|  |  |
| --- | --- |
| Jurnal **TEKNOSIA**  Vol. 19 No. 1, bulan Juni 2025, Hal: 25 – 34  <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/teknosia>  P-ISSN No. : 1978-8819 |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Desain Sistem 5-Axis *Robotic Arm* untuk Otomatisasi *Quality Control* dengan *Infrared***  ***5-Axis Robotic Arm System Design for Quality Control Automation with Infrared***  **Habib Aufarizag1, Handi Wilujeng Nugroho2\*, Kurniawan Hamidi3.**  **1,2,3 Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Universal.**  **\*E-mail:** [**handynugroho41@gmail.com**](mailto:handynugroho41@gmail.com) |  |



**Informasi Naskah**:

Diterima:

28 April 2025

Direvisi:

23 Juni 2025

Disetujui terbit:

24 Juni 2025

Diterbitkan:

Cetak:

30 Juni 2025

Online

30 Juni 2025

***Abstract***:

*This study aims to design an optimized 5-Axis Robotic Arm system for Quality Control (QC) applications utilizing infrared sensor technology. The research process involved a comprehensive literature review to explore the latest developments in robotic systems and automation technologies. Benchmarking similar products was conducted to identify strengths and weaknesses as a foundation for innovation. The preparation of the Bill of Material (BoM), Operation Process Chart (OPC), and Assembly Chart (AC) was essential for systematic production planning. The final design was developed using Inventor 2024 software to ensure precision and component compatibility. The results demonstrate that the selection of aluminum materials, servo motors with a lifting capacity of up to 10 kg, Arduino Uno R3, and Pixy Cam significantly enhanced the system’s flexibility, durability, and efficiency. Structural modifications improved the mechanical stability and operational lifespan of the robotic arm. This system is expected to serve as an effective solution to improve the accuracy and speed of Quality Control processes in modern industrial environments.*

***Keyword:*** *5-axis, robotic arm, Quality Control, sensors, Bill of Material, Product Design.*

**Abstrak:**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *5-Axis Robotic Arm* yang dioptimalkan untuk aplikasi *Quality Control* (QC) berbasis sensor inframerah. Dalam proses penelitian, dilakukan studi literatur untuk memahami perkembangan teknologi robotik dan aplikasi sensor dalam sistem otomatisasi. Selain itu, benchmarking terhadap produk serupa dilakukan guna mengidentifikasi keunggulan dan kekurangan sebagai dasar inovasi. Penyusunan *Bill of Material* (BoM), *Operation Process Chart* (OPC), dan *Assembly Chart* (AC) menjadi langkah penting dalam perencanaan produksi. Desain akhir dikembangkan menggunakan perangkat lunak Inventor 2024 untuk memastikan presisi dan kompatibilitas antar komponen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material aluminium, motor servo dengan kapasitas angkat hingga 10 kg, Arduino Uno R3, dan kamera *Pixy Cam* secara signifikan meningkatkan fleksibilitas, daya tahan, serta efisiensi sistem. Modifikasi desain pada struktur mekanik berhasil meningkatkan stabilitas dan memperpanjang umur operasional alat. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam meningkatkan akurasi dan kecepatan proses *Quality Control* di lingkungan industri modern.

**Kata Kunci:** 5-*axis*, *robotic arm*, *Quality Control*, sensor, *Bill of Material*, desain produk



**PENDAHULUAN**

Sejak pertengahan abad ke-18 (1750-1850), terjadi kemajuan signifikan yang membawa manfaat besar bagi berbagai aspek kehidupan, perjalanan yang sebelumnya memakan waktu lama menjadi lebih efisien, pengolahan bahan pangan mengalami peningkatan kualitas untuk memenuhi kebutuhan pasar, proses pembangunan dipercepat, sehingga waktu produksi massal menjadi lebih singkat (Revolusi Industri Dito Dwi Fernando, 2023). Di era Industri 4.0, kecerdasan buatan telah diimplementasikan dan terintegrasi dalam perangkat pintar (Purba et al., 2021). Dimulai dengan Revolusi Industri 1.0 yang ditandai dengan penemuan mesin uap. Selanjutnya, Revolusi Industri 2.0 memperkenalkan kendaraan maritim, disusul Revolusi Industri 3.0 dengan teknologi kecerdasan buatan. Dengan semakin majunya teknologi, Revolusi Industri 4.0 ditandai dengan ambisi para ahli untuk menciptakan teknologi yang lebih cerdas guna mendukung kegiatan manusia, sehingga menghemat tenaga, waktu, dan memperkecil risiko kecelakaan (Y. Kurniawan & Sri Pudjiarti, 2024). Dalam kaitannya dengan perkembangan Revolusi Industri 4.0, Abdul Rohman dan Yenni Eria menegaskan bahwa konsep kehidupan mengalami transformasi yang signifikan. Kemajuan teknologi ini menuntut manusia untuk menguasai perangkat teknologi cerdas yang diciptakan agar dapat memaksimalkan pemanfaatannya (Sudargini & Purwanto, 2020).

Dalam pengembangan teknologi kecerdasan buatan, proses pembelajaran dan pengujian coba merupakan aspek krusial yang memerlukan waktu yang signifikan. Proses tersebut diperlukan untuk menghasilkan teknologi pintar yang optimal (Hotimah et al., 2022). Kemajuan teknologi informasi saat ini memungkinkan penyampaian informasi menjadi sangat gampang (Heri Widiastuti et al., 2021). Upaya ini menjadi titik tolak dalam mengatasi tantangan manusia untuk memahami kecerdasan buatan, guna menghindari kesenjangan antara kemampuan manusia dan teknologi kecerdasan buatan (Riska Intan Pramitaning Tyas & Muhammad Yasin, 2024). Kemajuan mesin kecerdasan buatan (AI) terus berlanjut melampaui tahap 3.0, menuju tahap 4.0, di mana AI semakin memberdayakan manusia. Hal ini tercermin dalam proses produksi yang diotomatisasi oleh mesin AI di perusahaan-perusahaan, yang meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara signifikan (Yunus & Mitrohardjono, 2020). Industri 4.0 telah menghadirkan inovasi teknologi revolusioner yang dikenal sebagai "mesin pintar" (Anis et al., 2022). Indonesia telah memasuki era Revolusi Industri 4.0, ditandai dengan transformasi signifikan dalam berbagai bidang. Sebagai negara produsen yang aktif, Indonesia terus berinovasi dalam pengembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk meningkatkan kualitas produksi dan mendorong transformasi ekonomi. Peningkatan produktivitas yang dihasilkan berperan penting dalam meningkatkan skala ekonomi dan kesejahteraan masyarakat Indonesia (Nugroho et al., 2023). Kemajuan teknologi mesin telah menciptakan pola kemudahan, efisiensi, dan kepraktisan yang menyederhanakan aktivitas harian kita (Rifqi Suhaidi et al., 2023).

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan telah melahirkan mesin pintar canggih, termasuk robot yang mensimulasikan perilaku dan gerakan manusia secara luar biasa (Farozi et al., 2019). Dalam ranah manufaktur, lengan robotik merupakan manifestasi canggih dari mesin cerdas. Menurut Daryanto, mesin cerdas ini terdiri dari komponen dasar seperti baterai, aktuator, dan struktur fisik mesin cerdas itu sendiri (Rahmadewi & Abdi Bangsa, 2020). Mesin kecerdasan buatan ini dirancang menyerupai tangan manusia, baik dalam bentuk maupun fungsi (Nurkholik et al., 2022). Fleksibel dalam pergerakan memungkinkan variasi dan kegunaan sesuai dengan kebutuhan spesifik (Irwan, 2022). Gerakan mesin cerdas tersebut dikendalikan oleh sebuah pengontrol (Andhy Satrio Anwar et al., 2021). Mesin canggih ini didukung oleh motor servo yang berfungsi sebagai penggerak (Rahman et al., 2020). Motor servo berperan sebagai penggerak yang mengontrol jangkauan fleksibilitas gerak tertentu sesuai dengan perintah pengontrol (Alam et al., 2021). Mesin pintar ini juga banyak diperjual belikan guna memenuhi kebutuhan pasar sebagai pembantu dalam bidang industrial (Fajar Wirayudha & Wahyu Wiriasto, 2024)

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem otomasi yang cerdas dan efisien dalam industri, tantangan utama yang dihadapi adalah bagaimana merancang perangkat mekanik yang mampu melakukan tugas *Quality Control* (QC) secara presisi dan otomatis. Permasalahan yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang 5-*Axis Robotic Arm* berbasis sensor inframerah yang dapat meningkatkan fleksibilitas gerak, efisiensi waktu, serta akurasi dalam proses *Quality Control*. Selain itu, perlu dikaji pula pemilihan material, komponen, dan metode produksi yang optimal untuk mendukung performa dan keandalan sistem *robotic arm* yang dikembangkan.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan desain produk yang ergonomis, menggunakan material yang tahan lama, serta menerapkan konfigurasi komponen yang optimal berdasarkan benchmarking produk sejenis. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan dokumen teknis seperti Bill of Material (BoM), Operation Process Chart (OPC), dan Assembly Chart (AC) yang menjadi panduan dalam produksi dan perakitan produk tersebut, serta untuk menghasilkan model desain digital menggunakan perangkat lunak Inventor 2024 sebagai basis produksi prototipe.

**TINJUAN PUSTAKA**

**Robotic ARM**

Industri 4.0 ditandai dengan penggunaan robot pekerja yang dirancang khusus untuk berbagai tugas, seperti lengan robot yang disesuaikan dengan fungsi spesifiknya (Techno Bahari et al., 2023). Teknologi ini memungkinkan pekerjaan menjadi lebih efisien dalam hal tenaga dan waktu (Stephanie et al., 2020). Lengan robot memiliki beberapa komponen utama, antara lain rangka dasar, pengatur sendi, lengan sendi, lengan depan, dan penjepit akhir (Ari Elbaith Zaeni & Qolik, 2018). Pembuatan lengan robot dapat dikustomisasi berdasarkan kebutuhan, dengan menentukan jumlah derajat kebebasan (DOF) yang memengaruhi kelenturan pergerakannya (Riyadi & Nugroho, n.d.).

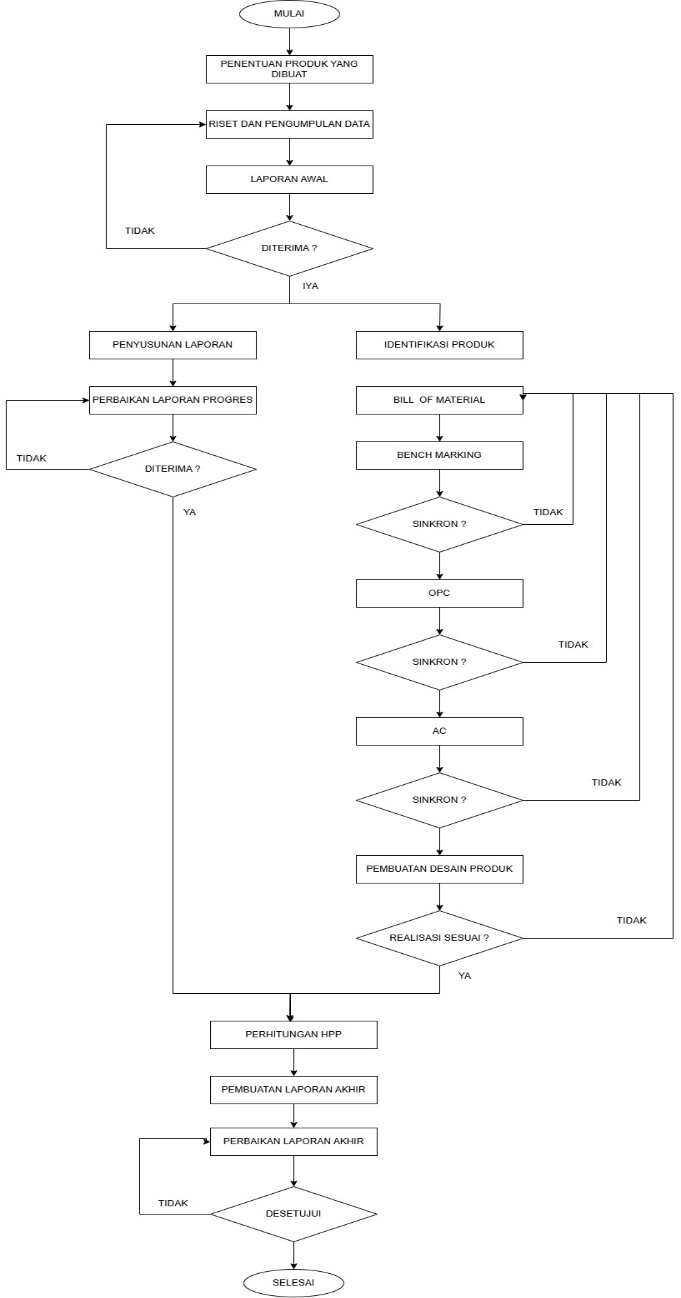
***Bill of Material* (BoM)**

*Bill of Material (BOM)* adalah informasi terstruktur mengenai suatu rangkaian produk, dengan setiap elemen memiliki tingkat kedalaman tertentu yang berkontribusi pada pembentukan produk akhir(Cahyono et al., 2017). *Bill of Material* (BoM) adalah informasi terstruktur mengenai suatu rangkaian produk, dengan setiap elemen memiliki tingkat kedalaman tertentu yang berkontribusi pada pembentukan produk akhir (Pendidikan Ekonomi et al., 2022). Meminimalkan cacat dalam proses produksi (Sari et al., 2018b)

**Harga Pokok Produksi**

Dalam proses manufaktur, pengaturan biaya produksi selama durasi tahapan produksi sangat krusial. Manajemen biaya harus mencakup pengadaan bahan baku, bahan tambahan, dan upah tenaga kerja(Satriani & Vijaya Kusuma, 2020).

**METODOLOGI PENELITIAN**



**Gambar 1**. *Flowchart* Penelitian

Kegiatan penelitian diawali dengan tahap penentuan produk, yang menjadi dasar dalam merumuskan fokus dan arah penelitian. Setelah fokus penelitian ditetapkan, dilakukan kegiatan riset dan pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari artikel ilmiah dan buku referensi relevan dalam rentang waktu tertentu. Data yang dikumpulkan kemudian dirangkum dalam laporan awal penelitian, yang berisi landasan teori dan kajian pustaka sebagai bagian dari Bab 1 dan Bab 2. Selanjutnya, dilakukan identifikasi produk sebagai langkah awal dalam proses pra-desain. Produk yang menjadi objek penelitian ini adalah *5-axis robotic arm for Quality Control (QC) with Infrared sensor*.

Setelah laporan awal disetujui, penelitian dilanjutkan dengan evaluasi produk-produk sejenis untuk mengidentifikasi keunggulan dan kekurangan yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan inovasi baru. Hasil evaluasi ini disajikan dalam bentuk tabel analisis pada bagian hasil dan pembahasan. Komponen-komponen yang dibutuhkan untuk perancangan produk diidentifikasi dalam *Bill of Material* (BoM), yang disusun berdasarkan standar penomoran dan mempertimbangkan keputusan antara pembuatan mandiri atau pembelian komponen. Berdasarkan BoM, disusun pula *Operation Process Chart* (OPC) dan *Assembly Chart* (AC) untuk mendukung perencanaan proses produksi. Tahap akhir dari penelitian ini adalah pembuatan desain produk menggunakan perangkat lunak Inventor 2024, yang dilaksanakan setelah seluruh rangkaian pra-desain, identifikasi produk, serta penyusunan OPC dan AC diselesaikan secara sistematis.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Dalam pembuatan produk, metode *benchmarking* dilakukan dengan membandingkan dua produk yang memiliki elemen serupa tetapi dari merek berbeda. Pemilihan dua produk ini memungkinkan evaluasi kualitas elemen seperti bahan, ketahanan, dan fungsi. Penentuan biaya dapat dihitung sebagai harga pokok produksi. Pemilihan sumber harga perlu mempertimbangkan harga terbaik, dan survei sumber harga dilakukan melalui toko daring serupa. Hasilnya, dipilih sumber harga yang menawarkan harga relatif murah dan memiliki reputasi baik berdasarkan survei pelanggan. Bahan aluminium dipilih karena mudah didapat dengan harga terjangkau dan memiliki masa pakai yang lama.

**Tabel 1.** *Benchmarking* Produk

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Nama Pemilik Produk** | **Nama Item** | **Jumlah Item** | **Harga Item** | **Sumber** | **Total** |
| 1 | Elektronika Hendri | Plat Alumunium | 1 KG | Rp 47,000.00 | Alibaba.com | Rp 47,000.00 |
| Motor Servo MG996R | 1 Buah | Rp 38,500.00 | Tokopedia | Rp 38,500.00 |
| *Board Arduino Uno* R3 | 1 Buah | Rp 290,000.00 | Tokopedia | Rp 290,000.00 |
| *Driver Servo* PCA9685 | 1 Buah | Rp 92,800.00 | Blibli.com | Rp 92,800.00 |
| *Power Supply* 5V/3A | 1 Buah | Rp 18,000.00 | Tokopedia | Rp 18,000.00 |
| 2 | Neurobot DiSirkuit | Bioloid | 1 Buah | Rp 4,000.00 | Tokopedia | Rp 4,000.00 |
| Motor Servo Dynamixel AX-12A | 1 Buah | Rp 826,000.00 | Tokopedia | Rp 826,000.00 |
| *Arduino Due* | 1 Buah | Rp 1,046,000.00 | Tokopedia | Rp1,046,000.00 |
| *Power Supplay* 12V,5A | 1 Buah | Rp 27,500.00 | Tokopedia | Rp 27,500.00 |
| 3 | Peneliti | Plat Alumunium | 20 KG | Rp 47,000.00 | Alibaba.com | Rp 940,000.00 |
| Motor Servo MG996R | 6 Buah | Rp 38,500.00 | Tokopedia | Rp 231,000.00 |
| *Board Arduino Uno* R3 | 1 Buah | Rp 290,000.00 | Tokopedia | Rp 290,000.00 |
| *Driver Servo* PCA9685 | 1 Buah | Rp 92,800.00 | Blibli.com | Rp 92,800.00 |
| *Power Supplay* 5V/3A | 1 Buah | Rp 18,000.00 | Tokopedia | Rp 18,000.00 |
| Kamera *Pixy Cam CUMCam* 5 | 1 Buah | Rp 1,839,900.00 | Tokopedia | Rp1,839,900.00 |
| Baut L M6 | 16 Buah | Rp 34,000.00 | Tokopedia | Rp 544,000.00 |
| Baut Mur 20mm diameter panjang 100mm | 4 Buah | Rp 35,550.00 | Tokopedia | Rp 142,200.00 |

Hasil analisis komparatif (*benchmarking*) menghasilkan daftar komponen yang terurut sesuai tabel sebelumnya. Komponen yang diproduksi dimodifikasi dari desain awal untuk mengakomodasi fungsi *5 axis robotic arm for QC with Inflared*. Komponen rangka *Mechanical Arm* yang unik ini dirancang menggunakan aplikasi Inventor 2024 dan tidak tersedia di pasaran. Selain komponen yang diproduksi, juga digunakan komponen standar yang dibeli. Pemilihan komponen yang dibeli melalui proses *benchmarking* bertujuan untuk menghemat biaya produksi *5 axis robotic arm for QC with inflared.*



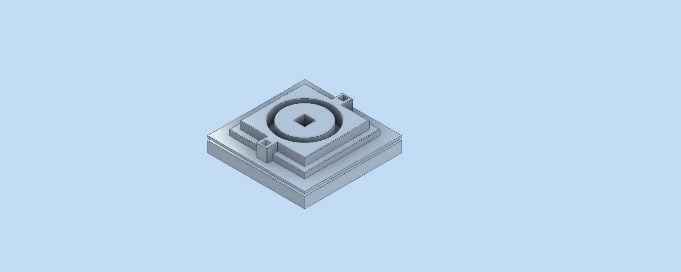
**Gambar 2.** *Bill of Material Table for Make and Buy Part*



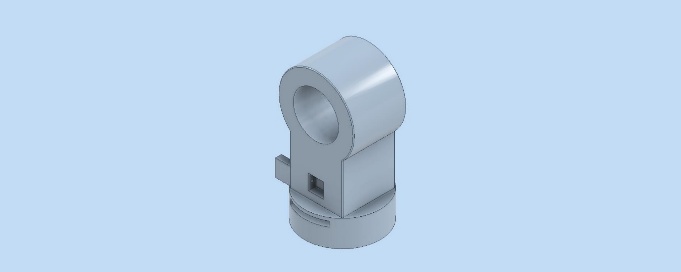
**Gambar 3.***Bill of Material Chart*

Proses penyusunan level tingkatan dalam Tabel *Bill of Material* (BoM) dipermudah melalui pembuatan rangkain BoM, yang juga memudahkan penyusunan *Assembly Chart*. Komponen *Joint Stopper* pada *Base* berperan dalam mengatur pergerakan *Joint 1* saat dirakit. Adapun *Joint 1, Arm, Joint 2, dan For-arm* dilengkapi *motor servo* untuk mendukung pergerakan robot yang fleksibel. Selain *motor servo, End-effector* dilengkapi kamera *Fuxy* yang berfungsi membaca gambar sesuai dengan peruntukannya sebagai 5 *axis robotic arm for QC with Inflared.*

Pemilihan *base* berbentuk kotak adalah pada produk awal berbentuk bulat dan tinggi *base* yang tidak sebanding, sehingga keseimbangan pada produk tidak terjadi, muda jatuh dan juga pada desain tersebut kurang baik dalam kerjanya sebagai robot angkat barang.

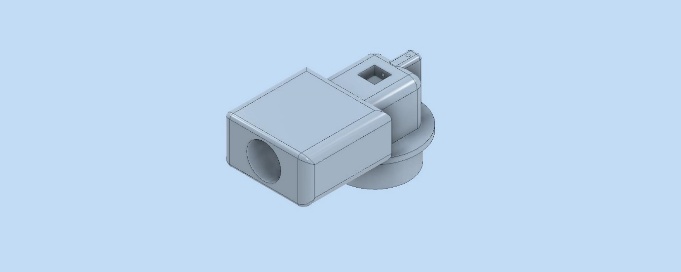


**Gambar 4.**  *Base Plate* Produk



**Gambar 5.**  *Joint Part* 1

Pembuatan *Joint* pada desain ini guna sebagai penentu fleksibilitas produk agar pada perputaran di ­*Base*  tidak 360 derajat.



**Gambar 6.**  *Joint Part* 2

Pembuatan ­*joint* 2 disini adalah sebagai sambungan *For Arm*  yang disini dibikin untuk fleksibilitas sesuai dengan fungsi. Selama tahap perancangan, modifikasi dilakukan untuk mengoptimalkan fleksibilitas dan aspek estetika alat. Terjadi pula pergeseran fungsi, dari konsep awal sebagai perangkat penjepit untuk mengangkat objek, menjadi alat ukir yang meminimalisir kekeliruan dalam proses pembuatan karya seni. Selain itu, material yang digunakan juga diganti, dari serat jagung yang dicetak menggunakan printer 3D menjadi aluminium yang memiliki daya tahan lebih unggul.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem robotic *arm 5-axis* yang dikembangkan memiliki stabilitas struktur tinggi melalui pemilihan material aluminium dan redesain *base plate* berbentuk kotak. Selain itu, akurasi sistem ditingkatkan dengan integrasi kamera *Pixy Cam* dan kontroler Arduino yang mampu mengenali objek secara tepat serta mengontrol aktuasi motor servo secara presisi. Dari sisi efisiensi, sistem mampu bekerja secara terus menerus hingga 10 jam dengan konsumsi daya rendah, serta menunjukkan efisiensi biaya melalui seleksi komponen *make vs buy* berbasis *benchmarking*. Berdasarkan estimasi siklus kerja dan kualitas komponen, *Time to Failure* (TTF) diproyeksikan berada pada kisaran awal >200 jam kerja, sedangkan *Time Between Failure* (TBF) berada di kisaran 500–800 jam. Nilai ini menandakan sistem mampu beroperasi dengan tingkat keandalan yang memadai untuk aplikasi *Quality Control* dalam skala industri ringan hingga menengah.

**Tabel 2.**  HPP Bahan Baku

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nama Item** | **Jumlah Item** | **Harga Item** | **Sumber Item** | **Total** |
| Plat Alumunium | 20 KG | Rp 47.000 | Alibaba.com | Rp 940.000 |
| Motor Servo MG996R | 6 Buah | Rp38.500 | Tokopedia | Rp 231.000 |
| *Board Arduino Uno* R3 | 1 Buah | Rp 290.000 | Tokopedia | Rp 290.000 |
| *Driver Servo* PCA9685 | 1 Buah | Rp 92.800 | Blibli.com | Rp 92.800 |
| *Power Supplay* 5V/3A | 1 Buah | Rp 18.000 | Tokopedia | Rp 18.000 |
| Kamera *Pixy Cam CUMCam* 5 | 1 Buah | Rp 1.839.900 | Tokopedia | Rp 1.839.900 |
| Baut L M6 | 16 Buah | Rp 34.000 | Tokopedia | Rp 544.000 |
| Baut Mur 20mm diameter panjang 100mm | 4 Buah | Rp 35.550 | Tokopedia | Rp 142.200 |
|  |  | **Total** |  | Rp 4.097.900 |

Pemilihan bahan baku berdasarkan pada proses penelusuran dan evaluasi melalui metode *Benchmarking*. Dari aspek ketahanan dan harga, bahan baku yang dipilih meliputi : plat aluminium yang kuat dan mudah dibentuk, motor servo dengan daya tahan angkat hingga 10 kg, *Arduino Uno R3* yang mendukung pemrograman, *Driver Servo PCA 9685* dengan 6 kanal, catu daya 5V/3A yang bertahan selama 10 jam dan perlu diganti minimal setiap 3-5 tahun, kamera *Pixy Cam CUMCAM* dengan kualitas gambar yang jelas, baut L6 yang teruji kualitasnya, serta baut-mur 20 mm dengan diameter 100 mm untuk pembuatan alas.

**KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil merancang sistem 5-*Axis Robotic Arm* untuk aplikasi *Quality Control* (QC) berbasis sensor inframerah. Melalui tahapan studi literatur, *benchmarking* produk sejenis, penyusunan *Bill of Material* (BoM), *Operation Process Chart* (OPC), dan *Assembly Chart* (AC), serta pengembangan desain menggunakan Inventor 2024, diperoleh desain produk yang optimal. Pemilihan material aluminium, penggunaan motor servo dengan kapasitas angkat 10 kg, Arduino Uno R3, serta *Pixy Cam* terbukti meningkatkan daya tahan. Modifikasi struktur mekanik juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan stabilitas dan umur operasional perangkat. Sistem *robotic arm* yang dirancang dalam penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas dan kecepatan proses *quality control* dalam lingkungan industri modern. Selain itu, metode yang diterapkan dalam penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan teknologi otomasi industri berbasis kecerdasan buatan di masa depan.

**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**

Alam, S., Tjahjadi, G., Yenita, N. R., & Supriyadi, S. (2021). Rancang Bangun Prototype Pengendalian Lengan Robot (Robotic Arm) Sebagai Pemindah Barang Berbasis Internet Of Things. *Faktor Exacta*, *14*(3), 140. https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v14i3.9807

Andhy Satrio Anwar, M., Mirna, M., Rifaldi, M., Nur, M., Mekatronika, T., Bosowa, P., raya, Jlk., Makassar, K., & selatan, S. (2021). *Rancang Bangun Robot Arm 4 DOF Berbasis Mikrokontroler ATMega328*.

Anis, M. Z. A., Mardiani, F., & Fathurrahman, F. (2022). Digital History dan Kesiapan Belajar Sejarah di Era Revolusi 4.0. *Fajar Historia: Jurnal Ilmu Sejarah Dan Pendidikan*, *6*(1), 29–42. https://doi.org/10.29408/fhs.v6i1.4375

Ari Elbaith Zaeni, I., & Qolik, A. (2018). *Prototype Arm Robotic 6 Axis Untuk Menyiapkan Kompetensi Pemrograman Matakuliah Mekatronika Mahasiswa Prodi D3 Teknik Mesin*. http://journal2.um.ac.id/index.php/jtmp

Cahyono, D., Nur, R., Shanty, T., & Eka, H. (2017). Sistem Informasi Standard Bill Of Material Quantity Genset di PT Conductorjasa Suryapersada. *Jurnal INFORM*, *2*(1).

Fajar Wirayudha, M., & Wahyu Wiriasto, G. (2024). *Dielektrika-Jurnal Ilmiah Kajian Teori dan Aplikasi Teknik Elektro Prototype Model 3D Robot Lengan dan Simulasi Kendali Pergerakan pada 4-DOF Berbasis Virtual Reality ARTICLE INFO ABSTRACT*. *11*(2), 159–166. www.petercork.com

Farozi, I., Maulana, R., & Kurniawan, W. (2019). *Implementasi Sensor Warna Pada Robot Lengan Pemindah Barang Menggunakan Inverse Kinematics* (Vol. 3, Issue 7). http://j-ptiik.ub.ac.id

Harahap, E. K., Stai, S., Arif Jambi, M. ", & Curup, I. (2020). *Kepemimpinan Pendidikan Islam Dalam Upaya Benchmarking*.

Heri Widiastuti, E., Sejarah FKIP Universitas IVET Pawiyatan Luhur IV, P. J., & Tengah, J. (2021). Peran Program Studi Pendidikan Sejarah di Era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal Pendidikan Sejarah Dan Ilmu Sejarah*, *4*(1).

Hotimah, I. H., Yunus, R., & Une, D. (2022). Pendidikan Kaum Proletar Inggris Pada Masa Revolusi Industri. *ISTORIA: Jurnal Pendidikan Dan Sejarah*, *18*(2). https://journal.uny.ac.id/index.php/istoria

Irwan, M. (2022). *SISTEM KENDALI LENGAN ROBOT 4-DOF UNTUK PEMINDAH BARANG* (Vol. 2, Issue 2). http://jurnal.umpar.ac.id/indeks/jmosfet▪16

Kurniawan, A. S., Khumaedi, M., & Sulistyo, M. (2012). Penerapan Video Cad (Computer Aided Design) Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Menggambar Proyeksi Dengan Sistem Amerika Dan Sistem Eropa. In *JMEL* (Vol. 1, Issue 1). http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/jmel

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

Laksmi, A., Nia Rachmadita, R., Rina Sandora, dan, Studi Teknik Desain dan Manufaktur, P., Teknik Permesinan Kapal, J., Perkapalan Negeri Surabaya, P., Studi Teknik Manajemen Bisnis, P., & Teknik Bangunan Kapal, J. (n.d.). *Desain Proses Produksi Survival Knife dengan Metode Operation Process Chart di Perusahaan Manufaktur*.

Napitupulu, J., & Sumantika, A. (2022). Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas Di Pt. Xyz. *Jurnal Comasie*.

Nauli, D., Hasanah, K., Ayuningtyas, D., Sari, R. P., & Wahyudin, W. (2024). Optimasi Proses Produksi Kemasan Makanan pada UMKM ECOSEKAM Packaging Menggunakan Quality Function Deployment dan Operation Process Chart. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *4*(4), 2065–2096. https://doi.org/10.54082/jupin.822

Nurkholik, Z., Alif, F., & Arie, D. (2022). *Rancangan Bangun Lengan Robot Arm Untuk Menggambar Menggunakan Invers Kinematik*. http://ejurnal.provisi.ac.id/index.php/JUISI€page59

Pendidikan Ekonomi, J., Redaksi, A., Pertamina Sengkuang Km, J., Pos, K., Sintang, K., Sintang, K., & Barat, K. (2022). *Penerbit: LPPM STKIP Persada Khatulistiwa Sintang*. http://jurnal.stkippersada.ac.id/jurnal/index.php/JPE

Pranoto, A. (2019). Pengembangan modul gambar teknik untuk mahasiswa jurusan teknik mesin Pengembangan Modul Gambar Teknik Sebagai Upaya Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin D3 Ist Akprind Yogyakarta. In *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif* (Vol. 1, Issue 2).

Purba, N., Ekonomi, F., Bisnis, D., Uin, I., Utara, S., & Yahya, M. (2021). Revolusi Industri 4.0 : Peran Teknologi Dalam Eksistensi Penguasaan Bisnis Dan Implementasinya. In *JPSB* (Vol. 9, Issue 2).

Purnomo, A., Puspa Wangi, I., Adji Nugroho, R., Aditya, N., & Syawalia Putri, F. (2023). PENINGKATAN Pengetahuan Gambar Teknik Menggunakan Perangkat Lunak Autocad Bagi Siswa Sma Di Wilayah Muaragembong, Bekasi Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, *2023*, 2023. http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/snppm

Rahmadewi, R., & Abdi Bangsa, I. (2020). *Arm Robot Pemindah Barang (AtwoR) Menggunakan Motor Servo MG995 Sebagai Penggerak Arm Berbasis Arduino Robot Arm Goods Moving (Atwor) Uses Mg995 Servo Motor As Arduino Based Arm Drive* (Vol. 6, Issue 2).

Rahman, F., Faridah, F., Ikram Nur, A., & Makkaraka, A. N. (2020). Rancang Bangun Prototipe Manipulator Lengan Robot Menggunakan Motor Servo Berbasis Mikrokontroler. *ILTEK : Jurnal Teknologi*, *15*(01), 42–46. https://doi.org/10.47398/iltek.v15i01.508

Revolusi Industri Dito Dwi Fernando, S. (2023). History Of The Industrial Revolution. *Dito Dwi Fernando, Fahruddin*, *7*(1), 1–5. https://doi.org/10.36526/js.v3i2

Rifqi Suhaidi, M., Komang Linda Agiastini, N., Dorojati, N. S., & Irawan, F. (2023). Peran Dan Pengaruh Revolusi Industri 4.0 Terhadap Penerapan Omnibus Law Sebagai Perkembangan Sistem Hukum Di Indonesia. In *Journal of Law, Administration, and Social Science* (Vol. 3, Issue 1).

Riset Mahasiswa Bidang Teknologi Informasi, J., Benchmarking Analisis Kepuasan Mahasiswa, T., Wulan Intan Palupi, N., Sartika Wiguna, A., Harianto, W., & PGRI Kanjuruhan Malang, U. (2023). *“BIMASAKTI” Volume 5 Nomor 2 Teknik Benchmarking Analisis Kepuasan Mahasiswa Terhadap Kinerja Sistem Akademik Unikama*. https://ejournal.unikama.ac.id/index.php/JFTI

Riska Intan Pramitaning Tyas, & Muhammad Yasin. (2024). Transformasi Pada Era Disrupsi Hingga Terjadinya Revolusi Industri 4.0. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, *2*(3), 21–28. https://doi.org/10.61132/jepi.v2i3.650

Riyadi, A. F., & Nugroho, G. (2020). Pengaplikasian Kontrol Robot 6-Dof Untuk Pick And Place Pada Industri Souvenir. In *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat* (Vol. 2020). http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/snppm

Rizani, N. C., & Adistra, D. (2022). ANALISA Tata Letak Fasilitas Pabrik Menggunakan Metode Activity Relationship Chart (ARC) di PT.XYZ. In *PRESISI* (Vol. 24, Issue 2).

Sari, B. N., Komarudin, O., Padilah, T. N., & Nurhusaeni, M. (2018a). Bill Of Material (BOM) Pada Sistem Inventori Kawasan Berikat Untuk Pelacakan Material Movement. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, *10*(3), 323–330. https://doi.org/10.33096/ilkom.v10i3.381.323-330

Satriani, D., & Vijaya Kusuma, V. (2020). *Perhitungan Harga Pokok Produksi Dan Harga Pokok Penjualan Terhadap Laba Penjualan*. *4*(2).

Sitepu, A., & Brilioneristen, D. (2023). *Penerapan Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) pada Jam Dinding*. https://doi.org/10.32734/ee.v6i1.1803

Stephanie, G. L., Melisa, M., & Kumala, I. (2020). *Rancang Bangun Purwarupa Lengan Robot Berbantuan Raspberry Pi*.

Sudargini, Y., & Purwanto, A. (2020). Pendidikan Pendekatan Multikultural Untuk Membentuk Karakter dan Identitas Nasional di Era Revolusi Industri 4.0 : A Literature Review. *Journal Industrial Engineering & Management Research ( JIEMAR)*, *1*(3), 2722–8878. https://doi.org/10.7777/jiemar

Sukabumi, P., Agni, M., Rafi, A., & Tahtawi, A. (2020). *Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) Perancangan Robot Lengan Lima Derajat Kebebasan untuk Misi Pick and Place Berbasis Inverse Kinematics*.

Tangkas Ageng Nugroho, Achmad Kaisi Amarco, & Muhammad Yasin. (2023). Perkembangan Industri 5.0 Terhadap Perekonomian Indonesia. *Manajemen Kreatif Jurnal*, *1*(3), 95–106. https://doi.org/10.55606/makreju.v1i3.1645

Techno Bahari, J., Sohibul Hajah, M., & Nur, M. (2023). *Rancang Bangun Prototype Robot Arm Palletizing Menggunakan Sekuensial Kontrol*.

Yunus, M., & Mitrohardjono, M. (2020). *Pengembangan Tehnologi Di Era Industri 4.0 Dalam Pengelolaan Pendidikan Sekolah Dasar Islam Plus Baitul Maal*. https://doi.org/10.24853/tahdzibi.3.2.129-138