

RE-DESAIN LENGAN ROBOT 6 DOF BERDASARKAN BENCHMARKING MENGGUNAKAN PERMODELAN 3D PADA AUTODESK INVENTOR 2024

6 DOF Robotic Arm Re-design Based on Benchmarking Using 3D Modeling on AutoDesk Inventor 2024

Elvyra Danotti¹, Steven Fernando Chu², Monika³, Handi Wilujeng Nugroho^{4*}, Kurniawan Hamidi⁵.

^{1,2,3,4,5} Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Universal.

*E-mail: handynugroho41@gmail.com

Informasi Naskah:

Diterima:
07 November 2025

Diterbitkan:
24 Desember 2025

Abstract: The industrial revolution 4.0 has encouraged the development of automation systems, including the 6 DOF robotic arm to enhance industrial production efficiency and effectiveness. This study aims to redesign a 6 DOF robotic arm based on benchmarking with Fanuc M-20iA and ABB IRB 2600 models using AutoDesk Inventor 2024. The method employed is benchmarking by comparing designs and specifications, followed by redesigning the Bill of Materials (BoM), Operation Process Chart (OPC), and assembly chart. The results show modifications such as redesigning the base into a square shape, adding rubber strips to the gripper, creating a separate panel for the motor driver and controller, and replacing the electromagnetic gripper with a mechanical one. The final design produces a simpler robotic arm with a production cost (HPP) of Rp105,554,924.00, which is more economical compared to similar products. The newly designed gripper is recommended for vertical object handling and positioning. Thus, the design successfully reduces maintenance costs, enhances precision, and maintains optimal performance for industrial applications.

Keyword: 6 DOF, Design improvement, Production Cost, Inventor, Robotic arm.

Abstrak: Revolusi industri 4.0 telah mendorong pengembangan sistem otomasi, salah satunya berupa lengan robot 6 DOF untuk mendukung efektivitas dan efisiensi produksi industri. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan improvisasi desain lengan robot 6 DOF berbasis benchmarking terhadap produk Fanuc M-20iA dan ABB IRB 2600 menggunakan AutoDesk Inventor 2024. Metode yang digunakan adalah *benchmarking* dengan membandingkan desain dan spesifikasi, serta melakukan perancangan ulang BoM, OPC, dan assembly chart. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dilakukan modifikasi pada desain base menjadi persegi, penambahan rubber strip pada gripper, pembuatan panel terpisah untuk driver motor dan controller, serta penggantian gripper elektromagnetik menjadi mekanik. Desain ini menghasilkan lengan robot yang lebih sederhana, dengan HPP sebesar Rp105.554.924,00, lebih ekonomis dibandingkan produk sejenis. Gripper hasil rancangan direkomendasikan untuk pengambilan dan pemasian benda secara vertikal. Dengan demikian, desain ini mampu

mengurangi biaya perawatan, meningkatkan presisi, dan mempertahankan kinerja optimal untuk aplikasi industri.

Kata Kunci: 6 DOF, Biaya Produksi, Inventor, Lengan Robot, Perbaikan Desain.

PENDAHULUAN

Perkembangan revolusi industri memunculkan urbanisasi akibat terbentuknya kota-kota yang digunakan untuk pusat produksi (Fernando & Fahrurridin, 2023). Revolusi industri sudah dimulai sejak abad ke-18 (Kurniawan & Sri Pudjiarti, 2024) dengan penemuan mesin uap (Huda & Sri Pudjiarti, 2024). Inovasi lain dari revolusi industri yakni penggunaan jalur kereta api (1.0), listrik, mesin, produksi massal (2.0) (Nagy, 2022), teknologi otomatisasi (3.0) (Maharani et al., 2023), hingga kehadiran kecerdasan buatan (4.0) (Leitao et al., 2020). Hal yang mempengaruhi revolusi industri adalah globalisasi (Mikoláš & Vozňáková, 2020). Di tengah perkembangan era globalisasi yang mendunia, terdapat tuntutan untuk meminimalkan risiko kecelakaan dengan menekan biaya dan waktu produksi seminimal mungkin serta memiliki arah yang sama berupa berkelanjutan.

Implementasi pembuatan produk berkelanjutan di revolusi industri 4.0 adalah lengan robot (Permen No. 7 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Nasional TPB/SDGs, 2018; PP No. 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, 2017; PP No. 111/2022 tentang Pelaksanaan Pencapaian TPB/SDGs, 2022). Lengan robot dapat bergerak dengan enam derajat kebebasan sesuai dengan fungsi yang diperintahkan oleh sistem sebagai pendukung kontrol DOF (Zebua et al., 2024). Lengan robot dalam dunia industri memiliki pengaruh signifikan terhadap proses produksi industri berupa peningkatan *output*, produktivitas, dan biaya operasional terhadap nilai jual produk (Nurcipto et al., 2020). Contoh penerapannya adalah lengan robot 6 DOF di Perusahaan Skoda dalam produksi mobil Skoda Octavia. Namun, tentunya dibutuhkan biaya awal berupa investasi jangka panjang yang besar dan terdapat keterbatasan SDM.

Dengan demikian, penulis berinistiatif melakukan perancangan dan permodelan kembali produk lengan robot 6 DOF dengan mengimplementasikan sejumlah inovasi melalui pendekatan *benchmarking*. *Benchmarking* meliputi identifikasi komponen yang digunakan dari masing-masing jenis lengan robot dan biaya komponen hingga menjadi satu produk utuh. Software yang digunakan untuk menunjang permodelan ini adalah AutoDesk Inventor 2024. AutoDesk Inventor 2024 merupakan software Computer Aided Design (Ningtyas et al., 2021) yang digunakan untuk membuat atau memodifikasi sketsa produk atau prototipe 2D dan kemudian dimodifikasi menjadi bentuk 3D yang sudah di-assembly (Muhamadin et al., 2023).

TINJUAN PUSTAKA

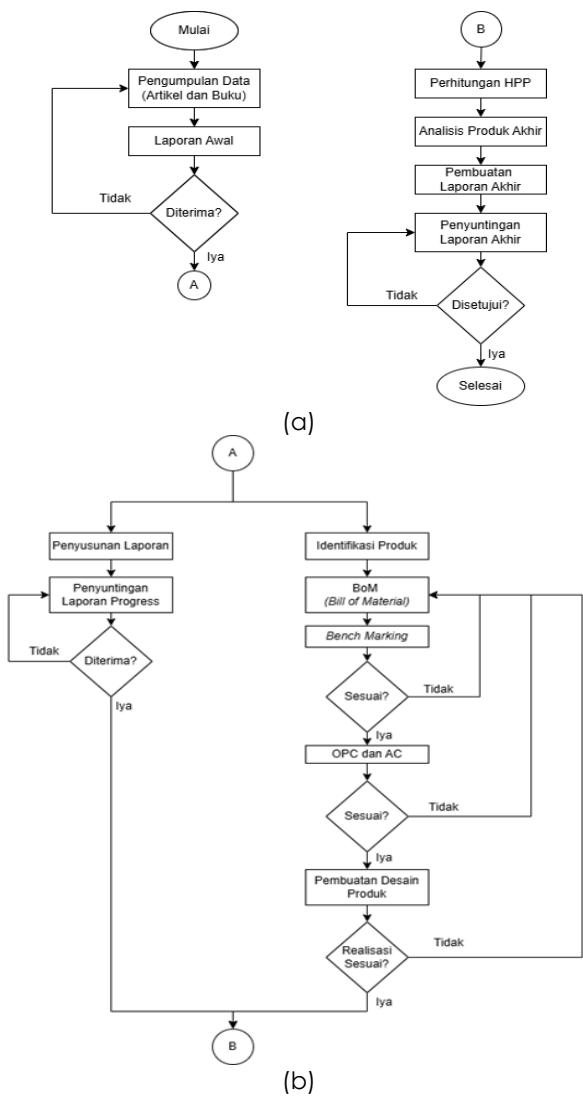
Lengan robot merupakan teknologi revolusi industri 4.0 dalam sistem otomatisasi robotika yang digunakan dalam industri untuk membantu menggantikan kegiatan produksi manusia yang berbahaya (Nurcipto et al., 2020). Lengan robot dalam implementasinya menggunakan karakteristik lengan manusia dengan derajat kebebasan atau *Degree of Freedom (DOF)* yang berbeda-beda sesuai dengan fungsi dan jenisnya (Marsono et al., 2018). Menurut (Agni et al., 2020), lengan robot secara umum terdiri dari beberapa bagian seperti *mechanical arm*, *end-effector*, *actuator*, *transducer*, dan *controller*.

Perancangan desain produk 2D dan 3D ini tidak terlepas pada pembuatan BoM, OPC dan AC. BoM berbentuk diagram dibuat sebagai landasan informasi permodelan dengan menguraikan komponen atau material penyusun struktur produk secara menyeluruh (Affiyanti et al., 2021). OPC berfungsi sebagai informasi alur operasi yang dilalui produk secara jelas dan sistematis, sedangkan *assembly chart* guna mengetahui hubungan

masing-masing komponen yang telah dibentuk berdasarkan BoM menjadi suatu produk akhir (Affiyanti et al., 2021). Metode *benchmarking* dilakukan dengan membandingkan dan menganalisis perbedaan jenis komponen yang digunakan maupun desain perancangannya, sehingga dapat berdampak positif dan menciptakan adanya inovasi baru (Widodo et al., 2023). Permodelan desain dilakukan perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP), yakni biaya produksi yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk memproduksi suatu produk akhir costing (Gina et al., 2024).

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *benchmarking* dengan alur sebagai berikut:

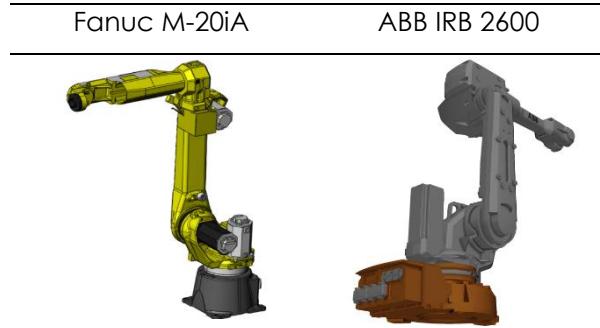


Gambar 1. (a) (b) Flowchart Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelusuran yang dilakukan, dapatkan dua sampel lengan robot untuk pemosisian berupa Fanuc M-20iA dan ABB IRB 2600 dengan perbandingan sebagai berikut:

Tabel 1. Perbandingan Desain Fanuc M-20iA dan ABB IRB 2600



Sumber :3cadbrowser.com.

Tabel 2. Perbandingan Spesifikasi Fanuc M-20iA dan ABB IRB 2600

Spesifikasi	Lengan Robot	
	Fanuc M-20iA	ABB IRB 2600
Axis	6	6
Payload	20 kg	20 kg
Repeatability	0,03 mm	0,04 mm
Reach	1811 mm	1650 mm
Weight	250 kg	284 kg

Sumber : Website resmi Fanuc dan ABB IRB

Berdasarkan hasil *benchmarking* tersebut, dilakukan penyusunan BoM, OPC dan assembly chart. Diketahui terdapat tiga level yang harus dicapai yakni level 0 (lengan robot 6 DOF), level 1 dan level 2. Item *base* dan *panel* memiliki decision make karena melalui proses pembuatan pada OPC, sementara itu *joint 1* hingga *end-effector* melalui proses assembly sebelum menjadi satu produk akhir. Sementara itu, satu DOF lengan robot harus memiliki minimal satu pasang servo motor dan driver motor, dibuktikan dalam Seminar Nasional Teknik Elektro oleh (Kafila et al., 2019), dalam keberadaannya driver motor dan servo motor memiliki hubungan keterkaitan erat satu sama lain dalam pengoperasian sistem. Berdasarkan perancangan BoM, diketahui jumlah kebutuhan servo motor dan driver motor masing-masingnya sebanyak enam buah untuk menggerakkan enam DOF positioning. Enam driver motor ini diletakkan pada satu papan controller

Arduino Uno ATmega 16U2 pada kotak panel. Adapun locknut pada BoM memuat baut dan mur dengan ukuran M4. Tabel BoM kemudian dirancang dalam bentuk diagram dengan penomoran part dan jumlah yang diperlukan sesuai dengan level-nya. Data diagram BoM linear dengan data yang berada di tabel BoM.

Tabel 3. Bill of Material Lengan Robot 6 DOF Pemosisian

Lengan Robot 6 DOF Pemosisian			
Level	Item	Kuantitas	Decision
1	Base	1	Make
1	Joint 1	1	Make
1	Arm	1	Make
1	Joint 2	1	Make
1	Forearm	1	Make
1	End-Effector	1	Make
1	Panel	1	Make
1	Locknut	10	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 4. Bill of Material Joint 1

Joint 1			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Joint Stopper	2	Buy
2	Motor Servo	2	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 5. Bill of Material Arm

Arm 1			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Motor Servo	1	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 6. Bill of Material Joint 2

Joint 2			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Motor Servo	1	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 7. Bill of Material Forearm

Forearm 1			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Motor Servo	1	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 8. Bill of Material End-Effector

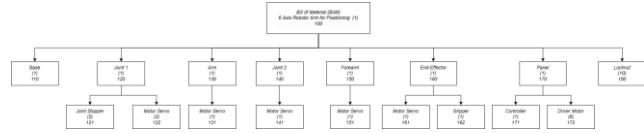
End-Effector			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Gripper	1	Buy
2	Motor Servo	1	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Tabel 9. Bill of Material Panel

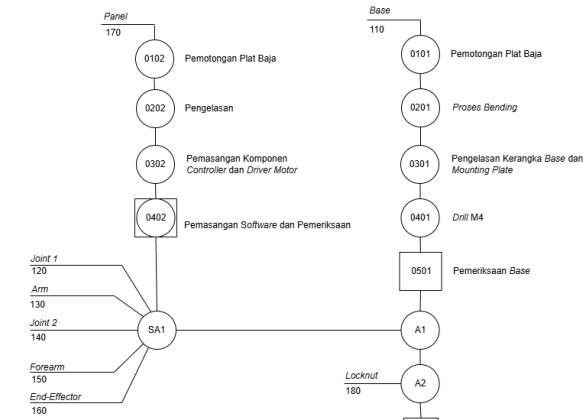
Panel			
Level	Item	Kuantitas	Decision
2	Controller	1	Buy
2	Driver Motor	1	Buy

Sumber : (Danotti et al., 2025)



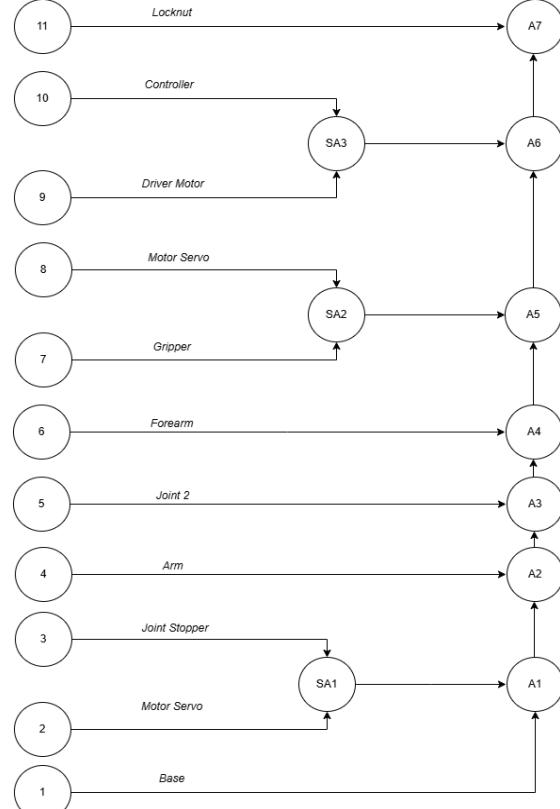
Gambar 2. BoM Lengan Robot 6 DOF Pemosisian

Product 6 Axis Robotic Arm for Positioning



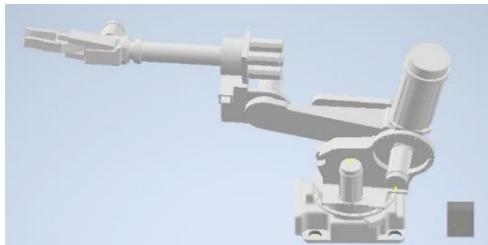
Gambar 3. OPC Lengan Robot 6 DOF Pemosisian

Product 6 Axis Robotic Arm for Positioning

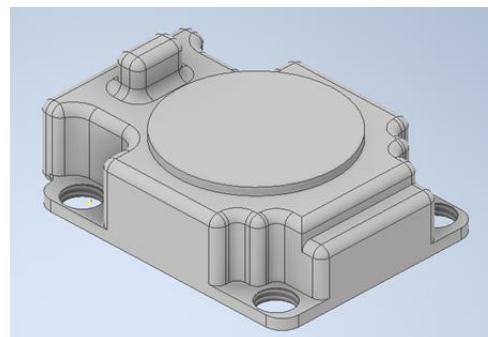


Gambar 4. AC Lengan Robot 6 DOF Pemosisian

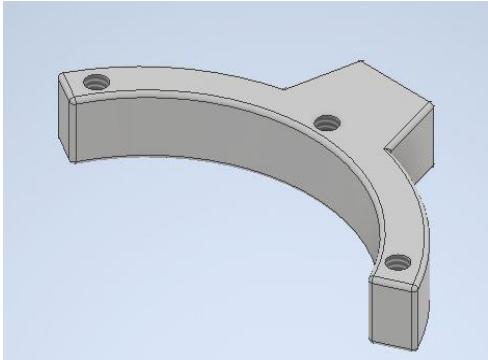
Modifikasi dilakukan berdasarkan referensi Fanuc M-20iA dan ABB IRB 2600. Desain dibuat dengan menurunkan tingkat kompleks gambar produk dengan meminimalisir penurunan fungsi komponen pada pengaplikasian lengan robot sebagai positioning.



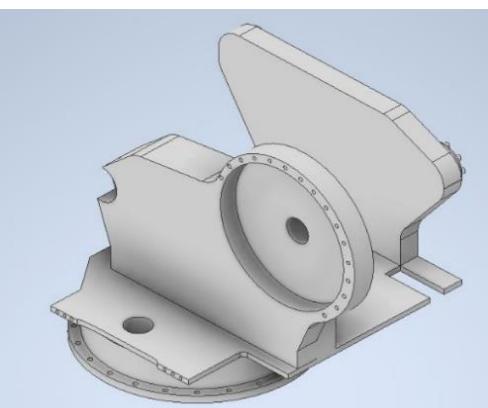
Gambar 5. Hasil 3D Produk Lengan Robot 6 DOF Pemosisian



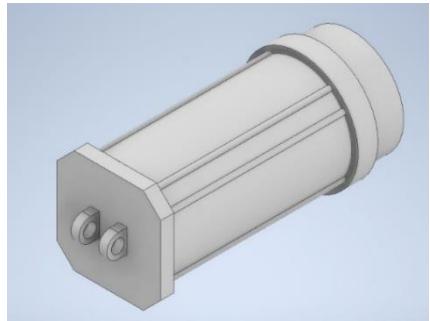
Gambar 6. Hasil 3D Base



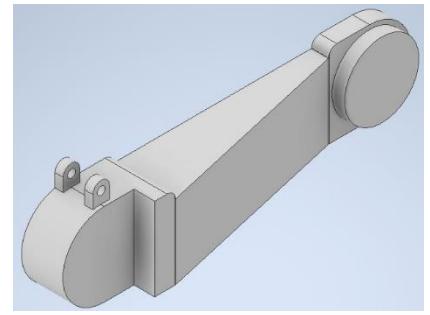
Gambar 7. Hasil 3D Joint Stopper



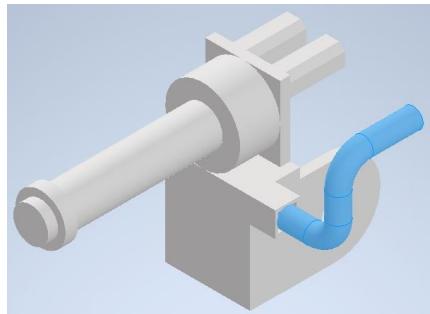
Gambar 8. Hasil 3D Joint 1



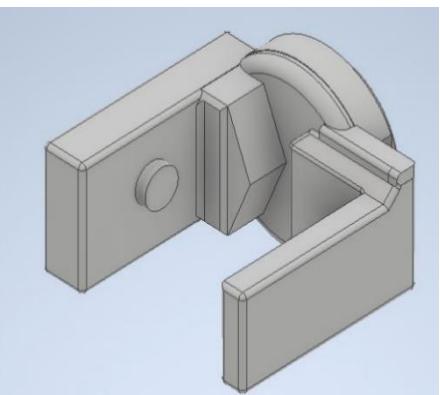
Gambar 9. Hasil 3D Arm



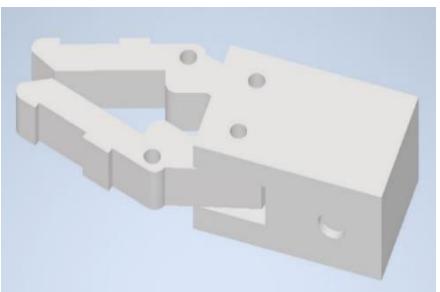
Gambar 10. Hasil 3D Joint 2



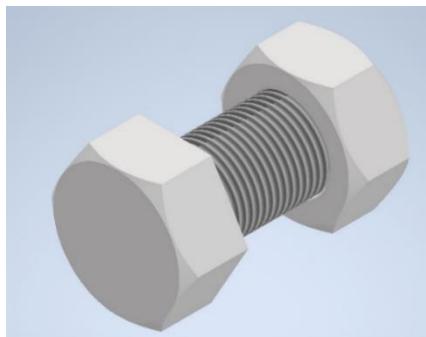
Gambar 11. Hasil 3D Forearm



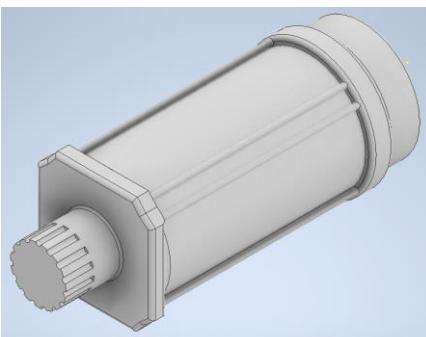
Gambar 12. Hasil 3D End-Effector



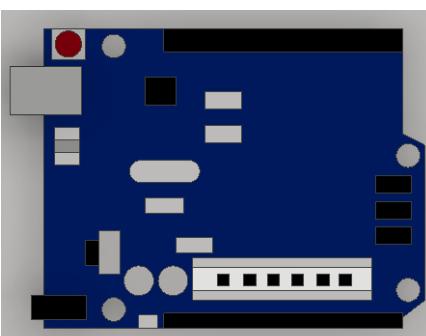
Gambar 13. Hasil 3D Gripper



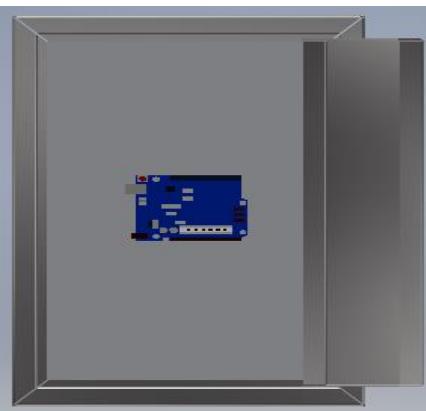
Gambar 14. Hasil 3D Locknut



Gambar 15. Hasil 3D Motor Servo



Gambar 16. Hasil 3D Driver Motor dan Controller



Gambar 17. Hasil 3D Panel

Penulis merancang bentuk base dalam bentuk persegi dari *mounting plate* untuk meningkatkan tingkat kestabilan dalam penggunaannya, sehingga memperkecil kemungkinan lengan robot tidak kuat menahan beban benda saat

memposisikannya dibandingkan dengan base berbentuk lingkaran sebagai dasarnya (referensi Fanuc M-20iA). Perancangan ini juga dilakukan untuk meminimalkan mudah terlepasnya *locknut* pada proses *positioning*. *Joint stopper* dibuat dengan bentuk ujung berukuran lebih kecil dan ditarik dari radius lingkaran base bertujuan untuk memperkecil jumlah ruang yang digunakan pada saat pengoperasian lengan robot. Bentuk ini juga dianggap lebih menyesuaikan bentuk base saat dipasangkan dengan *joint 1* berupa lingkaran, dibandingkan Fanuc M-20iA yang berbentuk persegi panjang.

Adapun *controller* dan *driver motor* diletakkan dalam satu *panel* di luar lengan robot dengan hasil modifikasi desain yang lebih simpel. Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam perancangan desain dan pembuatan bentuk *panel* secara mandiri. *Controller* dan *driver motor* diletakkan terpisah dari lengan robot memiliki keunggulan dalam perawatan dan perbaikan. Apabila *controller* dan *driver motor* tergabung dalam lengan robot digunakan dalam jangka waktu yang panjang kemudian mengalami kerusakan, diperlukan waktu dan alat untuk pendinginannya sebelum dilakukan perbaikan. Sehingga, kurang efektif dalam penggunaan waktu. Penyesuaian desain juga tergambar pada jumlah komponen yang digunakan pada gripper yakni tiga dibandingkan dengan referensi menggunakan lima komponen. Hal ini dilakukan untuk menurunkan kompleksitas perancangan desain dan pembuatan realisasi produk. Jumlah motor servo yang digunakan pada *forearm* hasil akhir produk memang lebih banyak dibandingkan referensi ABB IRB 2600, karena terdapat perbedaan daya untuk memenuhi kebutuhan torsinya. Masing-masing motor servo memiliki jumlah daya yang berbeda. Namun, modifikasi ini dilakukan agar meminimalkan biaya perbaikan apabila terjadi kerusakan pada motor servo. Sehingga, apabila salah satu motor servo saja yang rusak dapat segera diperbaiki dengan biaya perbaikan lebih minimum. Walaupun demikian, secara

fungsi motor servo dapat bekerja dengan baik setelah syarat kebutuhan torsi telah tercapai.

Berdasarkan benchmarking yang dilakukan, harga pokok produksi yang didapatkan untuk sebuah lengan robot 6 DOF pemasian adalah Rp105.554.924,00. Ini didapatkan dari penjumlahan material yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk yaitu sebesar Rp35.554.924, kemudian biaya tenaga kerja yang diperlukan yaitu 5 orang pekerja yang masing-masing dengan gaji 8.000.000, dan terakhir biaya overhead yaitu biaya utilitas, biaya penyusutan dan biaya lainnya senilai Rp 30.000.000. Rincian perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP) dirincikan sebagai berikut:

Tabel 11. Perhitungan HPP Lengan Robot 6 DOF Pemasian

Harga Pokok Produksi (HPP)			
Lengan Robot 6 DOF Pemasian			
Komponen	Unit	Harga	Total
Material			
Base	1	30.000.000	30.000.000
Joint Stopper	2	653.790	1.307.580
Motor Servo	6	455.976	2.735.856
Gripper	1	1.425.510	1.425.510
Panel (Driver Motor dan Controller)	1	80.778	80.778
Baut	10	475	4750
Mur	10	45	450
Total Material		32,616,574	35,554,924
Tenaga Kerja	5	8.000.000	40.000.000
Biaya Overhead	1	30.000.000	30.000.000
Total HPP		70.616.574	105.554.924

Sumber : (Danotti et al., 2025)

Berdasarkan perhitungan HPP yang telah dilakukan, dapat dianalisis bahwa biaya yang dibutuhkan untuk membuat satu produk akhir lebih rendah dibandingkan dengan produk sejenis lainnya. Hal dilatarbelakangi adanya penyesuaian kembali penggunaan tipe dari masing-

masing komponen, seperti melakukan pembuatan base dan panel dari plat baja. Pembuatan mandiri kedua komponen ini akan mengeluarkan biaya yang lebih rendah dibandingkan membeli komponen jadi. Penurunan biaya juga terlihat pada aspek biaya operasional dan pemeliharaan dalam jangka panjang dengan melakukan modifikasi penggantian gripper elektromagnetik yang membutuhkan daya listrik, biaya perbaikan dan perawatan, serta kalibrasi yang lebih tinggi dibandingkan gripper mekanik. Walaupun demikian, gripper GSWZ-S1 dari Jinan Aotto Automation Co., Ltd. (Alibaba) merupakan gripper Hot Product 2023 dengan bersertifikasi ISO 9001:2008. Gripper GSWZ-S1 ini dapat beroperasi pada temperatur -20-1050°C serta memiliki clamping force 1000N sehingga penggunaannya bertahan lama dalam kondisi kerja berat, khususnya di dunia industri. Hal ini dibuktikan dengan diperlukannya balancer pada lengan robot skala industri guna mempertimbangkan beratnya beban dengan jumlah daya torsi yang digunakan pada servo motor untuk dapat mengoperasikan lengan robot dengan stabil.

Motor servo yang digunakan berasal dari Ningbo Hirden Industrial Control System Co., Ltd. (Alibaba). Motor servo ODM/OEM ini memiliki fitur pelindung tahan air dengan nilai daya 400W, rated speed 3000, rated voltage 220V, rated torque 1.3, hingga IE 2. Supplier Ningbo ini juga memiliki layanan lain seperti sample-based customization maupun full customization dengan on-time delivery rate 100.0%, sehingga menjadi pertimbangan penulis untuk memilih toko ini. Adapun ATMega16U2 didesain ideal untuk aplikasi di ruang terbatas dengan tetap mempertahankan kinerja andal dan umur daya tahan yang panjang. Selain itu, dalam deksripsi produk mengenai ATMega16U2 pada Shenzhen Chipskey Technologu Co., Ltd. (Alibaba) menyatakan, komponen ini bebas timbal dan telah sesuai dengan RoHS. Oleh karena itu, aman untuk pengguna, industri, dan lingkungan. Adapun model SH-Stainless Steel Metal Locking Nut dari

Hengshui Shunhai Kehua Import and Export Co., Ltd. ini dipilih dalam penyesuaian jenis komponen karena menggunakan standar DIN dengan bersertifikasi RoHS, SGS, CE, dan ISO, 100% inspeksi menyeluruh, dan supplier telah melakukan banyak penjualan impor serta ekspor.

Tenaga kerja untuk membuat satu produk akhir diperkirakan membutuhkan lima orang. masing-masing pekerja memiliki job description dalam pengrajaannya. Peran dalam pembuatan satu produk melibatkan insinyur robotic sebagai perancang desain dan prototype produk; programmer untuk menguji segala sistem software berkaitan dengan pengoperasian kerja; pemantauan kinerja dan hasil kerja oleh teknisi pemeliharaan; penanggung jawab dalam menilai, memberikan perlindungan keamanan produk dari spesialis keamanan; dan analisis data yang bertanggungjawab dalam menangkap, mengumpulkan, serta memproses data demi mengoptimalkan kinerja lengan robot. Ditunjukkan jumlah biaya overhead yang masuk dalam kategori rendah yakni Rp 30.000.000,00. Sehingga, dari hasil perkiraan biaya overhead tersebut mengindikasikan adanya efisiensi dan menciptakan kondisi keuntungan lebih banyak dengan HPP sebesar 28,4%.

KESIMPULAN

Desain lengan robot 6 DOF dibuat menggunakan AutoDesk Inventor 2024 berdasarkan referensi ABB IRB 2600 dan Fanuc M-20iA. Peneliti melakukan modifikasi berupa desain base, joint stopper, gripper, membuat panel untuk driver motor dan controller lebih sederhana, hingga mengganti jenis gripper menjadi mekanik. Penggantian jenis gripper dilakukan untuk mengurangi biaya perawatan yang diperlukan dengan mempertahankan presisi yang baik. Selain itu, desain ini menggunakan tiga motor servo dengan daya lebih kecil untuk memenuhi kebutuhan torsi dengan mengantisipasi pengeluaran biaya perbaikan yang besar. Desain gripper yang telah dirancang ini direkomendasikan untuk mengambil dan

memposisikan benda secara vertikal dengan HPP sebesar Rp105.554.924,00

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Handi Wilujeng Nugroho, S.T., M.T. dan Kurniawan Hamidi, S.T., M.T. yang telah membimbing peneliti sejak awal perancangan hingga akhir penyusunan jurnal serta teman-teman Teknik Industri Universitas Universal yang senantiasa mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affiyanti, M. N., Purwandari, A. T., & Pratama, A. J. (2021). Perancangan SOP dan Tata Letak Lantai Produksi Pada LCC Respira V.01 PAPR (Powered Air Purifying Respirator). *JURNAL AI-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 6(1), 43–56. <https://doi.org/10.36722/sst.v6i1.655>
- Agni, M., Rafi, A., & Tahtawi, A. (2020). Perancangan Robot Lengan Lima Derajat Kebebasan untuk Misi Pick and Place Berbasis Inverse Kinematics. *SEMMASTERA (SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI DAN RISET TERAPAN)*, 2.
- Fernando, D. D., & Fahrurrodin. (2023). History of The Industrial Revolution. *Jurnal Sejarah, Pendidikan, Dan Humaniora*, 7(1), 1–5. <https://doi.org/10.36526/js.v3i2>
- Gina, I. N., Afif, M. N., & Kusuma, I. C. (2024). Analisis Perhitungan Harga Pokok Produksi Dalam Menentukan Harga Jual pada Perusahaan Berkah Foldinggate. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 3(11), 3207–3220.
- Huda, M., & Sri Pudjiarti, E. (2024). Peran Otomatisasi dan Robotika dalam Era Digital: Transformasi Bisnis Melalui Otomatisasi dan Robotika dalam Era Digital. *Transformasi: Journal of Economics and Business Management*, 3(1), 254–272. <https://doi.org/10.56444/transformasi.v3i1.1739>
- Kafila, R. I., Saputra, H. M., & Nurhakim, A. (2019). Sistem Auto Homing pada Motor Servo Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) Auto Homing System for Servo Motor Based On Programmable Logic Controller (PLC).
- Kurniawan, Y., & Sri Pudjiarti, E. (2024). Mengurangi Jejak Sejarah Revolusi Industri 4.0: Dari Konsep Hingga Realisasi. *Transformasi: Journal of Economics and*

- Business Management*, 3(1), 178–192. <https://doi.org/10.56444/transformasi.v3i1.1663>
- Leitao, P., Pires, F., Karnouskos, S., & Colombo, A. W. (2020). Quo Vadis Industry 4.0? Position, Trends, and Challenges. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, 1(August), 298–310. <https://doi.org/10.1109/OJIES.2020.303166>
- Maharani, A., Adawiyah, D. R., Prisilia, F. A., Yovitasari, T. Z., Saputra, W., & PP Korespondensi, A. (2023). Perkembangan dan Penggunaan E-Commerce Sebagai Salah Satu Dampak Revolusi Industri 4.0 di Lingkungan Bisnis. *Jurnal Pijar Studi Manajemen Dan Bisnis*, 1(2), 304–314.
- Marsono, Ari Elbaith Zaeni, I., & Qolik, A. (2018). Prototype Arm Robotic 6 Axis Untuk Menyiapkan Kompetensi Pemrograman Matakuliah Mekatronika Mahasiswa Prodi D3 Teknik Mesin. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 1(2), 1–7.
- Mikoláš, Z., & Vozňáková, I. (2020). EVOLUTIONARY MODEL FAMILY BUSINESS - concept of special model. *SHS Web of Conferences*, 83, 01047. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20208301047>
- Muhamadin, R. C., Ningtyas, A. H. P., Pahlawan, I. A., Hidayatullah, R. A., Dagmar, A. V., Sudirjo, P., Hidayat, B., & Wijaya, R. (2023). Pengenalan Software Autodesk Inventor Untuk Meningkatkan Kompetensi Pelajar SMK di Kabupaten Gresik Introduction of Autodesk Inventor Software to Improve the Competency of Vocational School Students in Kabupaten Gresik. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Indonesia (JPPMI)*, 2(4), 76–84. <https://doi.org/10.55606/jppmi.v2i3.765>
- Nagy, R. (2022). A Literature Review of Contemporary Industrial Revolutions as Decision Support Resources. *Journal of Agricultural Informatics*, 13(1), 19–25. <https://doi.org/10.17700/jai.2022.13.1.656>
- Ningtyas, A. H. P., Ayuaning, K., Prambudiarto, B. A., & Maulana, I. (2021). Implementasi Penggunaan Software AutoDesk Inventor Dalam Meningkatkan Kompetensi. *ADI WIDYA Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 161–169.
- Nurcipto, D., Mayasari, D. A., Kurniatie, M. D., Artikel, I., Robot, T., & Frs, G. (2020). Deteksi Objek Tangan Robotik Nirkabel. *Jurnal Ilmiah Setrum*, 9(1), 92–106.
- Permen No. 7 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Nasional TPB/SDGs. (2018). Permen No. 7 Tahun 2018 tentang Rencana Aksi Nasional TPB/SDGs.
- PP No. 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. (2017). PP No. 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan.
- No. 111/2022 tentang Pelaksanaan Pencapaian TPB/SDGs. (2022). PP No. 111/2022 tentang Pelaksanaan Pencapaian TPB/SDGs.
- Widodo, I. G., Hartono, B., Tjahyono, E., Safriana, T., Zara, A., Program, S., D3, T., Mesin, J. T., Mesin, N., Semarang, J. H., Soedarto, S. H., Semarang, K., & Tengah, J. (2023). Desain dan Analisis Model Lengan Robot untuk Memindahkan Material. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 18, Issue 2).
- Zebua, N. E., Setyawan, G. C., & Juri Damai Lase, K. (2024). Rancang Bangun Remote Control Robot Lengan 6DOF Dengan Protokol ESP-NOW. *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, 20(2), 991–1001.