

Rancang Bangun Sistem Otomatisasi *Karakuri* Berbiaya Rendah untuk Optimalisasi Proses Pengangkutan Material di Perusahaan

Esperanda Ivangka Saragih, Ir. Benny Haddli Irawan, MT., IPM., ASEAN Eng and Adi Syahputra

Purba, S.Pd., M. Si

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: esperanda2304@gmail.com

Abstrak

Di era industri 4.0, optimalisasi proses produksi menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan efisiensi dan daya saing perusahaan. Salah satu inovasi yang mendukung hal tersebut adalah penerapan *Karakuri* sebagai solusi otomasi proses manufaktur. *Karakuri* merupakan teknologi yang memanfaatkan mekanisme sederhana tanpa menggunakan listrik, namun mengandalkan gravitasi dan energi kinetik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem otomasi *Karakuri* berbiaya rendah yang dapat diimplementasikan pada proses transportasi material di perusahaan. Dengan sistem ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap tenaga manusia, meningkatkan efisiensi waktu, dan menekan biaya operasional. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis kebutuhan sistem (*Cycle Time and Costs Production*), perancangan mekanisme *Karakuri*, serta pengujian dan evaluasi kinerja sistem di lingkungan perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *Karakuri* yang dirancang mampu memberikan kinerja yang optimal dengan biaya implementasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem otomasi berteknologi tinggi.

Kata Kunci: *Karakuri; Manufaktur; Efisiensi; Pengangkutan Material; Optimalisasi; Teknologi, VDI 222*

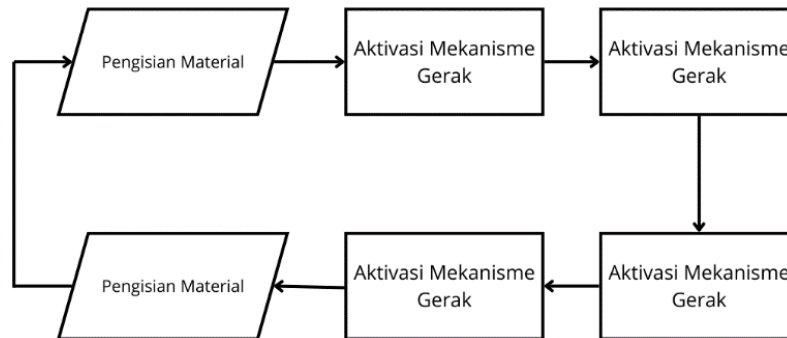
Abstract

In the era of industry 4.0, optimization of the production process is one of the important factors in increasing the efficiency and competitiveness of companies. One of the innovations that supports this is the application of *Karakuri* as a solution for manufacturing process automation. *Karakuri* is a technology that utilizes a simple mechanism without using electricity, but relies on gravity and kinetic energy. This study aims to design and build a low-cost *Karakuri* automation system (*Cycle Time and Costs Production*) that can be implemented in the material transportation process in companies. With this system, it is expected to reduce dependence on human power, increase time efficiency, and reduce operational costs. The methods used in this study include system requirements analysis, *Karakuri* mechanism design, and testing and evaluation of system performance in the company environment. The results of the study show that the designed *Karakuri* system is able to provide optimal performance with lower implementation costs compared to high-tech automation systems.

Keywords: *Karakuri; Manufacturing; Efficiency; Material Handling; Optimization; Technology, VDI 222*

1 Pendahuluan

Dalam persaingan industri yang semakin ketat di era industri 4.0, perusahaan-perusahaan manufaktur dituntut untuk terus berinovasi guna meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya operasional, dan mengoptimalkan efisiensi proses produksi. Salah satu tantangan utama yang sering dihadapi adalah pengangkutan material, yang memegang peranan penting dalam kelancaran alur produksi. Pengangkutan material yang dilakukan secara manual tidak hanya memakan waktu, tetapi juga membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak, yang pada akhirnya dapat meningkatkan biaya operasional dan memperlambat proses produksi (Saputra, 2023).



Gambar 1 Proses Penggunaan Kara Kuri

Perkembangan teknologi di era revolusi industri 4.0 telah memberikan dampak signifikan terhadap berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu aspek tersebut adalah penggunaan alat otomatisasi yang semakin meluas di berbagai sektor, seperti industri, pertanian, dan transportasi. Alat otomatisasi mengacu pada teknologi yang menggantikan atau dapat meningkatkan tugas-tugas manusia dengan menggunakan perangkat mekanik, elektronik, dan komputer untuk melakukan tugas-tugas yang sebelumnya dilakukan oleh manusia. Dalam era revolusi industri 4.0, alat otomatisasi telah berkembang pesat dan menjadi semakin canggih. Kemampuan alat otomatisasi dalam melakukan tugas-tugas yang berulang dan berat membuatnya menjadi pilihan yang populer di industri, seperti otomotif, manufaktur, dan pertambangan. Selain itu, penggunaan alat otomatisasi juga membawa banyak manfaat seperti peningkatan produktivitas, kualitas produk yang lebih baik, dan mengurangi biaya produksi. Otomatisasi merupakan salah satu solusi yang banyak diterapkan untuk mengatasi tantangan ini. Namun, biaya investasi untuk sistem otomatisasi canggih sering kali menjadi penghalang bagi banyak perusahaan, terutama bagi skala kecil dan menengah. Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif yang dapat mengotomatisasi proses dengan biaya yang lebih rendah tetapi tetap efektif dalam meningkatkan efisiensi (Permana dkk., 2023)

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pembangunan sistem otomatisasi karakuri yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses pengangkutan material. Dengan mengembangkan sistem *karakuri* berbiaya rendah, diharapkan perusahaan dapat mencapai efisiensi yang lebih tinggi tanpa harus berinvestasi besar pada teknologi otomatisasi yang kompleks. Selain itu, solusi ini diharapkan dapat memberikan dampak signifikan dalam hal pengurangan ketergantungan pada tenaga manusia dan peningkatan efisiensi waktu produksi. Menurut Michel Baudin (2018) Karakuri adalah penggunaan alat mekanik sebagai pengganti dari alat listrik, pneumatik, maupun hidrolik dan tanpa komputer. Menurut sejarahnya, karakuri (からくり) pada dasarnya memiliki arti sebagai tipuan, permesinan, trik dan sebagainya. Menurut Baudin asal muasal karakuri adalah berasal dari boneka Jepang yang bernama Karakuri Ningyo (からくり人形), yang sudah ada sejak 1500 tahun yang lalu, namun baru populer sekitar 2 abad yang lalu (Yaqin, 2019).

Karakuri dalam dunia industri manufaktur merupakan sebuah perangkat dari mekanis lebih efisien untuk digunakan dalam keperluan pabrik dan menghindari perangkat-perangkat yang bersinggungan dengan listrik, adapun alasan mengapa memilih menggunakan karakuri dari pada perangkat komputer atau perangkat dengan konektivitas yang menggunakan energi listrik yaitu sebagai berikut:

1) Lebih murah

Penggunaan sistem karakuri yang memanfaatkan gravitasi sebagai alternatif konveyor listrik dapat memberikan penghematan biaya yang signifikan. Investasi awal untuk sistem karakuri umumnya jauh lebih rendah dibandingkan dengan konveyor listrik pada umumnya. Selain itu, biaya perawatan dan operasional sistem karakuri juga lebih rendah karena tidak memerlukan energi listrik dan memiliki komponen yang lebih sederhana.

Adapun dengan demikian, sistem karakuri dapat menjadi solusi yang menarik bagi industri yang ingin mengoptimalkan biaya produksi tanpa mengorbankan efisiensi.

2) Mudah perawatan

Perawatan karakuri lebih mudah dari pada perawatan mesin mesin elektronik yang sudah terkomputerisasi. Perawatan yang murah dilatar belakangi karena pemakaian bahan yang tidak terlalu mahal dan tidak perlu sampai memanggil teknisi dan programming apabila terjadi kerusakan. Adapun dengan alat mekanis, dapat langsung diketahui dimana letak permasalahannya.

3) Mudah dikembangkan

Karakuri kaizen memungkinkan perbaikan berkelanjutan yang cepat dan mudah. Karena karakuri berbasis mekanik, pengembangan dan modifikasi alat ini dapat dilakukan secara langsung oleh pekerja tanpa memerlukan keahlian khusus seperti pemrograman. Hal ini memungkinkan perbaikan kecil namun konsisten dilakukan secara berkala, sehingga efisiensi dan produktivitas dapat terus ditingkatkan (Yaqin, 2019).

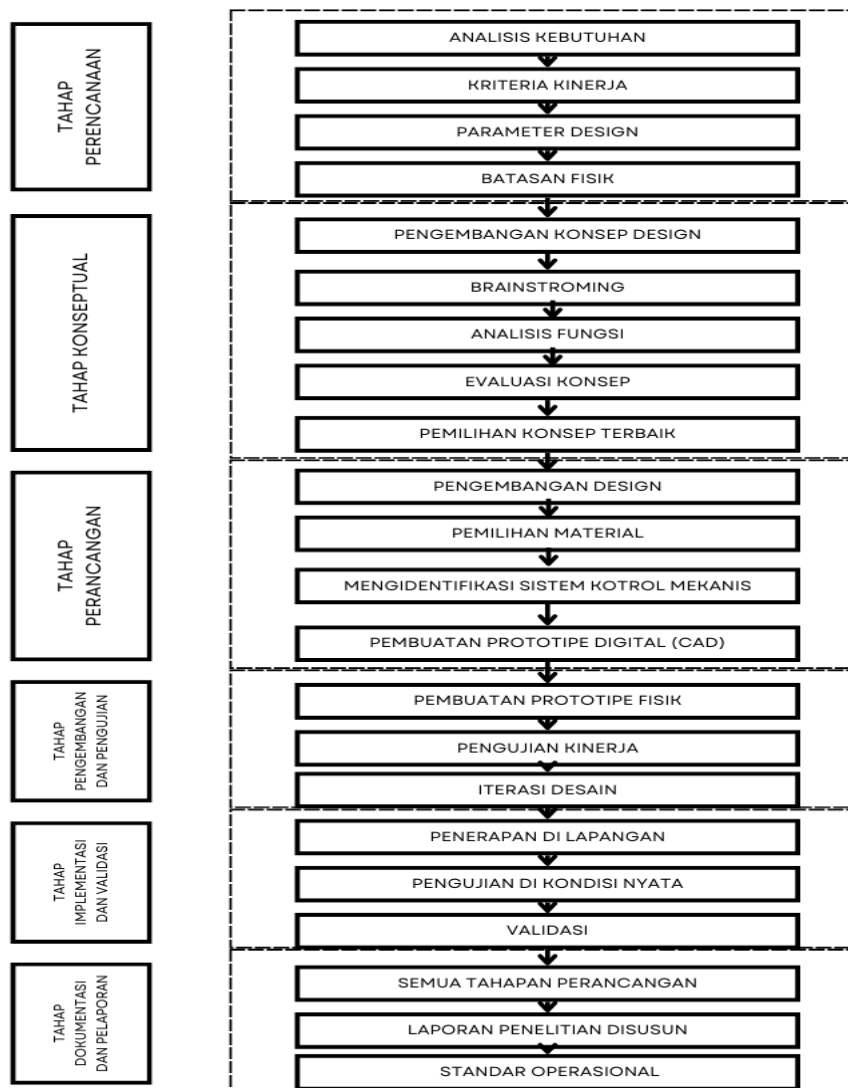
Pabrik manufaktur yang sangat otomatis tidak hanya menimbulkan masalah biaya awal dan operasional yang tinggi, tetapi juga menuntut tenaga kerja yang sangat terampil. Otomatisasi dengan jumlah yang tepat di tempat yang tepat dapat memberikan manfaat besar dengan menciptakan lingkungan semi otomatis dengan tenaga kerja yang relatif tidak terampil. Karakuri, yang juga dikenal sebagai otomatisasi biaya rendah, merupakan bagian dari strategi manufaktur Lean dan sering kali diabaikan demi otomatisasi. Sebagian besar elemen mesin terbuat dari mekanisme sederhana atau dasar seperti tuas, cam, penghubung, pegas, roda gigi, dan engkol. Bahkan dengan kemajuan teknologi elektronik, mekanisme sederhana dan dasar terus memainkan peran penting dalam mengubah dan mentransmisikan gaya dari sumber ke mesin. Sumbernya dapat berupa tenaga manusia, motor, atau mesin. Karakuri berputar di sekitar penggunaan imajinasi untuk berkembang pada mekanisme sederhana ini untuk membuat operasi lebih mudah dan nyaman. Dalam kasus Karakuri, gaya untuk mengaktifkan mekanisme biasanya dicapai dengan kombinasi tenaga manusia, gravitasi, magnet, dan elastisitas (Pungle and Vinod., 2021).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang mekanisme *karakuri* yang sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan serta menguji efektivitas penggunaan karakuri dan efisiensi pada sistemnya dalam lingkungan operasional perusahaan. Adapun dengan adanya sistem otomatisasi karakuri ini, diharapkan dapat tercipta solusi yang efisien, ekonomis, dan praktis untuk mendukung optimalisasi proses produksi di perusahaan, dengan menggunakan metode VDI 2222 sebagai metode dalam pembuatan rancangan yang merupakan tahapan dalam pengembangan wujud produk, adapun metode ini digunakan dalam proses perancangan dengan menambahkan beberapa penyesuaian parameter di dalamnya (Media dkk., 2017).

Pada era Revolusi Industri 4.0, teknologi otomatisasi semakin berkembang pesat. Teknologi ini memberikan kemudahan dan efisiensi dalam proses produksi, namun juga menimbulkan kekhawatiran akan hilangnya lapangan kerja dan peningkatan ketimpangan ekonomi antara negara maju dan negara berkembang. Oleh karena itu, perlu dilakukan terhadap perkembangan analisis alat mekanisasi di era Revolusi 4.0, apakah merupakan peluang atau ancaman bagi manusia dan ekonomi. Sebagian besar pendapat besar mengenai otomotif pada Revolusi 4.0 menggambarkan bahwa perkembangan teknologi otomatisasi yang semakin pesat dapat menjadi sebuah peluang yang besar bagi manusia dan perekonomian. Di era ini, teknologi otomatisasi tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan efisiensi produksi, namun juga untuk meningkatkan kualitas produk, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keselamatan kerja, dan membuka peluang baru untuk pengembangan bisnis. Dalam perkembangannya, teknologi otomatis juga memberikan dampak pada ketimpangan ekonomi antara negara maju dan negara berkembang. Negara maju yang telah berhasil mengadopsi teknologi otomatisasi mampu meningkatkan daya saing mereka dalam hal produksi dan kualitas produk, sementara negara berkembang masih membutuhkan waktu untuk mengadopsi teknologi ini.

2 Metodologi Penelitian

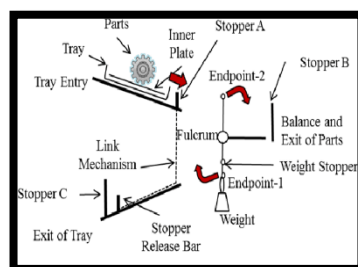
Metode perancangan yang akan digunakan, merupakan metode yang dibuat oleh Persatuan Insinyur Jerman (*Verein Deutscher Ingenieure*), yaitu Metode Perancangan VDI 2222. Metode perancangan ini mendefinisikan pendekatan dan metode individual untuk desain konseptual produk teknis. Metode perancangan ini sangat cocok untuk pengembangan produk baru (Pahl, 2006). Penjelasan mengenai tahapan dalam Metoda Perancangan VDI 2222 menurut buku Rollof Matek *Maschinenelemente* edisi 19 tahun 2009 sesuai pada gambar 2.



Gambar 2. Metodologi Perancangan VDI 2222

2.1 Tahap Perencanaan

Tahapan merancang karakuri melibatkan proses yang sistematis dari identifikasi masalah hingga implementasi sistem di tempat kerja. *Karakuri*, yang merupakan sistem mekanik sederhana tanpa menggunakan energi eksternal, seperti listrik, dirancang untuk meningkatkan efisiensi di lingkungan manufaktur (Katayama dkk., 2014).



Gambar 3. Metodologi Perencanaan *Karakuri*

2.2 Tahapan Konseptual

Tahapan ini dilakukan pembuatan daftar tuntutan sebagai acuan pembuatan rancangan. Daftar tuntutan ini diperoleh berdasarkan studi literatur dan observasi langsung. Dari daftar tuntutan maka dibuatlah konsep rancangan yang paling optimal.

No.	Tuntutan Rancangan	Deskripsi
1	Sistem tanpa energi eksternal	Sistem harus memanfaatkan gravitasi, pegas, atau mekanisme lainnya tanpa listrik atau bahan bakar.
2	Kecepatan pengangkutan yang stabil	Sistem harus mampu mengangkut material dengan kecepatan yang konsisten.
3	Kapasitas beban material	Sistem mampu menahan beban material minimum 10 kg per tray.
4	Kemudahan perawatan	Sistem harus memerlukan perawatan minimal dan mudah diperbaiki jika rusak
5	Keamanan sistem bagi operator	Sistem tidak boleh menimbulkan bahaya bagi operator selama penggunaan.
6	kemampuan adaptasi terhadap layout	Sistem harus fleksibel dan mudah diadaptasi untuk berbagai layout pabrik.
7	Pengurangan waktu henti (downtime)	Sistem harus meminimalkan waktu tunggu antar proses pengangkutan.
8	Biaya pembuatan yang rendah	Sistem harus hemat biaya dalam pembuatan dan operasional.
9	Kapasitas material yang bervariasi	Sistem harus mampu mengangkut berbagai jenis dan ukuran material.
10	Integrasi dnegan sistem lain	Sistem harus dapat diintegrasikan dengan mesin otomatisasi lain di pabrik.
11	Ergonomi bagi operator	Sistem harus mudah dioperasikan oleh pekerja tanpa menimbulkan kelelahan.

Tabel 1. Metodologi Tahapan Konsep *Karakuri*

Fungsi utama *Karakuri* adalah untuk memindahkan material secara otomatis, mengurangi pekerjaan manual, mengoptimalkan alur produksi, dan mengurangi konsumsi energi. Dengan sistem yang sederhana dan hemat energi, *Karakuri* memberikan solusi yang efektif, aman, dan hemat biaya untuk meningkatkan efisiensi di lingkungan manufaktur atau pabrik.

2.3 Tahapan Perancangan

Tahapan perancangan *Karakuri* mencakup proses yang sistematis dari identifikasi kebutuhan hingga implementasi dan pemeliharaan. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat bekerja secara optimal dan sesuai dengan tuntutan produksi serta anggaran.

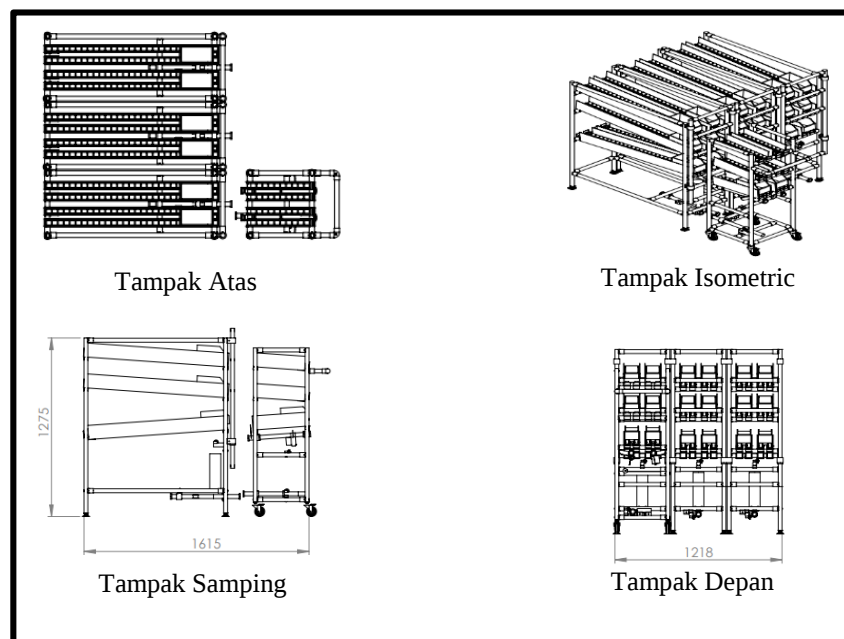
No.	Tahapan Perancangan	Akrivitas Utama	Aspek Teknis	Aspek Fungsional
1	Identifikasi Kebutuhan	Analisis kebutuhan pengguna dan proses produksi.	Pemahaman kapasitas beban, kecepatan, ukuran material.	Efisiensi waktu dan tenaga, peningkatan keamanan.
2	Penyusunan Daftar Tuntutan	Definisikan tuntutan teknis dan fungsional yang perlu dipenuhi.	Beban maksimal, durabilitas, biaya pembuatan.	Kemudahan penggunaan, fleksibilitas sistem.

3	Pengembangan Konsep Desain	Brainstorming untuk menghasilkan alternatif desain.	Desain mekanisme dasar (gravitasi, pegas, dll.).	Integrasi dengan proses produksi yang ada.
4	Pemilihan Alternatif Desain	Evaluasi dan pemilihan konsep desain terbaik menggunakan kriteria yang ditentukan.	Kesesuaian teknis dengan spesifikasi dan tuntutan.	Efisiensi alur kerja, penyesuaian dengan kebutuhan pengguna.
5	Perancangan Detail	Mengembangkan desain terpilih menjadi lebih rinci dengan gambar teknik dan spesifikasi komponen.	Material, ukuran, kekuatan, dan stabilitas desain.	Pengoperasian mudah oleh operator, kemudahan perawatan.
6	Analisis dan Validasi Desain	Pengujian konsep melalui simulasi atau analisis teknis, serta analisis ekonomi.	Kekuatan struktur, stabilitas mekanisme, keamanan.	Biaya pembuatan dan perawatan sesuai anggaran.
7	Pembuatan Prototipe	Membuat dan menguji prototipe fisik dari sistem Karakuri.	Pengujian kekuatan, kehandalan, dan daya tahan.	Sistem berjalan lancar tanpa perlu intervensi manual.
8	Implementasi dan Produksi	Produksi dan pemasangan sistem Karakuri di lapangan.	Komponen diproduksi dengan presisi, sistem berjalan optimal.	Sistem sesuai dengan kebutuhan operasional harian.
9	Monitoring dan Pemeliharaan	Pemantauan kinerja sistem dan perawatan berkala untuk menjaga performa.	Pemeliharaan mekanis minimal, penggantian suku cadang mudah.	Operator dapat melakukan perawatan rutin dengan mudah.

Tabel 2. Metodologi Tahapan Perancangan *Karakuri*

2.4 Tahapan Pengembangan

Tahapan pengembangan merupakan salah satu fase kunci untuk memastikan konsep desain yang sudah dibuat dapat direalisasikan menjadi produk atau sistem fungsional yang siap diimplementasikan.



Gambar 4. Metodologi Tahapan Pengembangan *Karakuri* menggunakan CAD

Daftar Pustaka

- Saputra, D. (2023, 03 April). Manual Handling vs. Material Handling Equipment: Mana yang Lebih Baik?. Diakses pada 16 Oktober 2024, dari <https://scmguides.com/id/manual-vs-material-handling-equipments-mana-lebih-baik/>
- Permana, D. C., Ferdiansyah, R., Safira, F. P., Gumilang, Z. T. A., Pangestu, A. J., Rozak, R. W. Abdul. (2023). Otomasi Industri Sebuah Peluang Atau Ancaman. *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi dan Perubahan*. 3 (3): 139-145.
- Yaqin, M. Abdul. (2019). Evaluasi Integrasi, Kelayakan, dan Potensi Pengembangan Alat Mix and Cutting Pada UKM Abon Lele. *Jurnal Rancangan Karakuri Kaizen*. 1(1): 1-9.
- Pungle, R. G., Vinod, D. S. (2021). Design & Build a Prototype of Two Stage Karakuri Lean Model. *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*. 11(11): 2454-4698.
- Media, I. R., Adhiarto, R., Patriatna, E., Primayangputri, U. (2017). Studi Perancangan Combination Tool Air Vent Non-Cylinder Dengan Metode VDI 2222. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. 6(4): 237-243.
- Katayama, H., Sawa, K., Hwang, R., Ishiwatari, N., Hayashi, N. (2014). Analysis and Classification of Karakuri Technologies for Reinforcement of Their Visibility, Improvement and Transferability: An Attempt for Enhancing Lean Management. *Journal PICMET 2014 - Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings: Infrastructure and Service Integration*. 1895-1906.