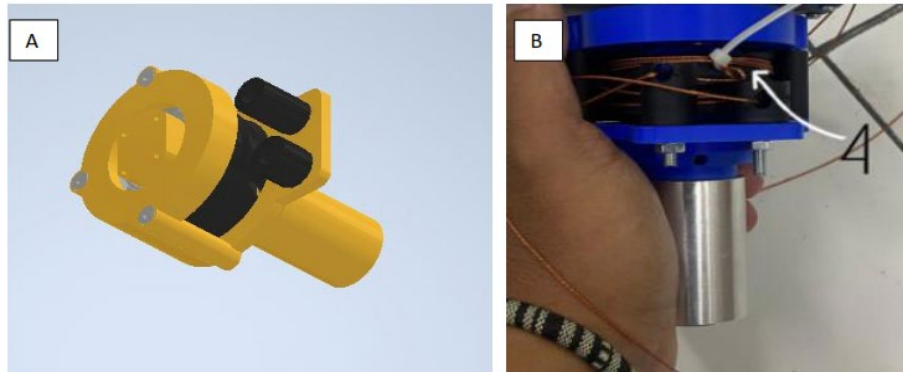


Gambar 2. *Joint 2* (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur



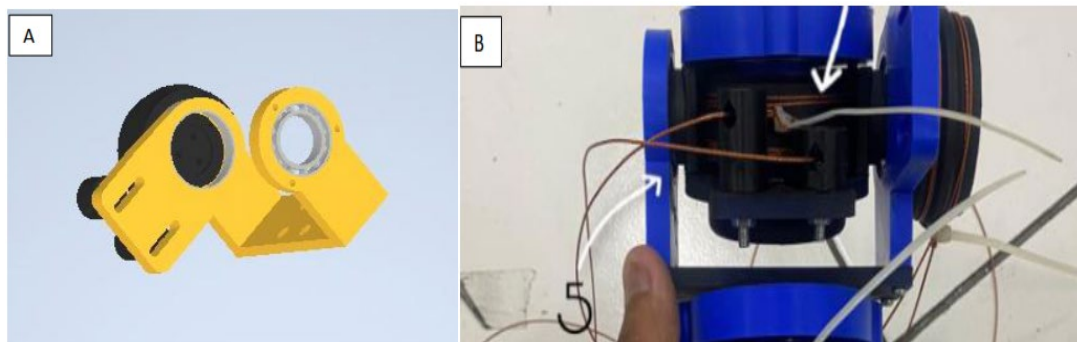
Gambar 3. *Joint 3* (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

Pada gambar 4 terlihat gambar dari *joint* 4 berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 4a) dan kenyataan setelah desain (gambar 4b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan 3D *print* dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint* 4 berfungsi untuk penggerak orientasi pertama. *Joint* keempat tidak menggunakan motor yang di letakkan secara langsung didekat *joint*, melainkan menggunakan bantuan kabel sebagai transmisi yang menghubungkan antara motor dengan *joint*.



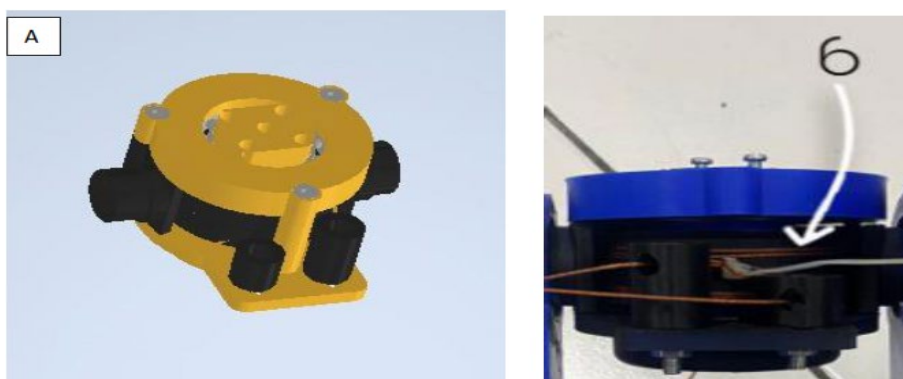
Gambar 4. *Joint* 4 (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

Pada gambar 5 terlihat gambar dari *joint* 5 berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 5a) dan kenyataan setelah desain (gambar 5b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan 3D *print* dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint* 5 berfungsi untuk penggerak orientasi kedua. *Joint* kelima tidak menggunakan motor yang di letakkan secara langsung didekat *joint*, melainkan menggunakan bantuan kabel sebagai transmisi yang menghubungkan antara motor dengan *joint*.



Gambar 5. *Joint* 5 (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

Pada gambar 6 terlihat gambar dari *joint* 6 berdasarkan desain di *software* 3D desain (gambar 6a) dan kenyataan setelah desain (gambar 6b) di manufaktur dengan menggunakan bantuan 3D *print* dan dirakit berdasarkan *assembly* yang telah dilakukan pada *software* 3D desain. *Joint* 6 berfungsi untuk penggerak orientasi ketiga. *Joint* keenam tidak menggunakan motor yang di letakkan secara langsung didekat *joint*, melainkan menggunakan bantuan kabel sebagai transmisi yang menghubungkan antara motor dengan *joint*.



Gambar 6. *Joint* 6 (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

Proses perakitan robot dilakukan secara bertahap dimulai dari *joint* 1 hingga *joint* 6. Setelah seluruh bagian dirakit, diperoleh hasil akhir yang ditampilkan pada Gambar 7. Gambar tersebut menggambarkan bentuk robot setelah proses *assembly* selesai dilakukan. Gambar 7a menunjukkan hasil perakitan robot secara virtual menggunakan perangkat lunak desain 3D, sedangkan Gambar 7b memperlihatkan hasil perakitan nyata dari komponen robot secara fisik. Perbandingan antara hasil simulasi dan realisasi fisik menunjukkan kesesuaian desain dan keakuratan proses perakitan yang telah direncanakan sebelumnya.



Gambar 7. Robot 6 DoF (a) desain pada *software* desain dan (b) hasil manufaktur

Penerapan metode *forward kinematics* menjadi tahap krusial dalam mengetahui posisi *end-effector* robot berdasarkan konfigurasi masing-masing *joint*. Perhitungan posisi *end-effector* dilakukan dengan memasukkan nilai masukan untuk setiap sudut *joint* ke dalam persamaan transformasi *homogenous*. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa posisi *end-effector* dapat ditentukan dengan cukup akurat sesuai dengan parameter masukan yang diberikan. Perbandingan antara hasil simulasi *forward kinematics* dengan hasil nyata juga menunjukkan tingkat kesalahan yang rendah, menandakan bahwa model matematika yang digunakan telah mampu merepresentasikan gerakan robot secara efektif. Pengujian sistem kendali dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan kontroler dalam mengatur pergerakan masing-masing *joint*. Pengujian dilakukan dengan memberikan input sudut tertentu dan mencatat respons aktual dari aktuator pada setiap *joint*. Dari hasil pengujian, sistem kendali menunjukkan respons yang stabil dan akurat dalam mengikuti perintah yang diberikan. Respons sistem terhadap variasi sudut masukan juga menunjukkan bahwa kontroler mampu mengatasi perubahan beban maupun variasi kecil dalam parameter mekanis robot.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, hasil penelitian ini memberikan keuntungan signifikan. Pada konfigurasi konvensional, motor penggerak untuk *joint* 4 hingga *joint* 6 umumnya ditempatkan langsung di atas lengan robot. Masing-masing motor pada *joint* 4 hingga *joint* 6 memiliki massa sekitar 285 gram, maka total beban yang harus dibawa oleh struktur atas robot mencapai 855 gram. Dengan memindahkan motor-motor tersebut ke bagian dasar robot melalui sistem transmisi kabel, maka beban sebesar hampir 1 kg dapat dihilangkan dari bagian atas lengan robot. Pengurangan bobot ini secara langsung menurunkan inersia sistem, sehingga aktuator yang menggerakkan lengan tidak perlu bekerja seberat sebelumnya. Hal ini berdampak positif terhadap efisiensi gerakan karena torsi yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, energi yang dikonsumsi lebih hemat, dan respons gerakan menjadi lebih cepat serta stabil. Selain itu, motor juga akan bekerja lebih ringan, mengurangi risiko panas berlebih dan memperpanjang usia pakainya.

Meskipun desain dan perakitan robot hingga enam sumbu telah berhasil direalisasikan baik dalam bentuk fisik maupun digital, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Hingga tahap ini, pengujian yang dilakukan belum mencakup simulasi *multibody dynamics* atau analisis perilaku dinamis dari sistem secara keseluruhan. Selain itu, performa sistem transmisi kabel seperti akurasi gerak, respons dinamis, dan potensi gesekan antar elemen mekanik belum dianalisis secara terukur. Oleh karena itu, untuk pengembangan penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan simulasi berbasis perangkat lunak *multibody*,

serta pengujian eksperimental secara langsung untuk memperoleh data kuantitatif terkait efisiensi energi, ketepatan posisi, dan kestabilan gerak. Selain itu, pengujian terhadap ketahanan material PLA+ sebagai bahan utama cetakan 3D juga penting dilakukan guna mengetahui sejauh mana daya tahannya dalam siklus kerja berulang.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem transmisi kabel pada tiga sumbu terakhir robot serial manipulator 6-axis sebagai solusi untuk mengurangi beban dan meningkatkan efisiensi pergerakan. Dengan memindahkan posisi motor penggerak *joint* 4 hingga *joint* 6 ke bagian dasar robot dan mentransmisikan gerakan melalui sistem kabel, diperoleh pengurangan bobot sebesar 855 gram pada bagian atas robot. Pengurangan beban ini secara langsung berdampak pada peningkatan efisiensi gerakan, karena *joint* sebelumnya tidak lagi perlu menanggung beban tambahan dari motor, sehingga menghasilkan gerakan yang lebih ringan dan responsif. Sistem telah berhasil direalisasikan dalam bentuk fisik dan model digital, menunjukkan kesesuaian antara rancangan dan implementasi. Dengan demikian, tujuan penelitian telah tercapai melalui pendekatan desain mekanik yang inovatif dan aplikatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Petra terkhusus Program Studi Teknik Mesin dibawah Fakultas Teknologi Industri yang telah memberikan dukungan berupa infrastruktur yang memadai dalam proses pembuatan penelitian ini. Penelitian ini dilakukan secara oleh tim penulis secara mandiri dan tidak mendapat bantuan dana dari organisasi manapun sehingga konflik kepentingan dapat diabaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Agnihotri, K. Tembhurne, H. Makeswar, R. Bangale, B. Wankhede, "Design and Implementation of Six Axis Robotic Arm," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 10, no 5, pp. 135-138, 2021, doi: 10.17148/IJARCCCE.2021.10524
- [2] A. Bhambere, "Design of 6-Axis Robotic Arm," *International Journal of Advance Research, Ideas, and Innovation in Technology*, vol. 4, no 4, pp. 630-636, 2018.
- [3] S. Qian, B. Zi, W. W. Shang, Q. S. Xu, "A Review on Cable-driven Parallel Robots," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 31, no 66, pp. 1-11, 2018. doi: 10.1186/s10033-018-0267-9
- [4] E. Idà & V. Mattioni, "Cable-Driven Parallel Robot Actuators: State of the Art and Novel Servo-Winch Concept," *Actuators*, vol. 11, no 290, pp. 1-13, 2022. doi:10.3390/act11100290
- [5] M. M. Alam, S. Ibaraki, K. Fukuda, "Kinematic Modeling of Six-Axis Industrial Robot and its Parameter Identification: A Tutorial," *International Journal of Automation Technology*, vol. 15 no 5, pp. 599-610, 2021. doi: 10.20965/ijat.2021.p0599
- [6] A. Talli & V. K. V. Meti, "Design, Simulation, and Analysis of a 6-axis Robot Using Robot Visualization Software," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 872, pp. 1-9, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/872/1/012040
- [7] A. C. Pandeth, S. Abin, E. Adarsh, A. Rajesh, and R. Joy, "Six Axes Robotic Arm Aiding Machine Vision," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 7 no 4, pp. 4426-4431, 2020.
- [8] M. Morris & M. Shoham, "Applications and Theoretical Issues of Cable-Driven Robots," *Florida Conference on Recent Advances in Robotics*, 2009.
- [9] Marsono, I. A. E. Zaeni, and A. Qolik, "Prototype Arm Robotic 6 Axis Untuk Menyiapkan Kompetensi Pemrograman Matakuliah Mekatronika Mahasiswa Prodi D3 Teknik Mesin," *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, vol. 1, no 2, pp. 1-7, 2018, doi: 10.17977/um054v1i2p1-7
- [10] R. Fuida, M. C. D. Simone, P. Dašić, D. Guida, "Modeling Techniques For Kinematic Analysis Of A Six-Axis Robotic Arm," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 568, pp. 1-8, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/568/1/012115
- [11] S. Sahu, B. B. Choudhury, and B. B. Biswal, "A Vibration Analysis of a 6 Axis Industrial Robot

- Using FEA,” *Materials Today: Proceedings* 4, pp. 2403-2410, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.090
- [12] S. Sahu & B. B. Choudhury, ”Static Analysis Of A 6 - Axis Industrial Robot Using Finite Element Analysis,” *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 8, no 3, pp. 49-55, 2017.
- [13] C. Hendrinto, G. Prasetyo, A. N. Widiyanto, A. Ariyanto, T. S. Yulianto, ”Pemilihan Akuator Dan Motor Pada Arm Robot 6 Axis Plc Training Unit,” *Industrial and Mechanical Design Conference*, vol. 2, pp. 45-52, 2020.
- [14] A. Soesanto, H. Khoswanto, I. Sugiarto, ”Sistem Pemilahan Produk Menggunakan Robot Manipulator 6-Axis,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol 17, no 1, pp. 29-35, 2024, doi: 10.9744/jte.17.1.29-35
- [15] A. F. Riyadi and G. Nugroho, ”Pengaplikasian Kontrol Robot 6-Dof Untuk Pick And Place Pada Industri Souvenir,” *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat 2020*, pp. 22-27, 2020,
- [16] M. A. S. Anwar, M. Mirna, M. Rifaldi, M. Nur, Ishak, ”Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATMega328,” *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur*, vol. 3, no 2, pp. 59-63, 2021.
- [17] J. D. Setiawan, Y. F. Dwiyanto, M. Munadi, ”Pengembangan User Interface Aplikasi Simulasi Robot Arm Manipulator Berbasis Augmented Reality,” *Rotasi*, vol. 26 no. 1, pp. 44-51. 2024, doi: 10.14710/rotasi.26.1.44-51