

Purwarupa *Gripper* Multi-Capit dengan Teknologi Vakum Granular Berbasis IoT

Joni^(1,a), Rizqi Wahyudi^(2,b), Leo Sinambela^(1,c), Michael Mahalaleel^(1,d), Omus Julperta Gulo^(1,e), dan Ario Bimo Munfadhil^(1,f)

⁽¹⁾Program Studi Rekayasa Instrumentasi dan Automasi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sumatera

⁽²⁾Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sumatera

Email : ^(a)joni@ia.itera.ac.id, ^(b)rizqi.wahyudi@tip.itera.ac.id, ^(c)leo.122490001@student.itera.ac.id,
^(d)michael.122490005@student.itera.ac.id, ^(e)omus.123490018@student.itera.ac.id,
^(f)ario.123490054@student.itera.ac.id

Diterima (27 Desember 2024), Direvisi (14 Februari 2025)

Abstract. This research aims to develop a prototype of a multi-fingered robotic gripper using granular vacuum technology based on the Internet of Things (IoT). Particle/Granule Jamming technology has been applied in previous studies but still has limitations in gripping speed and coverage area. Therefore, this study optimizes the gripper design to be more adaptive to objects of various shapes and sizes while improving gripping efficiency. The research method includes designing and prototyping a granular vacuum-based gripper, developing an IoT-based control system using microcontrollers and wireless communication, and testing its performance on objects of different shapes, sizes, and weights. Experimental results show that the gripper successfully grasped spherical objects with diameters ranging from 5 cm to 15 cm in 10 trials without failure. The granular jamming principle allows the gripper to dynamically adjust its stiffness, enhancing flexibility and efficiency compared to conventional grippers. Implementing this technology has the potential to improve productivity in automated manufacturing and robotics by reducing time and costs associated with gripper replacement when handling different objects. With a more adaptive design, this system offers an effective solution for industrial applications requiring high flexibility in production processes.

Keywords: Gripper; Granular Vacuum; Jamming Particle; Capit; Robot.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan purwarupa robot *gripper* multi-capit dengan teknologi vakum granular berbasis Internet of Things (IoT). Teknologi *Particle/Granule Jamming* telah diterapkan sebelumnya, tetapi masih memiliki keterbatasan dalam kecepatan dan luas area capit. Oleh karena itu, penelitian ini mengoptimalkan desain *gripper* agar lebih adaptif terhadap objek dengan berbagai bentuk dan ukuran serta meningkatkan efisiensi pencengkeraman. Metode penelitian mencakup perancangan dan pembuatan prototipe *gripper* berbasis vakum granular, pengembangan sistem kontrol berbasis IoT dengan mikrokontroler dan komunikasi nirkabel, serta pengujian kinerja terhadap objek dengan variasi bentuk, ukuran, dan berat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *gripper* ini berhasil mencengkeram objek berbentuk bola dengan diameter 5 cm hingga 15 cm dalam 10 kali percobaan tanpa kegagalan. Prinsip *granular jamming* memungkinkan *gripper* menyesuaikan kekakuannya secara dinamis, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi dibandingkan *gripper* konvensional. Implementasi teknologi ini berpotensi meningkatkan produktivitas industri manufaktur otomatis dan robotika dengan mengurangi waktu serta biaya penggantian *gripper* saat menangani objek berbeda. Dengan desain yang lebih adaptif, sistem ini dapat menjadi solusi efektif dalam aplikasi industri yang memerlukan fleksibilitas tinggi dalam proses produksi.

Kata kunci: *Gripper*; Vakum Granular; Particle Jamming; Capit; Robot.

PENDAHULUAN

Dalam era industri modern, pengembangan sistem otomatisasi telah menjadi fokus utama untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Salah satu aspek penting dari sistem otomatisasi adalah kemampuan untuk menggenggam dan memindahkan objek dengan presisi dan kecepatan [1][2]. *Gripper* multi-capit telah menjadi perangkat kritis dalam aplikasi otomatisasi industri, yang memungkinkan manipulasi objek dengan berbagai bentuk dan ukuran [2][3]. Namun, tantangan utama yang dihadapi dalam pengembangan *gripper* adalah kemampuannya untuk menyesuaikan diri dengan berbagai jenis objek secara efisien dan adaptif [2].

Latar belakang penelitian ini didorong oleh upaya untuk mengatasi keterbatasan *gripper* konvensional dalam menangani objek yang beragam. *Gripper* konvensional seringkali sulit untuk menyesuaikan diri dengan bentuk dan tekstur objek yang berbeda, yang mengakibatkan kinerja yang kurang optimal dan memerlukan banyak perubahan manual pada sistem [2][4]. Oleh karena itu, pengembangan *gripper* yang mampu beradaptasi secara otomatis dengan berbagai objek menjadi sangat penting.

Rumusan permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan purwarupa *gripper* multi-capit yang menggunakan teknologi vakum granular berbasis Internet of Things (IoT), dengan fokus pada penerapan teknologi *Particle / Granule Jamming*. Permasalahan ini mencakup aspek perancangan *gripper*, pengembangan sistem kontrol yang terhubung dengan IoT, serta evaluasi kinerja *gripper* dalam menangani berbagai jenis objek.

Pendekatan pemecahan masalah yang diusulkan adalah dengan mengintegrasikan teknologi *Particle / Granule Jamming* ke dalam desain *gripper* multi-capit. Teknologi ini memungkinkan *gripper* untuk menyesuaikan kekakuan dan

bentuknya secara otomatis sesuai dengan objek yang dipegang, meningkatkan kemampuan adaptif *gripper* dalam menangani variasi objek [4][5][6][7]. Kemampuan *gripper* juga akan dibuat seefisien mungkin dalam menangani variasi objek yang akan digenggam [8][9][10].

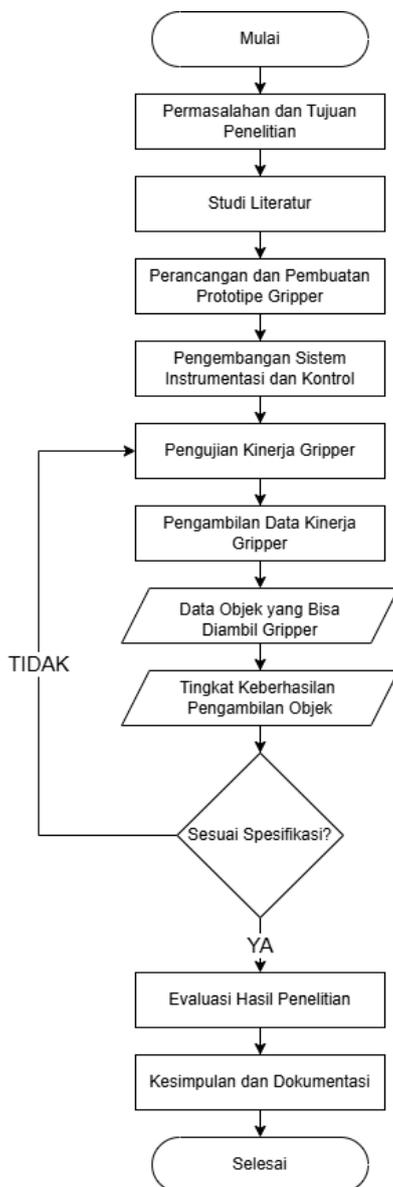
State-of-the-art dalam pengembangan *gripper* telah mencakup berbagai pendekatan, mulai dari *gripper* mekanis konvensional hingga *gripper* berbasis pneumatik dan hidrolis. Namun, integrasi teknologi *Particle / Granule Jamming* dalam *gripper* masih relatif baru dan masih banyak potensi untuk peningkatan dan pengembangan lebih lanjut [11][12]. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan teknologi *Particle / Granule Jamming* dalam pengembangan *gripper* multi-capit, serta integrasi dengan IoT untuk pengendalian dan monitoring yang lebih canggih [13][14]. Dengan pendekatan ini, diharapkan *gripper* dapat menjadi lebih adaptif dan efisien dalam menangani berbagai jenis objek dalam lingkungan industri.

Penelitian ini dirancang untuk mencakup periode setidaknya 5 tahun ke depan. Tahapan-tahapan utama dalam peta jalan ini termasuk perancangan dan pembuatan prototipe *gripper*, pengembangan sistem kontrol berbasis IoT, pengujian kinerja *gripper* dalam berbagai skenario, serta iterasi dan pengembangan lanjutan berdasarkan hasil pengujian [15][16]. Selain itu, peta jalan ini juga akan mencakup upaya untuk menerapkan teknologi *gripper* yang dikembangkan dalam berbagai aplikasi industri yang relevan, serta kolaborasi dengan mitra industri untuk implementasi dan pengembangan lebih lanjut [17][18].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dalam pengembangan purwarupa *gripper* multi-capit yang memanfaatkan teknologi vakum granular

berbasis Internet of Things (IoT), dengan penerapan teknologi Particle/Granule Jamming. Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama yang meliputi: perancangan dan pembuatan prototipe *gripper*, pengembangan sistem kontrol berbasis IoT, pengujian kinerja *gripper*, evaluasi hasil penelitian, dan publikasi terakreditasi tingkat nasional. Setiap tahap ini akan dilakukan secara terstruktur dan terencana untuk mencapai tujuan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah 1: Perancangan dan Pembuatan Prototipe Gripper

Tahapan ini merupakan proses perancangan desain *gripper* multi-capit yang mengimplementasikan teknologi vakum granular dan *Particle/Granular Jamming*. Tim desain akan menggunakan perangkat lunak Fusion 360 untuk menghasilkan model 3D dari *gripper* yang dapat dipasang *Granular Jamming*, memastikan desain memenuhi kebutuhan penelitian. Setelah model selesai, purwarupa *gripper* akan dicetak menggunakan teknik *3D printing* dengan material resin atau filamen yang sesuai untuk mendapatkan struktur yang kuat dan fleksibel. Prototipe ini akan menjadi dasar untuk pengujian lebih lanjut dan pengembangan sistem kontrol.

Langkah 2: Pengembangan Sistem Instrumentasi dan Kontrol

Pada tahapan ini, akan dikembangkan sistem kontrol dan instrumentasi berbasis mikrokontroler. Sistem ini akan menggunakan teknologi IoT sebagai antarmuka untuk proses pengendalian dan instrumentasi jarak jauh secara *real-time* melalui aplikasi berbasis *web* maupun aplikasi *mobile Android*. Data yang diukur oleh sistem akan disimpan dalam basis data melalui jalur komunikasi *wireless/internet*, memungkinkan pemantauan dan analisis data secara efisien. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan responsivitas dan kemudahan penggunaan *gripper* dalam berbagai aplikasi.

Langkah 3: Pengujian Kinerja Gripper

Tahapan ini melibatkan pengujian kinerja *gripper* menggunakan berbagai jenis objek dengan variasi bentuk, ukuran, dan berat yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan *gripper* dalam menyesuaikan diri dengan objek yang akan dicapit dan untuk menilai efisiensi operasionalnya. Data yang diperoleh selama pengujian akan dianalisis secara sistematis

untuk mengevaluasi kinerja *gripper*. Jika ditemukan kekurangan, desain dan algoritma kontrol akan diperbaiki untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi *gripper*.

Langkah 4: Evaluasi Hasil Penelitian

Evaluasi terhadap hasil penelitian akan dilakukan berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya, termasuk efektivitas, efisiensi, dan keandalan *gripper*. Hasil pengujian *gripper* akan dibandingkan dengan kinerja *gripper* konvensional dan teknologi yang sudah ada, untuk mengidentifikasi keunggulan dan kelemahan dari purwarupa yang dikembangkan. Selain itu, evaluasi juga akan melibatkan pengumpulan data terkait kebutuhan industri yang ada dan potensi pengembangan lanjutan yang dapat diambil dari penelitian ini.

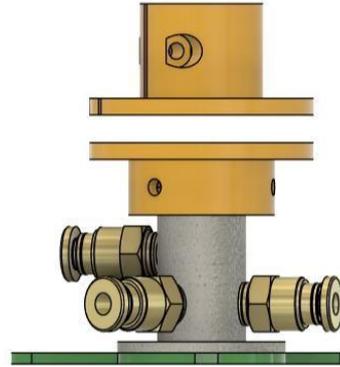
Langkah 5: Analisis Perbaikan dan Optimalisasi Desain

Evaluasi akhir dilakukan untuk mengidentifikasi aspek yang dapat ditingkatkan pada desain *gripper*, termasuk peningkatan efisiensi daya vakum, fleksibilitas capit, dan ketahanan material. Hasil evaluasi ini akan digunakan sebagai dasar untuk iterasi desain berikutnya, memastikan bahwa *gripper* dapat berfungsi optimal dalam berbagai kondisi penggunaan.

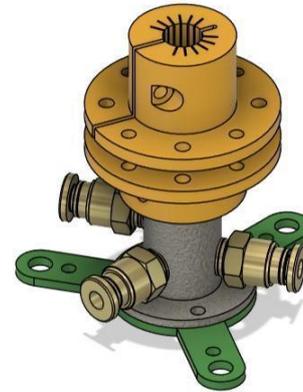
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk desain *gripper* multi-capit dalam penelitian ini merupakan pengembangan dari konsep multi-capit dan teknologi *vacuum granular* yang telah ada sebelumnya, atau dengan kata lain, merupakan hasil dari studi literatur yang telah dilakukan. Desain ini mengintegrasikan keunggulan dari teknologi *vacuum granular*, seperti fleksibilitas dalam mencengkeram objek dengan bentuk yang

tidak beraturan, dengan keandalan mekanisme multi-capit untuk meningkatkan kemampuan *gripper* dalam menangani berbagai macam objek secara efisien.



Gambar 2. Desain 3D *Gripper* Multi-Capit Vakum Granular tampak atas



Gambar 2. Desain 3D *Gripper* Multi-Capit Vakum Granular tampak samping

Pada bagian atas tabung terdapat dua lubang yang masing-masing berfungsi untuk memasukkan dan mengeluarkan udara. Bagian bracket didesain dengan tentakel yang fleksibel, sehingga pengguna dapat menyesuaikan jarak tentakel sesuai dengan kebutuhan spesifik yang diinginkan. Hal ini memberikan fleksibilitas tambahan untuk

menangani objek dengan berbagai ukuran dan bentuk. Setelah model *gripper* selesai, purwarupa *gripper* akan dicetak menggunakan bahan aluminium melalui mesin CNC. Prototipe ini kemudian akan diuji secara eksperimental untuk mengevaluasi performa dan validitas desain sebelum masuk ke tahap implementasi dan pengujian ketahanan komponen.

Pada pengujian eksperimental, purwarupa *gripper* diuji dengan objek berbentuk bola sebanyak 10 kali. Setiap percobaan menunjukkan keberhasilan *gripper* dalam mencengkeram dan mengangkat objek tanpa adanya kegagalan. Data pengujian menunjukkan bahwa mekanisme *granular jamming* yang diimplementasikan mampu menyesuaikan bentuk dan kekakuan *gripper* dengan objek yang dicengkeram. Teknologi ini memungkinkan *gripper* untuk menciptakan gaya cengkeraman yang cukup kuat tanpa merusak objek yang dipegang. Secara kuantitatif, *gripper* berhasil mencengkeram objek dengan diameter bervariasi antara 5 cm hingga 15 cm dengan tingkat keberhasilan 100%.



Gambar 2. Tampak *gripper* mengambil objek

Secara ilmiah, keberhasilan *gripper* ini didukung oleh prinsip *granular jamming*, di mana partikel di dalam tabung vakum disusun ulang untuk menciptakan perubahan kekakuan saat tekanan udara diatur. Integrasi teknologi ini dengan mekanisme multi-capit menghasilkan *gripper* yang adaptif terhadap variasi objek tanpa perlu

penyesuaian manual yang signifikan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa teknologi ini lebih unggul dibandingkan *gripper* konvensional dalam aspek fleksibilitas dan kecepatan.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwarupa *gripper* multi-capit berbasis teknologi *vacuum granular* yang terintegrasi dengan sistem kontrol berbasis *Internet of Things*. *Gripper* ini mampu menyesuaikan bentuk dan kekakuannya secara adaptif terhadap berbagai jenis objek, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensinya dibandingkan dengan *gripper* konvensional. Pengujian awal menunjukkan bahwa *gripper* mampu mencengkeram dan memindahkan objek dengan berbagai ukuran dan bentuk secara andal, memenuhi tujuan penelitian untuk menciptakan teknologi yang lebih adaptif dan efisien dalam aplikasi industri. Implementasi sistem berbasis IoT juga memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh secara real-time, memberikan nilai tambah bagi pengguna dalam skenario manufaktur otomatisasi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi *gripper* modern dan berpotensi meningkatkan produktivitas industri.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian pada objek dengan bentuk, ukuran, dan material yang lebih beragam guna mengevaluasi performa *gripper* dalam skenario yang lebih kompleks. Selain itu, pengembangan sistem kontrol berbasis IoT dapat ditingkatkan dengan integrasi teknologi kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi. Pengujian ketahanan jangka panjang juga perlu dilakukan untuk memastikan keandalan *gripper* dalam kondisi operasional yang ekstrem.

Implementasi *gripper* ini di industri manufaktur dapat menjadi langkah berikutnya untuk menguji aplikasinya dalam skala yang lebih besar. Dengan demikian, penelitian lanjutan diharapkan dapat memperluas potensi dan aplikasi teknologi *gripper* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. C. Wong, M. Y. Chien, R. J. Chen, H. Aoyama, and K. Y. Wong, "Moving Object Prediction and Grasping System of Robot Manipulator," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 20159–20172, Jan. 2022.
- [2] V. Babin and C. Gosselin, "Mechanisms for Robotic Grasping and Manipulation," *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, vol. 4, pp. 1–25, Nov. 2020.
- [3] J. Hernandez et al., "Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review," *Robotics*, vol. 12, no. 1, p. 5, Jan. 2023.
- [4] A. Balaji, J. Mithil, and J. Gousanal, "Design and Analysis of Universal Gripper for Robotics Applications," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1012, no. 1, p. 012006, Jan. 2021.
- [5] P. Jiang et al., "Multiple-object Grasping Using a Multiple-suction-cup Vacuum Gripper in Cluttered Scenes," *arXiv*, Apr. 2023.
- [6] F. Gabriel et al., "Modeling of Vacuum Grippers for the Design of Energy Efficient Vacuum-Based Handling Processes," *Production Engineering*, vol. 14, no. 5-6, pp. 545–554, Oct. 2020.
- [7] A. C. Jacob and E. L. Secco, "Design of a Granular Jamming Universal Gripper," *Lecture Notes in Networks and Systems*, pp. 268–284, Aug. 2021.
- [8] C. Wacker et al., "Analytic and Data-Driven Force Prediction for Vacuum-Based Granular Grippers," *Machines*, vol. 12, no. 1, p. 57, Jan. 2024.
- [9] C. Wacker et al., "Experimental Assessment and Prediction of Design Parameter Influences on Vacuum-Based Granular Grippers," *Research Square*, Aug. 2023.
- [10] P. Kremer et al., "TRIGGER: A Lightweight Universal Jamming Gripper for Aerial Grasping," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 50098–50115, Jan. 2023.
- [11] M. Li et al., "Adaptive Robotic Grippers for Industrial Applications: A Review," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 5, pp. 4876–4888, May 2022.
- [12] S. Zhang et al., "Soft Robotic Grippers: A Review of Design, Actuation, and Applications," *Advanced Intelligent Systems*, vol. 4, no. 3, p. 2100161, Mar. 2022.
- [13] J. Kim et al., "IoT-Enabled Smart Grippers for Industrial Automation: A Comprehensive Review," *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5678, Aug. 2022.
- [14] R. Patel et al., "Granular Jamming in Soft Robotics: Mechanisms and Applications," *Soft Robotics*, vol. 9, no. 4, pp. 789–801, Aug. 2022.
- [15] T. Liu et al., "Design and Control of Adaptive Grippers for Industrial Robots," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 104, no. 2, p. 32, Jun. 2022.
- [16] H. Wang et al., "A Survey of Robotic Grippers for Industrial Applications," *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 145, p. 103846, Nov. 2021.
- [17] Y. Chen et al., "Collaborative Robotics in Smart Manufacturing: Challenges and Opportunities," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 1805–1818, Jul. 2022.

- [18] L. Zhang et al., "Industrial Applications of Soft Robotic Grippers: A Review," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 10289–10296, Oct. 2022.

