

IMPLEMENTASI COLLABORATIVE ROBOTS ARTIFICIAL INTELLIGENCE PADA OTOMATISASI INSPEKSI KENDARAAN UNTUK MENINGKATKAN KINERJA

IMPLEMENTATION OF COLLABORATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE ROBOTS IN VEHICLE INSPECTION AUTOMATION TO IMPROVE PERFORMANCE

¹I Kadek Agus Hendriawan Putra*, ²I Wayan Bandem Adnyana, ³Desak Ayu Sista Dewi, ⁴Anak Agung Istri Agung Sri Komaladewi, ⁵I Made Dwi Budiana Penindra, ⁶Ni Luh Putu Lilis Sinta Setiawati

^{1, 2, 3, 4, 5}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

¹agushendriawan11@gmail.com, ²bandem.aiwa@yahoo.com, ³sistadasd@unud.ac.id, ⁴komaladewijegeg@gmail.com ,

⁵budiana_penindra@yahoo.com, ⁶lilissintasetiawati@unud.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 23 Juni 2023

Direvisi: 26 Juni 2023

Disetujui: 01 Juli 2023

Kata Kunci:

Collaborative Robots, Kecerdasan Buatan, Pengendalian Kualitas, Rapid Entire Body Assessment, Sistem Produksi Toyota

Keywords:

Artificial Intelligence, Collaborative Robots, Quality Control, Rapid Entire Body Assessment, Toyota Production System

ABSTRAK

Tingginya persaingan pada industri otomotif mengharuskan perusahaan untuk melakukan inovasi agar dapat bersaing dan meningkatkan produktivitas. Metode Toyota Production System adalah metode yang dapat digunakan dalam meningkatkan produktivitas kerja khususnya dalam menghilangkan pemborosan. Terdapat beberapa proses dalam industri otomotif salah satunya quality control yang berfungsi untuk mengecek dan memastikan pada barang yang akan diterima konsumen tidak terdapat cacat/zero defect. Pada saat proses quality control, terdapat pekerjaan tidak ergonomi yang dinilai menggunakan metode rapid entire body assessment mendapatkan skor tinggi dimana secara ergonomi dapat menyebabkan penyakit musculoskeletal disorders (MSDs) sehingga perlu dilakukan perbaikan yaitu di POS FWA Lower. Pada penelitian ini digunakan collaborative robots beserta payload camera dan artificial intelligence untuk menggantikan pekerjaan manusia, sehingga pekerjaan tersebut dapat dieliminasi. Selain itu, pada pos tersebut terdapat idle time selama 45 detik dikarenakan ada mesin yang bekerja, tetapi jika menggunakan collaborative robots, idle time tersebut dapat dieliminasi sehingga dapat meningkatkan produktivitas. Hasil menunjukkan implementasi dari cobot AI ini dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam proses quality control secara signifikan dengan meningkatkan kinerja total waktu pekerjaan sebanyak 1,76 kali, meningkatkan kinerja reba score sebesar 11 kali, dan meningkatkan kinerja idle time sebanyak 45 kali, serta pada akurasi model AI mendapatkan nilai akurasi 99,1%.

ABSTRACT

High competition in the automotive industry requires companies to innovate in order to compete and increase productivity. The Toyota Production System method is a method that can be used to increase work productivity, especially in eliminating waste. There are several processes in the automotive industry, one of which is quality control, which checks and ensures that the goods received by consumers do not have zero defects. During the quality control process, there was work that was not ergonomic which was assessed using the rapid entire body assessment method and received a high score which ergonomically can cause musculoskeletal disorders (MSDs), so improvements need to be made, namely in POS FWA Lower. In this study, collaborative robots are used along with payload cameras and artificial intelligence to replace human work so that work can be eliminated. Apart from that, in this POS, there is an idle time of 45 seconds because there is a working machine, but if use collaborative robots, this idle time can be eliminated to increase productivity. The results show that implementing cobot AI can significantly increase productivity and efficiency in the quality control process by increasing total work time performance by 1.76 times, Reba score performance by 11 times, and idle time performance by 45 times, as well as the accuracy of the AI model gets an accuracy value of 99.1%.

I. PENDAHULUAN

Perusahaan dalam industri otomotif memerlukan inovasi berkelanjutan dan menunjukkan kemampuan dalam meningkatkan profitabilitas secara keseluruhan dengan meningkatkan kualitas dan tenaga kerja, biaya produksi, dan dengan mengatur proses saat ini ke proses yang mengarah pada peningkatan produksi. Metode TPS merupakan salah

satu metode yang dapat menghilangkan pemborosan (muda) [1]. Toyota Production System (TPS) adalah metode inovatif lanjutan untuk organisasi dan manajemen produksi yang dibuat oleh Toyota Motor Corporation, yang bertujuan untuk menghilangkan pemborosan dan mengurangi biaya melalui peningkatan aktivitas berdasarkan otomatisasi dan just in time (JIT) [2]. Dalam hal ini perusahaan PT X

merupakan salah satu perusahaan yang hendak melakukan eliminasi pemborosan dalam peningkatan kinerja.

PT X adalah perusahaan fokus produksi kendaraan roda empat. Proses produksi melibatkan operasi *press*, *welding*, *painting*, *assembling*, dan *quality control*. Dalam *quality control*, operator dan mesin digunakan untuk pemeriksaan kendaraan. Interaksi manusia, mesin, dan kondisi lingkungan memunculkan bahaya dalam lingkungan kerja [3]. Salah satu masalah kesehatan kerja yang jarang diperhatikan adalah ergonomi yang dapat menyebabkan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) [4], [5]. Proses QC *inspection* yang berulang dapat menyebabkan kelelahan dan risiko ergonomi bagi pekerja, dengan dampak pada biaya medis dan produktivitas kerja. Dilakukan asesmen ergonomi dengan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) untuk menilai postur tubuh pekerja pada bagian leher, punggung, pergelangan tangan, dan kaki.

Hasil asesmen ergonomi REBA dapat diketahui pada pos 4, yaitu pekerjaan *interior FWA Lower* dan pos 5, yaitu pekerjaan *interior sat upper* memiliki *risk score* sebesar 11 sehingga termasuk kategori *level very high* dimana perlu menjadi prioritas. Sejalan dengan arahan manajemen *pitless activity*, yaitu dimana pekerjaan yang dilakukan di *underbody* perlu dikurangi sehingga pos 4 pekerjaan *fwa lower* menjadi pos prioritas yang dipilih dalam melakukan perbaikan. Selain itu dilakukan analisa sebab akibat menggunakan *fishbone diagram* terdapat waktu operator menunggu (*idle*) selama 45 detik dikarenakan saat mesin bekerja operator dilarang masuk ke dalam area *underbody*, namun jika nanti digantikan oleh robot maka robot dapat mulai bekerja dari awal sehingga *idle time* selama 45 detik dapat dieliminasi. Dilihat dari faktor lingkungan, pos 4 *underbody* kurang aman dikarenakan kondisi asap kendaraan yang masuk ke dalam tubuh juga berdampak terhadap kesehatan sehingga perlu dilakukan *improvement* segera. Karena masih ada kegiatan lain yang dilakukan oleh manusia pada area *underbody* yaitu pekerjaan FWA, maka diperlukan adanya robot yang mampu bekerja sama dengan manusia, untuk itu robot yang dipilih yaitu *collaborative robots*.

Kolaborasi antara manusia dan robot di industri manufaktur semakin populer dikarenakan membuka peluang baru dalam berbagai macam inovasi maupun aplikasi yang dapat meningkatkan produktivitas kerja [6]. *Collaborative robots* adalah kelas robot yang memiliki kemampuan untuk bekerja dengan aman secara langsung bersama pekerja manusia dalam menyelesaikan tugas. Untuk dapat bekerja dalam melaksanakan inspeksi kendaraan, pada *collaborative robots* perlu dipasangkan *payload* yang berupa kamera, dimana diintegrasikan dengan sistem *artificial intelligence* agar dapat melakukan inspeksi *spec underbody* dan *full judgement* terhadap pekerjaan, sehingga pekerjaan yang dikerjakan oleh *collaborative robots* dapat berjalan tanpa bantuan manusia.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan alur penelitian ini terdiri dari beberapa langkah yang sesuai yaitu studi literatur, *list item check specification FWA Lower underbody*, *teaching collaborative robot waypoint*, integrasi *scanner* dengan

program, pengumpulan data dan *durability check*, *labelling* dalam *training AI object detection*, pengujian program, dan implementasi sistem sebagai berikut.

A. Studi Literatur

Langkah pertama dalam melakukan penelitian adalah dengan melakukan studi literatur. Pada tahap ini, peneliti mencari sumber informasi yang terkait dengan penelitian,

B. List Item Check Specification FWA Lower

Pada tahap ini dilakukan list semua *item check specification* yang ada pada standar kerja dimana digunakan dalam melakukan *teaching waypoint* cobot sesuai dengan list *item* yang perlu dibuatkan *waypoint* pergerakan cobot agar bisa menjangkau *item*. Adapun pada penelitian ini terdapat 30 item yang dilakukan inspeksi otomatis.

C. Teaching Collaborative Robots

Teaching terkait pergerakan *waypoint* cobot agar sesuai dengan *item check* yang sudah ditentukan. Pergerakan *cobot* menyesuaikan dengan *item list* saja agar waktu pergerakan cobot tidak terlalu lama. Untuk melakukan *teaching waypoint collaborative robots* digunakan pendant yang berfungsi untuk mengontrol cobot.

D. Integrasi Scanner dengan Program

Integrasi scanner POS FWA diperlukan agar cobot dapat bergerak secara otomatis jika data scan sudah masuk, sehingga tidak perlu dijalankan secara manual oleh operator.

E. Pengumpulan Data dan Durability Check

Data dikumpulkan untuk membuat dataset yang digunakan untuk melatih AI *object detection*. Cobot yang dipasang kamera dan terintegrasi dengan *scanner* digunakan untuk mengumpulkan data saat bergerak sesuai *waypoint* dan menangkap objek pada daftar *item*. *Sistem collaborative robots* yang telah berjalan digunakan untuk menguji keandalan sebelum diimplementasikan, karena akan digunakan di industri yang beroperasi 24/7 dengan 2 shift (pagi dan malam). Tujuannya adalah untuk memastikan kelancaran implementasi tanpa hambatan.

F. Labelling Data

Proses ini dimaksudkan untuk memberikan tanda pengenalan pada tiap objek yang dideteksi dengan nama label yang sudah ditentukan. Kemudian, setiap gambar yang telah dikumpulkan diberi label kategori yang sesuai dengan label sebenarnya agar model kecerdasan buatan dapat belajar.

G. Training AI Model

Setelah proses *labelling* data selesai, dilakukan pelatihan data untuk mempelajari pola yang digunakan dalam mengenali objek part *item* kendaraan. Pelatihan ini menggunakan model arsitektur YOLOv5 (*You Only Look Once*). Target akurasi yang diinginkan adalah 99% dan target *recall* adalah 99%, yang merupakan standar industri

untuk memastikan kualitas yang optimal. Jika pelatihan data menghasilkan akurasi dan recall di bawah 99%, maka akan dilakukan pengambilan data tambahan dan pelatihan ulang sampai mencapai target yang ditetapkan.

H. Pengujian Sistem (*Ijiwaru Test*)

Untuk memastikan bahwa hasil dari deteksi dan *judgement* dari model *artificial intelligence* akurat, dilakukan uji *ijiwaru* untuk memastikan sistem dan aplikasi berjalan lancar dan akurat. Pengujian *ijiwaru* di sisi lain adalah praktik pengujian subsistem dengan menguji subsistem ini di bawah kondisi normal dan tidak normal serta mendorong sistem sampai titik kegagalan. Saat hendak melakukan pengujian disiapkan kendaraan yang sengaja dibuat cacat dimana pada part kendaraan diganti dengan standar yang berbeda sehingga menjadi produk *defect*, selanjutnya sistem dijalankan untuk menguji apakah sistem mampu dalam menangkap cacat dari part yang telah disiapkan.

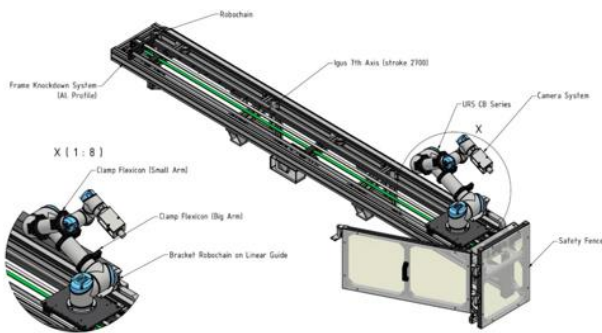
I. Pengolahan Data Statistika

Pengolahan data statistika dilakukan dengan melakukan uji normalitas untuk mengetahui distribusi data, selanjutnya dilakukan uji signifikansi parametrik maupun non parametrik untuk mengetahui tingkat signifikansi dari sebelum implementasi *collaborative robots artificial intelligence* maupun sesudah implementasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

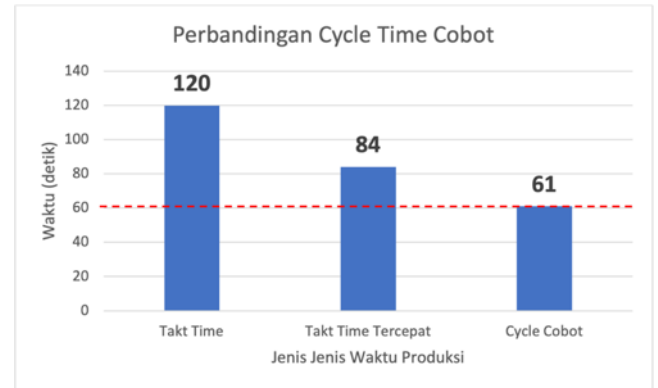
Implementasi sistem yang dilakukan berdasarkan hasil analisa dan desain sistem yang sudah dirancang. Proses implementasi meliputi pembuatan *waypoint* cobot, integrasi *scanner* dengan cobot, dan pembuatan program beserta *interface*. Konstruksi dari sistem cobot AI dirancang dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan fungsionalitas yang dapat dilihat dari Gambar 1 dimana terdapat beberapa item penting yang terdapat pada sistem ini, yaitu *frame* penyangga yang terbuat dari aluminium profile untuk menjaga stabilitas cobot. Kemudian terdapat *igus 7 axis* yang memungkinkan cobot untuk bergerak maju mundur, dan *safety fence* yang membatasi akses orang ke area sistem untuk meningkatkan tingkat keamanan sesuai dengan standar *safety*.



Gambar 1 Konstruksi Assembly Cobot

Pada tahap selanjutnya yaitu *teaching collaborative robots waypoint* digunakan untuk mengarahkan pergerakan cobot saat inspeksi kendaraan setelah pengumpulan 30 item.

Pendant cobot digunakan untuk membuat dan menyimpan *waypoint* dengan cermat. Proses ini dilakukan berkala untuk menjaga efisiensi produksi dan mencegah gangguan.



Gambar 2 Cycle Time Cobot

Waktu *cycle* cobot pada Gambar 2 lebih rendah dari *takt time* produksi saat ini (2.0 menit) dan *takt time* tercepat yang pernah diterapkan (1.4 menit). Oleh karena itu, cobot dapat diterapkan dalam proses produksi saat ini dan di masa depan, bahkan jika *takt time* berubah menjadi yang tercepat.

Pada tahap terakhir implementasi sistem Integrasi *scanner* dengan cobot digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi intervensi manusia dalam proses produksi. Data *scanner* akan menjadi pemicu pergerakan cobot dan juga digunakan untuk *traceability* sistem produksi. Komunikasi antara *scanner* dan sistem dilakukan melalui RS232 menggunakan bahasa pemrograman Python dan modul *pyserial*.

B. Pengumpulan Data dan Durability Check

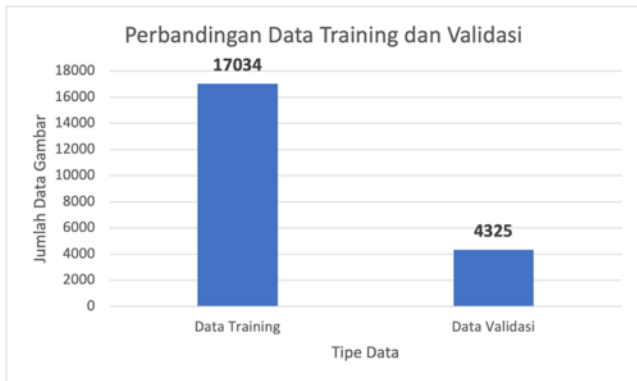
Pengolahan data yang diambil dari proses *durability check* adalah hal yang sangat penting dalam pengembangan *artificial intelligence* (AI) untuk inspeksi kendaraan. Setelah data terkumpul, maka data tersebut melalui berbagai tahapan pengolahan untuk memastikan kualitas dan keandalan data sebelum digunakan dalam proses inspeksi. Jumlah data yang dikumpulkan sebanyak 21.359 gambar dengan format *.JPEG* yang menjadi dasar dalam proses inspeksi kendaraan secara otomatis melalui AI. Dengan peningkatan kualitas data yang dikumpulkan, maka dapat dipastikan bahwa hasil inspeksi kendaraan yang dilakukan oleh AI lebih akurat dan efisien.

C. Labelling Data

Proses anotasi gambar merupakan tahapan penting dalam pengembangan model *artificial intelligence* (AI) untuk inspeksi kendaraan. Anotasi melibatkan memberikan informasi kotak pembatas (*bounding boxes*) dan label pada setiap gambar yang dikumpulkan, sehingga AI dapat memahami konteks dan informasi penting dari gambar tersebut. Setiap gambar yang dikumpulkan melalui proses anotasi sebelum digunakan dalam melatih model AI yang mana terdapat 113 label dari seluruh *specification item part*. Proses anotasi ini bertujuan sebagai inputan data yang dibutuhkan oleh model AI agar dapat memahami karakteristik dari kendaraan yang akan diinspeksi. Untuk melakukan proses anotasi, alat yang digunakan adalah *website makesense.ai*.

D. Training Artificial Intelligence Model

Dalam proses ini, data gambar yang sudah dianotasi digunakan sebagai dataset yang diproses untuk menghasilkan model AI yang efektif dan akurat. Algoritma model AI yang digunakan dalam proses ini adalah YOLOv5. Proses *training* dilakukan dengan membagi *dataset* menjadi dua bagian, yakni 80% untuk data *training* dan 20% untuk data validasi yang dapat dilihat pada Gambar 3. Jumlah iterasi dari *training* ini adalah sebanyak 700 *epochs* untuk memastikan bahwa model AI yang dihasilkan memiliki akurasi tinggi.



Gambar 3 Perbandingan Data Training dan Validasi

Hasil *training* model AI dianalisis untuk menilai kinerja model dan memastikan bahwa model sudah berhasil dipelajari dan memahami data latih dengan benar.

TABEL I
HASIL TRAINING AI

No	Nama	Hasil
1	Box Loss	0.0069972
2	Obj Loss	0.0035717
3	Cls Loss	0.00034364
4	Accuracy/Precision	0.99123
5	Recall	0.99583

Hasil training akhir dapat dilihat pada Tabel I dimana hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kinerja sistem memenuhi target yang ditentukan. Hal ini terlihat dari nilai precision yang diperoleh, yaitu sebesar 0.99123 (99,1%) yang sudah lebih dari 99% dan memenuhi target yang ditentukan. Nilai box loss, obj loss, dan cls loss yang rendah juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur lokasi objek, kualitas deteksi objek, dan akurasi klasifikasi objek dengan tingkat akurasi yang tinggi. Demikian pula, nilai *recall* yang tinggi yaitu 0,99583 (99,5%) menunjukkan bahwa sistem mampu menemukan sebagian besar objek yang seharusnya dideteksi dan juga sudah memenuhi target dari 99%. Oleh karena itu, model ini dapat digunakan.

E. Pengujian Sistem (*Ijiwaru Test*)

Dalam pengujian sistem pada kendaraan, beberapa bagian diterapkan dengan standar yang berbeda dari yang biasa digunakan. Tujuan dari tindakan ini adalah untuk menciptakan sebuah defect/cacat, yaitu dimana terjadi kesalahan specification dengan standar yang telah ditentukan pada kendaraan dan memastikan bahwa sistem

mampu mendeteksi defect tersebut. Proses pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dan dapat memenuhi standar kualitas yang diharapkan. Melalui pengujian ini, dinilai kemampuan sistem dalam mengatasi masalah dan memastikan bahwa sistem memenuhi kriteria yang diharapkan. Hasil dari pengujian ini digunakan sebagai dasar untuk perbaikan dan peningkatan sistem sehingga sistem dapat beroperasi dengan lebih baik dan efisien.

1. Pengujian Pertama Pada *Item Part Wind Deflector*

Dalam proses pengujian sistem pada kendaraan, dilakukan sebuah modifikasi pada *item part wind deflector*. Standarnya, *wind deflector* harus terpasang pada kendaraan. Namun, dalam pengujian ini, *wind deflector* pada unit kendaraan tersebut dicopot sehingga kondisinya berbeda dari yang seharusnya. Tujuannya adalah untuk menguji kemampuan sistem dalam mendeteksi *defect* dari kondisi yang berbeda dari standar. Dari Gambar 4 dilihat bahwa sistem mampu mendeteksi *defect* dari *part wind deflector* dimana aktualnya tidak terpasang dan standarnya terpasang. Pada tabel terlihat status NG dengan warna merah.



Gambar 4 Pengujian Pertama *Wind Deflector*

2. Pengujian Kedua Pada *Item Part Coil Spring*

Pada pengujian ijiwaru yang kedua dilakukan modifikasi pada *item part coil spring*, dimana standarnya memiliki warna kuning lalu dilakukan modifikasi menjadi warna biru guna menguji sistem. Dari Gambar 5 dilihat bahwa sistem mampu mendeteksi *defect* dari *part coil spring* dimana aktualnya berwarna biru dan standarnya berwarna kuning. Pada tabel terlihat status NG dengan warna merah, dengan ini membuat sistem mampu mendeteksi *defect*.



Gambar 5 Pengujian Kedua *Coil Spring*

Dari dua pengujian sistem tersebut didapatkan bahwa, sistem berhasil dalam mendeteksi cacat yang ada, sehingga sistem dapat diimplementasikan pada proses inspeksi kendaraan.

signifikansi untuk menganalisis hasil yang diperoleh yang dapat dilihat pada Tabel II.

F. Pengolahan Data Statistik Uji Signifikansi

Data yang sudah dikumpulkan melalui proses observasi digunakan dalam melakukan pengujian statistik uji

TABEL II
DATA HASIL OBSERVASI

No	Sebelum			Sesudah		
	Idle Time (Detik)	Total Waktu Pekerjaan (Detik)	REBA Score	Idle Time (Detik)	Total Waktu Pekerjaan (Detik)	REBA Score
1	49,51	102,00	11	0,00	61,58	0
2	50,89	107,16	11	0,00	61,43	0
3	50,67	106,37	11	0,00	61,89	0
4	49,55	106,70	11	0,00	61,32	0
5	49,49	99,03	11	0,00	61,44	0
6	52,21	104,54	11	0,00	61,58	0
7	47,63	101,07	11	0,00	61,59	0
8	48,47	104,60	11	0,00	61,27	0
9	46,94	101,13	11	0,00	61,44	0
10	52,16	107,73	11	0,00	61,89	0
11	44,96	102,32	11	0,00	61,66	0
12	47,11	101,05	11	0,00	61,5	0
13	47,86	105,42	11	0,00	61,36	0
14	49,71	106,91	11	0,00	61,5	0
15	51,93	108,99	11	0,00	61,47	0
16	51,51	105,81	11	0,00	61,58	0
17	49,04	102,09	11	0,00	61,25	0
18	52,96	104,61	11	0,00	61,71	0
19	51,67	107,98	11	0,00	61,45	0
20	48,63	107,26	11	0,00	61,32	0
21	48,55	105,46	11	0,00	61,8	0
22	51,25	101,87	11	0,00	61,6	0
23	49,60	104,87	11	0,00	61,83	0
24	49,61	108,96	11	0,00	61,54	0
25	51,31	107,40	11	0,00	61,65	0
26	49,15	101,96	11	0,00	61,03	0
27	44,96	103,24	11	0,00	61,36	0
28	52,47	107,60	11	0,00	61,8	0
29	48,26	103,80	11	0,00	61,6	0
30	46,31	100,34	11	0,00	61,73	0

Uji Signifikansi dilakukan untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara sebelum dan sesudah implementasi *collaborative robots artificial intelligence* dan juga untuk menentukan apakah implementasi *collaborative robots artificial intelligence* berpengaruh secara signifikan pada meningkatkan kinerja pada tiga variabel kunci, yaitu *idle time*, total waktu pekerjaan, dan *reba score*.

1. Uji Normalitas Data

Setelah data penelitian terkumpul, dilakukan uji normalitas Shapiro-wilk untuk memastikan apakah data terdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas penting untuk menentukan metode statistik yang tepat dalam analisis data. Jika data berdistribusi normal maka menggunakan analisis statistik parametrik dan jika data tidak normal maka digunakan analisis statistik non parametrik. Hasil dari pengujian SPSS didapatkan terdapat 3 variabel yang memiliki nilai signifikansi > 0,05 sehingga memiliki distribusi normal, dan tiga variabel lainnya memiliki nilai signifikansi < 0,05 sehingga memiliki distribusi tidak normal. Variabel sebelum dan sesudah yang memiliki distribusi normal dilakukan uji signifikansi parametrik yaitu, variabel Total Waktu Pekerjaan sebelum dan sesudah, sedangkan variabel Idle Time dan REBA score menggunakan uji signifikansi non parametrik dikarenakan variabel sesudah memiliki distribusi tidak normal.

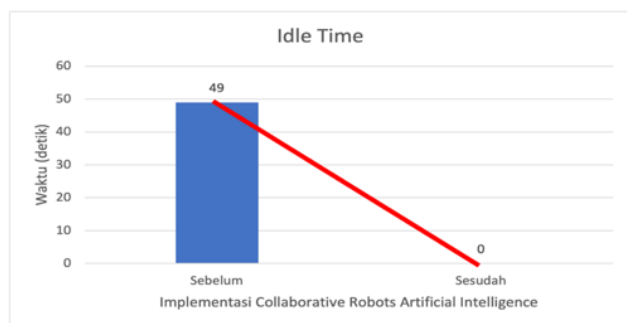
2. Uji Signifikansi Variabel Idle Time

Uji Signifikansi Variabel *Idle Time* dilakukan dengan menggunakan *Non-Parametric Test*, dikarenakan data sesudah *idle time* bernilai 0 seluruhnya dan tidak memenuhi asumsi distribusi normal yang dibutuhkan oleh Uji *Parametric*. Adapun Hipotesis terkait Uji Signifikansi Variabel *Idle Time* sebelum dan sesudah implementasi *collaborative robots artificial intelligence* yang menggunakan Wilcoxon Signed Rank Test adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara variabel idle time sebelum dan sesudah dari Implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.

H_1 : Terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel idle time sebelum dan sesudah Implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.

Hasil uji Wilcoxon signed rank test dengan SPSS memiliki nilai sig = 0,000 yang mana hasil tersebut kurang dari nilai alpha (0,05), maka hipotesis alternatif (H_1) dapat diterima dan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel *idle time* sebelum dan sesudah implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.



Gambar 6 Peningkatan Kinerja Idle Time

Dilihat dari Gambar 6 terjadi peningkatan kinerja yang signifikan terkait idle time dari sebelum dan sesudah dari implementasi *collaborative robots artificial intelligence* dimana terjadi peningkatan kinerja sebesar 49 kali dibandingkan sebelum implementasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *collaborative robots artificial intelligence* dapat efektif dalam mengeliminasi *idle time* dikarenakan mampu bekerja disaat mesin bekerja.

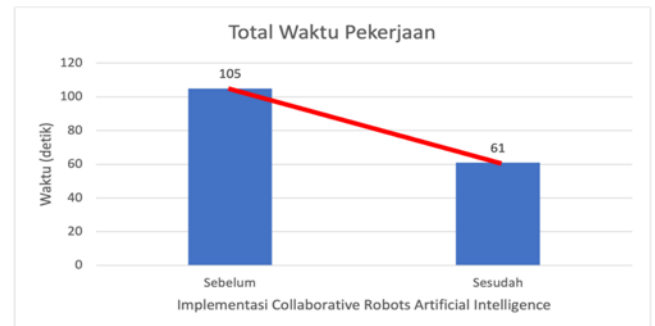
3. Uji Signifikansi Variabel Total Waktu Pekerjaan

Uji Signifikansi Variabel Total Waktu Pekerjaan dilakukan dengan menggunakan Parametric Test, yaitu Paired T Test dikarenakan data sebelum dan sesudah memenuhi asumsi distribusi normal yang dibutuhkan oleh Uji Signifikansi Parametric. Adapun Hipotesis terkait Uji Signifikansi Variabel Total Waktu Pekerjaan sebelum dan sesudah dari implementasi cobot AI yang menggunakan Paired T Test adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara variabel total waktu pekerjaan sebelum dan sesudah Implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.

H_1 : Terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel total waktu pekerjaan sebelum dan sesudah Implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.

Hasil Uji Signifikansi Paired T Test menggunakan SPSS memiliki hasil sig = 0,000 dimana kurang dari nilai alpha (0,05), sehingga hipotesis alternatif (H_1) dapat diterima dan hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara total waktu pekerjaan sebelum dan sesudah implementasi *collaborative robots artificial intelligence*.



Gambar 7 Peningkatan Total Waktu Pekerjaan

Dilihat dari Gambar 7 terjadi peningkatan kinerja yang signifikan terkait total waktu pekerjaan dari sebelum dan sesudah dari implementasi *collaborative robots artificial intelligence* dimana terjadi peningkatan kinerja sebesar 1,76 kali dibandingkan sebelum implementasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *collaborative robots artificial intelligence* dapat efektif dalam meningkatkan meningkatkan efisiensi proses kerja secara keseluruhan.

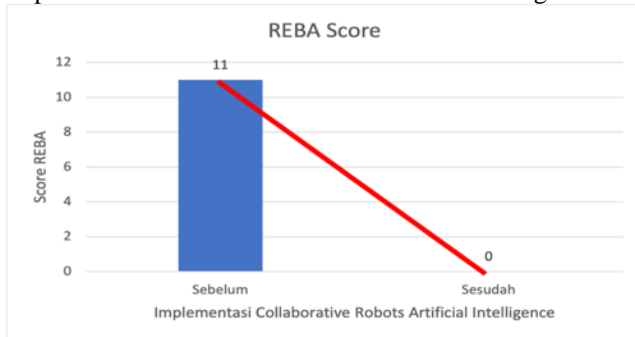
4. Uji Signifikansi Variabel REBA Score

Uji Signifikansi Variabel REBA Score dilakukan dengan menggunakan Non-Parametric Test, dikarenakan data sesudah REBA score bernilai 0 seluruhnya dan tidak memenuhi asumsi distribusi normal yang dibutuhkan oleh Uji Signifikansi Parametric. Adapun Hipotesis terkait Uji Signifikansi Variabel REBA Score sebelum dan sesudah implementasi cobot AI yang menggunakan Wilcoxon Signed Rank Test adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara variabel reba score sebelum dan sesudah dari Implementasi collaborative robots artificial intelligence.

H_1 : Terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel reba score sebelum dan sesudah Implementasi collaborative robots artificial intelligence.

Hasil uji Wilcoxon signed rank test memiliki nilai sig yaitu 0,000 yang mana hasil tersebut kurang dari nilai alpha (0,05), maka hipotesis alternatif (H_1) dapat diterima dan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara variabel REBA score sebelum dan sesudah implementasi collaborative robots artificial intelligence.



Gambar 8 Peningkatan REBA Score

Dilihat dari Gambar 8 terjadi peningkatan kinerja yang signifikan terkait REBA Score dari sebelum dan sesudah dari implementasi collaborative robots artificial intelligence dimana terjadi peningkatan kinerja sebesar 11 kali dibandingkan sebelum implementasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan collaborative robots artificial intelligence dapat efektif dalam mengeliminasi meningkatkan efisiensi proses kerja secara keseluruhan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan dan analisis data dalam penelitian tentang Implementasi *Collaborative Robots Artificial Intelligence* Pada Otomatisasi Inspeksi Kendaraan Untuk Meningkatkan Kinerja, dapat disimpulkan bahwa implementasi *collaborative robots artificial intelligence* memiliki kemampuan untuk memecahkan masalah pekerjaan sulit dan mengatasi *idle time* yang sebelumnya tidak dapat dilakukan oleh manusia. Selain itu, hasil implementasi tersebut juga mampu meningkatkan kinerja dan efisiensi dalam proses *quality control*. Terdapat peningkatan yang signifikan, seperti kinerja *idle time* yang meningkat sebanyak 49 kali, kinerja total waktu pekerjaan yang meningkat 1,76 kali, dan kinerja REBA score yang meningkat 11 kali. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi *collaborative robots artificial intelligence* memiliki potensi besar untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi dalam inspeksi kendaraan.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. Ram Kumar, V. Nimesh Nathan, S. I. Mohammed Ashique, V. Rajkumar, and P. Arun Karthick, "Productivity enhancement and cycle time reduction in toyota production system through jishuken activity – Case study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 37, pp. 964–966, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.181.
- [2] K.-K. Lu, M.-M. Zhang, Y.-L. Zhu, C. Ye, and M. Li, "Improving the Quality of Emergency Intrahospital Transport for Critically Ill Patients by Using Toyota Production System Methods," *JMDH*, vol. Volume 15, pp. 1111–1120, May 2022, doi: 10.2147/JMDH.S360261.
- [3] G. C. R. Angkoso, "PEMINATAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT FAKULTAS KEDOKTERAN DAN ILMU KESEHATAN UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SYARIF HIDAYATULLAH JAKARTA 1434 H/2013 M," p. 219, 2012.
- [4] O. Adiyanto *et al.*, "Integrated self-report and observational risk assessment for work-related musculoskeletal disorder in small and medium enterprises," *Engineering and Applied Science Research*, vol. 49, p. 7380, 2022, doi: 10.14456/EASR.2022.8.
- [5] X. Jin *et al.*, "Prevalence and associated factors of lower extremity musculoskeletal disorders among manufacturing workers: a cross-sectional study in China," *BMJ Open*, vol. 12, no. 2, p. e054969, Feb. 2022, doi: 10.1136/bmjopen-2021-054969.
- [6] I. El Makrini, G. Mathijssen, S. Verhaegen, T. Verstraten, and B. Vanderborght, "A Virtual Element-Based Postural Optimization Method for Improved Ergonomics During Human-Robot Collaboration," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 1772–1783, Jul. 2022, doi: 10.1109/TASE.2022.3147702.