



Analisis Hasil Pencacahan Sampah Rumah Tangga Menggunakan Mesin *Depackaging Waste Tipe Hammer Mill* Melalui Simulasi CFD-DEM

Hafidh Ihwanul Isro^{1*}, Arif Rahman Saleh², Nurmala Dyah Fajarningrum³

¹⁻³ Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Indonesia

E-mail: hafidhihwanulisro@gmail.com¹, arifrahmansaleh@untidar.ac.id², nurmaladf30@untidar.ac.id³

*Penulis Korespondensi: hafidhihwanulisro@gmail.com

Abstract. Waste is one of the main problems currently faced by Indonesian society and even the world. One solution for waste management is the use of a hammer mill type waste *Depackaging* machine that is capable of simultaneously separating and shredding organic and inorganic waste. This study aims to analyze the process of shredding household waste using the Computational Fluid Dynamics–Discrete Element Method (CFD-DEM) and determine the optimal operational parameters based on variations in rotor speed. The research method uses numerical simulation with SolidWorks 2024 software for geometric modeling and Ansys Rocky 2023 R1 for CFD-DEM simulation. The rotor speed variations used are 1000 RPM, 2500 RPM, and 4000 RPM with a mass flow rate of 4 tons/hour and a simulation duration of 2 seconds. The parameters analyzed included particle mass flow rate, shredding characteristics, and power consumption. The simulation results showed that a speed of 1000 RPM produced the most optimal performance with a maximum capacity of ± 4 tons/hour and a stable shredding response compared to other variations. At 2500 RPM, there were high fluctuations with low capacity (± 0.6 tons/hour), while at 4000 RPM, the capacity was moderate (± 1.1 tons/hour) but still did not exceed the performance of 1000 RPM. Based on these results, it can be concluded that a rotor speed parameter of 1000 RPM is the most effective condition for improving the grinding efficiency and production capacity of a hammer mill-type *Depackaging* machine based on CFD-DEM simulation.

Keywords: CFD-DEM; *Depackaging*; Hammer Mill; Mass Flow Rate; Waste.

Abstrak. Sampah merupakan salah satu masalah utama yang hingga saat ini dialami oleh masyarakat Indonesia bahkan dunia. Salah satu solusi pengolahan sampah adalah penggunaan mesin *Depackaging waste tipe hammer mill* yang mampu memisahkan dan mencacah sampah organik dan anorganik secara simultan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pencacahan sampah rumah tangga menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics–Discrete Element Method* (CFD-DEM) serta menentukan parameter operasional optimal berdasarkan variasi kecepatan rotor. Metode penelitian menggunakan simulasi numerik dengan perangkat lunak *SolidWorks 2024* untuk pemodelan geometri dan *Ansys Rocky 2023 R1* untuk simulasi CFD-DEM. Variasi kecepatan rotor yang digunakan adalah 1000 RPM, 2500 RPM, dan 4000 RPM dengan laju aliran massa 4 ton/jam dan durasi simulasi 2 detik. Parameter yang dianalisis meliputi laju aliran massa partikel (*mass flow rate*), karakteristik hasil pencacahan, dan daya yang digunakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan 1000 RPM menghasilkan performa paling optimal dengan kapasitas maksimum ± 4 ton/jam serta respon penghancuran yang stabil dibandingkan variasi lainnya. Pada 2500 RPM terjadi fluktuasi tinggi dengan kapasitas rendah ($\pm 0,6$ ton/jam), sedangkan pada 4000 RPM kapasitas sedang ($\pm 1,1$ ton/jam) namun masih belum melampaui performa 1000 RPM. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa parameter kecepatan rotor 1000 RPM merupakan kondisi paling efektif dalam meningkatkan efisiensi pencacahan dan kapasitas produksi pada mesin *Depackaging tipe hammer mill* berbasis simulasi CFD-DEM.

Kata kunci: CFD-DEM; *Depackaging*; Hammer Mill; Laju Aliran Massa; Sampah Rumah Tangga.

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu masalah utama yang hingga saat ini dialami oleh masyarakat Indonesia bahkan dunia. Populasi yang kian meninggi dari tahun ketahun. Pasokan sampah yang kian meninggi memberikan dampak *negative* terhadap lingkungan sekitar seperti lingkungan kumuh, hal ini menjadi salah satu sumber sarang penyakit, dan memicu efek rumah kaca dikarenakan membusuknya sampah menghasilkan gas mentana yang berkontribusi

terhadap perubahan iklim. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Magelang, pada tahun 2021 persentase pengelolaan sampah yang dihasilkan sebesar 47210 ton/hari.

Sampah serta pengelolaan sampah hingga kini masih menjadi masalah utama yang sering dihadapi oleh masyarakat. Sampah yang tak terkelola dengan baik, tidak hanya akan menimbulkan masalah lingkungan, namun dapat menjadi masalah kesehatan, ekonomi dan sosial. Banyaknya aspek yang berkaitan dengan masalah sampah ini menunjukkan bahwa diperlukan adanya banyak peran yang harus dijalankan, mulai dari pemerintah, masyarakat hingga dunia usaha dan industri sehingga diperlukan persepsi yang sama tentang penanganan sampah untuk berbagai pihak yang berperan tersebut. Penyamaan persepsi salah satunya dapat dilakukan dengan dilakukannya edukasi dalam bentuk penyampaian informasi tentang isu-isu terbaru tentang sampah serta upaya upaya apa saja yang dapat dilakukan untuk menanggulangi masalah sampah (Mulyati et al. 2023). Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan mesin *Depackaging waste tipe hammer mill*. Pada dasarnya mesin *Depackaging waste* hanya berfungsi untuk memisahkan serta mencacah sampah dengan kemasannya (plastik, kardus, kertas, dan logam dari limbah organik) (Suastawa and Adi 2023).

Mesin *hammer mill* berfungsi merubah ukuran suatu bahan baku produksi menjadi butiran-butiran tepung yang sangat halus. Mesin penepung ini biasanya digunakan dalam industri dan pabrik, yaitu pada proses penggilingan gandum, pakan ternak, jus buah, penghancur kertas, penghancur kompos organik dan sebagainya (Zulkarnain, 2014). *Hammer mill* terdiri dari palu berayun yang dipasangkan pada rotor yang berputar yang dibawahnya terdapat saringan yang mengendalikan ukuran partikel maksimum untuk keluar dari ruang penggilingan (Roger, 1984). Prinsip kerja *hammer mill* adalah bahan yang dimasukkan akan dihancurkan oleh *hammer*, melewati celah antar *hammer* dan mendarat pada saringan. Bahan dengan ukuran yang lebih kecil dari lubang saringan akan keluar sebagai produk sedangkan bahan yang lebih besar akan terbawa lagi oleh *hammer* sehingga terjadi lagi proses penumbukan lebih lanjut (Kurniawan and Kusnayat 2017b).

Menurut Budä,Can and Deac (2013) *hammer mill* adalah alat yang umum digunakan dalam industri untuk proses penggilingan bahan. Proses ini melibatkan fragmentasi material menjadi ukuran yang lebih kecil, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi industri. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan metode *Computational Fluids Dynamics-Discrete Element Method* (CFD-DEM) untuk menganalisis aliran partikel dalam ruang cacah (*chamber*) *hammer mill*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Li et al. (2024), menggunakan metode *Computational Fluids Dynamics* (CFD) untuk menganalisis distribusi aliran udara dalam ruang penghancur *hammer mill*. Selama proses penelitian hal yang diteliti meliputi ukuran lubang saringan, kecepatan rotor, jarak *hammer*-saringan, jumlah *hammer*, dan laju aliran massa. Hasil penelitian menunjukkan analisis CFD distribusi tekanan statis yang seragam dan peningkatan kecepatan aliran maksimum hingga 83,46% dari kecepatan ujung *hammer*. Penelitian yang dilakukan oleh Li et al. (2024) memberikan dasar teoritis untuk meningkatkan efisiensi penghancuran dan penyaringan dalam *hammer mill*.

Pengelolaan infrastruktur dan lingkungan yang efektif sangat penting untuk mendukung kemajuan dalam berbagai sektor pembangunan, terutama dalam bidang teknik sipil, perencanaan tata ruang, dan pengelolaan sampah. Salah satu aspek yang mendapat perhatian besar adalah penggunaan teknologi dan metode yang tepat untuk mengoptimalkan keberlanjutan infrastruktur, seperti penggunaan pondasi yang sesuai untuk mesin industri dan pengelolaan sampah yang efisien.

Dalam konteks ini, Rusydan et al. (2026) melakukan studi kasus mengenai optimasi penggunaan pondasi micropile sebagai pondasi mesin turbin di pabrik gula Candi Baru Sidoarjo, yang menunjukkan pentingnya pemilihan pondasi yang sesuai untuk mendukung operasional mesin besar di industri. Sementara itu, Khalisah Pieter dan Zakiyayasin Nisa' (2025) serta Putri dan Zakiyayasin Nisa' (2025) fokus pada isu lingkungan, khususnya dalam hal pengelolaan sampah. Khalisah Pieter dan Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa' (2025) melakukan analisis perhitungan timbulan sampah rumput di area perusahaan migas, yang penting untuk mendukung keberlanjutan dalam industri energi. Di sisi lain, Putri dan Zakiyayasin Nisa' (2025) menyelidiki timbulan sampah vegetasi semak belukar, yang sering kali diabaikan dalam pemeliharaan rutin, dengan menggunakan metode sampling sebagai pendekatan dalam pengelolaan lingkungan.

Lebih lanjut, Irawan, Baderan, dan Hamidun (2025) menyoroti pentingnya partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah di Kota Gorontalo. Masyarakat yang terlibat dalam pengelolaan sampah dapat menciptakan dampak positif terhadap lingkungan serta meningkatkan kesadaran akan pentingnya kebersihan dan pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Keberhasilan dalam pengelolaan sampah sangat bergantung pada keterlibatan berbagai pihak, baik itu pemerintah, masyarakat, maupun industri.

Studi-studi ini mencerminkan pentingnya pendekatan yang holistik dalam mengelola berbagai aspek dalam teknik sipil dan lingkungan. Dari pengelolaan infrastruktur seperti pondasi mesin turbin hingga pengelolaan sampah yang melibatkan masyarakat, penelitian ini

mengedepankan integrasi antara teknologi, masyarakat, dan kebijakan yang efektif untuk memastikan keberlanjutan pembangunan yang lebih baik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sampah Rumah Tangga

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012, bahwa sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga yang tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah sejenis sampah rumah tangga adalah sampah rumah tangga yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya. Sampah rumah tangga terdiri dari sampah organik dan sampah anorganik.

Mesin *Depackaging*

Menurut Gomez (2022), *Depackaging* adalah proses menghilangkan material yang menempel pada permukaan barang atau kemasan. Jadi, mesin *Depackaging* adalah suatu mesin yang berfungsi untuk memisah produk dari kemasannya. Seperti memisahkan bungkus plastik dengan sampah organik untuk dilakukan proses selanjutnya pada tempat pembuangan akhir.

Prinsip kerja *hammer mill* adalah bahan yang dimasukkan akan dihancurkan oleh *hammer*, melewati celah antar *hammer* dan mendarat pada saringan. Bahan dengan ukuran yang lebih kecil dari lubang saringan akan keluar sebagai produk sedangkan bahan yang lebih besar akan terbawa lagi oleh *hammer* sehingga terjadi lagi proses penumbukan lebih lanjut (Kurniawan and Kusnayat 2017a).

Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan *software* yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait (Jalaluddin et al. 2020). CFD dalam pengaplikasiannya, aliran fluida baik berjenis cair maupun gas merupakan suatu zat yang sangat berkaitan dengan kehidupan sehari-hari.

Discrete Element Method (DEM)

Discrete Element Method (DEM) merupakan metode numerik yang digunakan untuk mensimulasikan perilaku *material* yang terdiri dari banyak partikel. Metode ini merepresentasikan material sebagai kumpulan elemen diskrit (partikel) yang saling berinteraksi. DEM sangat berguna untuk mempelajari fenomena kompleks seperti retakan, deformasi, dan aliran material yang sulit direpresentasikan dengan metode kontinu. Jenis Pendekatan DEM memiliki 2 jenis, seperti *Molecular Dynamics (MD)* yang menggunakan hukum gaya *displacement* untuk menghitung interaksi antar elemen dan metode jenis ini cocok

dengan deformasi kecil sedangkan *Contact Dynamics* (CD) yang menggunakan pendekatan *non-smooth* untuk menangani kontak unilateral tanpa penetrasi antar elemen dan jenis ini cocok untuk system dengan banyak kontak (V. Donzé et al. 2015).

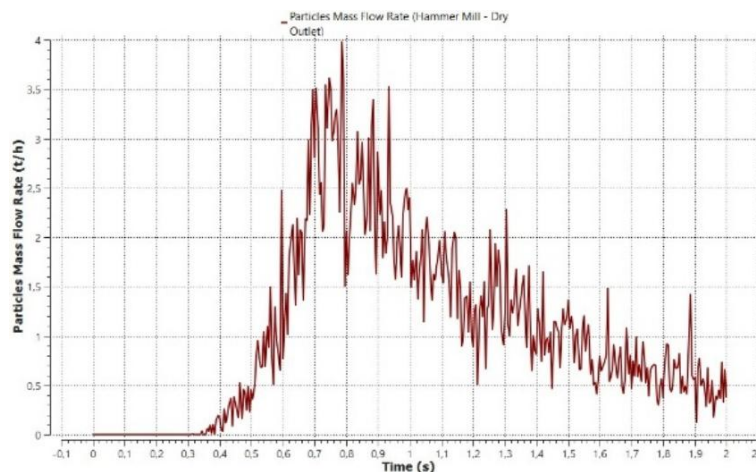
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dari bulan April hingga Desember 2025. Di Dukuh Baru no.20/97 RT.01 RW.03, Kec. Magelang Tengah, Kota Magelang, Jawa Tengah 56117 menggunakan *software solidworks 2024* dan *Ansys Rocky 2023 R1*. Metode pada penelitian ini menggunakan desain eksperimental. Penelitian ini menggunakan *software solidworks* dalam pembuatan desain mesin *Depackaging* dan *software ansys rocky* dalam mesimulasikan rancangan dengan beberapa parameter desain *hammer mill* seperti ukuran dari *hammer mill*, kecepatan rotor dan laju aliran massa, serta hasil pencacahan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

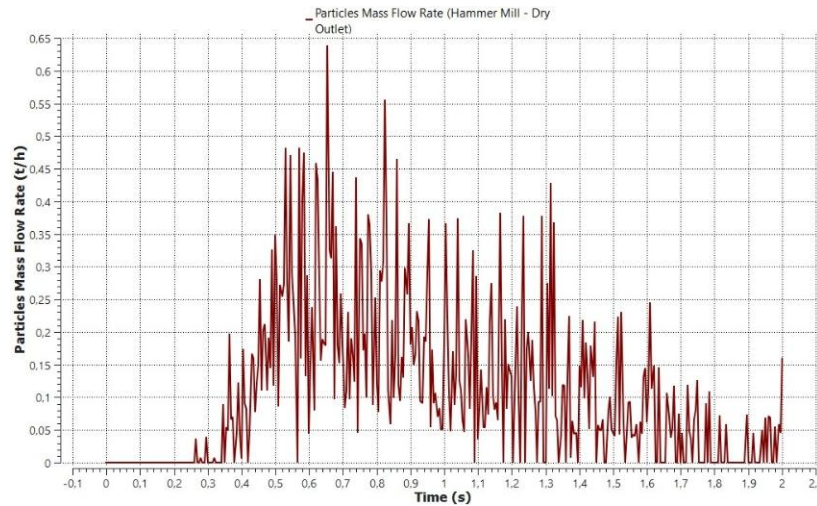
Analisis Laju Aliran (*Flow rate*) Massa Partikel *Dry Waste* pada *Mesin Depackaging* tipe *Hammer mill*

Flow rate atau laju aliran adalah ukuran kuantitas fluida (fluid, gas, atau partikel) yang melewati suatu titik atau penampang dalam *system* per-satuan waktu, dapat berupa volume atau massa. Pada penelitian kali ini laju aliran dihasilkan dari sampah yang tercacah oleh *hammer mill* menjadi butiran partikel. Kecepatan pada rotor akan mempengaruhi hasil cacahan yang terjadi saat simulasi. Pada penelitian ini menggunakan massa sampah rumah tangga 4 ton/jam (t/h) menggunakan variasi kecepatan 1000 RPM, 2500 RPM, dan 4000 RPM dengan durasi simulasi tiap percobaan 2 detik (s) dengan *frame* 0,005 s. Hasil dari ketiga simulasi, sebagai berikut:



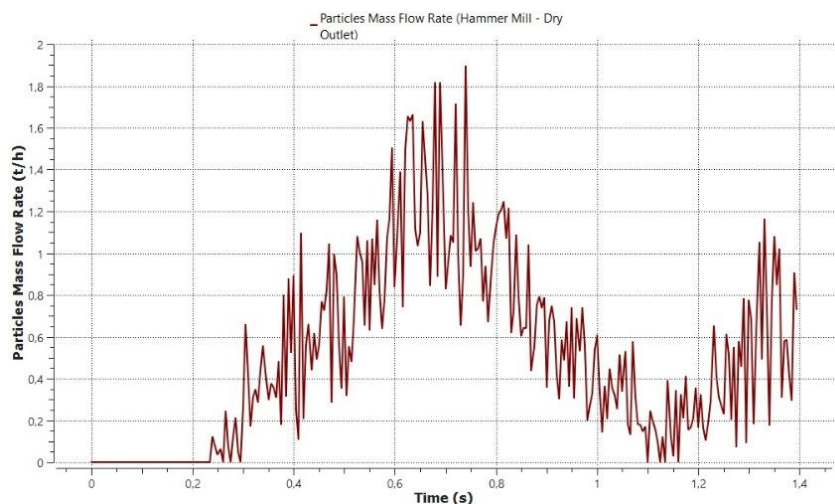
Gambar 1. Hasil Laju Aliran Massa 1000 RPM.

Pada gambar 1 menunjukkan hasil *flow rate* dari simulasi dengan kecepatan 1000 RPM, menunjukkan *hammer mill* bekerja dengan efektif dengan kapasitas puncak (± 4 t/h). Proses pencacahan berlangsung cepat dan partikel berhasil di reduksi ukuran dengan menunjukkan performa optimum pada *interval* 0.6 hingga 0.8 s, namun proses masih belum mencapai kesetabilan aliran, sehingga aliran keluar bersifat fluktuatif.



Gambar 2. Hasil Laju Aliran Massa 2500 RPM.

Pada gambar 2 menunjukkan hasil *flow rate* dengan kapasitas maksimum sebesar $\pm 0,65$ t/h dengan pola aliran yang sangat fluktuatif, hal tersebut mengindikasikan proses pencacahan terjadi dengan kondisi belum optimal dari sisi produktivitas. Rendahnya performa terjadi kemungkinan disebabkan oleh parameter operasional yang menghasilkan energi cacahan yang tidak optimal dan hambatan aliran partikel yang tinggi, seperti ukuran ruang yang kecil, serta koefisien gesekan yang besar. Kondisi ini menyebabkan laju reduksi ukuran partikel dan pelepasan material menjadi terbatas, sehingga kapasitas produksi relatif rendah.



Gambar 3. Hasil Laju Aliran Massa 4000 RPM.

Pada gambar 3 menunjukkan hasil *flow rate* dengan proses pencacahan berjalan efektif dengan waktu respon cepat dan kapasitas sedang sebesar $\pm 1,9$ t/h. Proses tersebut menunjukkan karakter fluktuatif khas *hammer mill*, namun belum mencapai kapasitas maksimum seperti pada konfigurasi dengan kecepatan 1000 RPM.

Berdasarkan hasil simulasi, saat proses pencacahan yang dihasilkan menggunakan metode *Discrete Element Method* (DEM) pada *hammer mill*, diperoleh perbandingan performa dari tiga variasi kecepatan 1000 RPM, 2500 RPM, dan 4000 RPM yang telah dianalisis melalui grafik *Particles Mass Flow rate* (t/h) dalam kurun waktu 2 s dengan *frame* 0,005 s.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa laju aliran massa partikel pada kecepatan 1000 RPM menghasilkan performa paling optimal dibandingkan kecepatan 2500 RPM dan 4000 RPM. Hal ini dapat ditunjukkan oleh nilai laju aliran partikel maksimum yang mencapai ± 4 t/h, dengan rata-rata laju aliran yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dua kondisi lainnya. Selain itu, system pada konfigurasi tersebut menunjukkan respon penghancuran yang lebih cepat, ditandai dengan peningkatan tajam laju aliran setelah fase awal tumbukan.

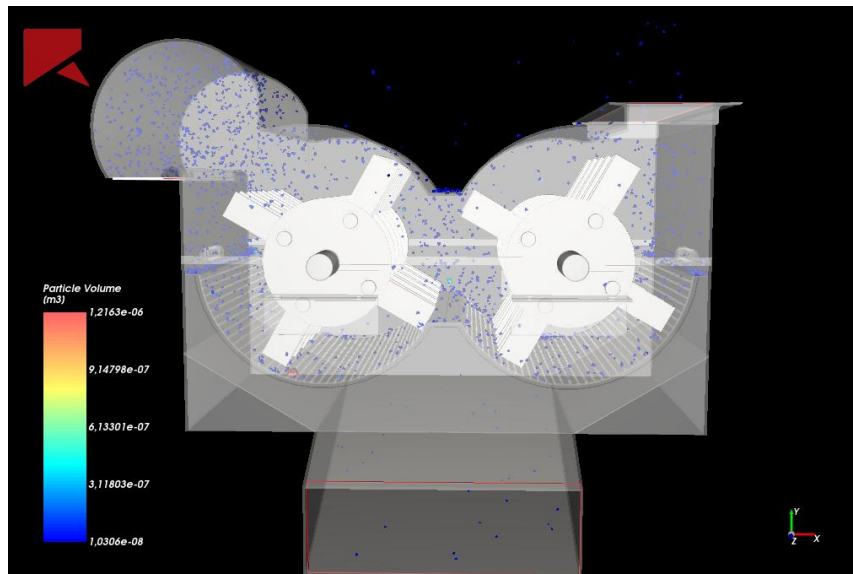
Sebaliknya, pada kecepatan 2500 RPM diperoleh kapasitas maksimum yang relative rendah ($\pm 0,6$ t/h), yang mengindikasikan energi tumbukan dan efektivitas reduksi ukuran partikel belum optimal. Sementara itu, pada kecepatan 4000 RPM menunjukkan performa sedang dengan kapasitas maksimum sekitar $\pm 1,9$ t/h, namun hasil pencacahan masih berada di bawah kecepatan 1000 RPM dari sisi produktivitas.

Meskipun ketiga kondisi menunjukkan karakteristik fluktuatif yang merupakan hal umum sistem penghancuran, pada kecepatan 1000 RPM memberikan hasil tertinggi dan efisiensi pencacahan terbaik dalam rentang waktu simulasi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa parameter operasional pada kecepatan 1000 RPM merupakan kondisi yang paling sesuai untuk memaksimalkan kapasitas produksi dan efektivitas proses pencacahan pada system yang disimulasikan.

Analisis Ukuran Partikel setelah Tercacah didalam Mesin *Depackaging*

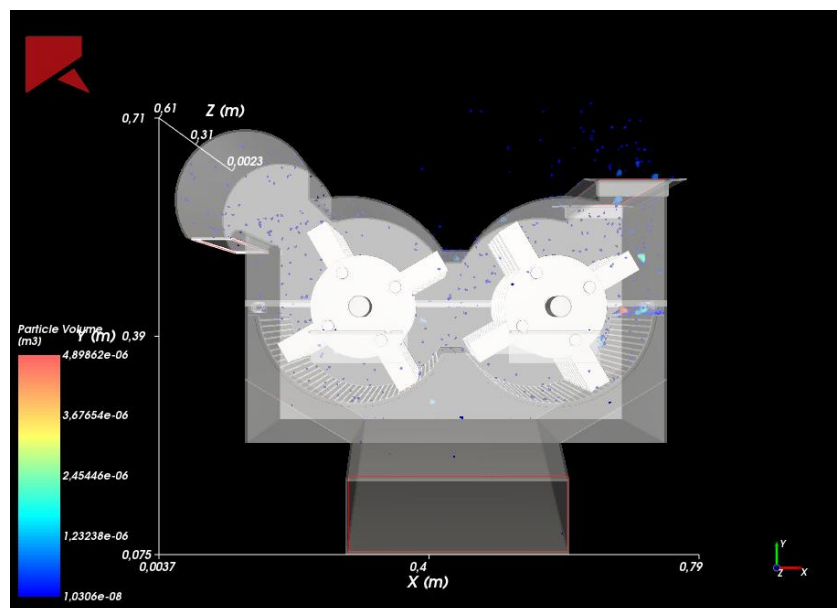
Pada simulasi yang dilakukan, ukuran partikel yang tercacah di dalam mesin *Depackaging* sangat dipengaruhi oleh kecepatan karena putaran bilah *hammer mill* bergantung dengan kecepatan yang telah ditentukan dan bahan material sampah yang di gunakan juga dapat menjadi salah satu faktor ukuran partikel. Simulasi ini melibatkan interaksi antara *hammer mill* dengan partikel dan partikel dengan saringan. Material atau sampah terdiri dari sampah *plastic* dan sampah makanan. Dalam model ini material yang tercacah menjadi butiran partikel akan bergerak keluar melewati 2 *outlet* yaitu bagian kiri dan bagian bawah. Pada bagian kiri merupakan partikel yang memiliki ukuran lebih dari 3 mm sedangkan pada bagian bawah

merupakan partikel yang memiliki ukuran kurang dari 3 mm. Partikel berwarna biru merupakan partikel yang telah tercacah dengan sempurna dan partikel yang berwarna merah hingga hijau merupakan partikel yang belum tercacah sempurna.



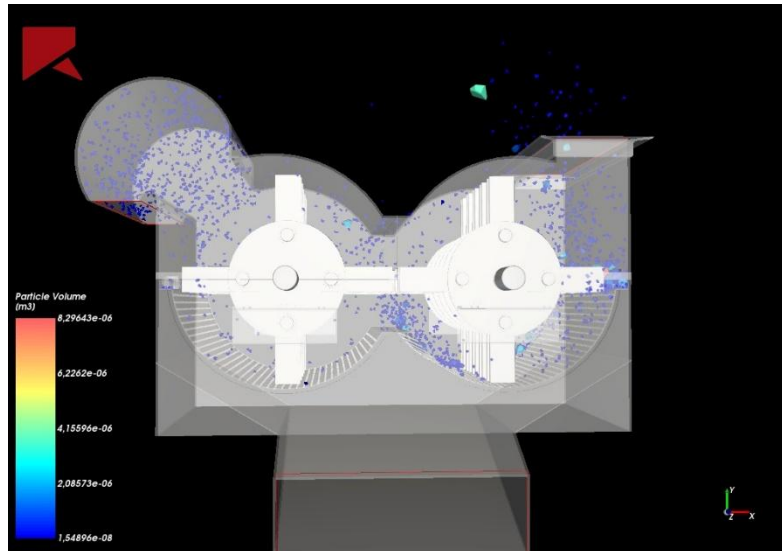
Gambar 4. Hasil Pencacahan 1000 RPM.

Pada gambar 4 menunjukkan proses pencacahan berjalan efektif dengan dominasi partikel berukuran kecil. Distribusi partikel yang relatif merata dan tidak adanya penumpukan signifikan mengindikasikan sirkulasi material dalam ruang cacah berjalan dengan baik. Sistem tidak menunjukkan gejala penyumbatan, namun kapasitas produksi kemungkinan berada pada kategori sedang, bukan maksimum.



Gambar 5. Hasil Pencacahan 2500 RPM.

Pada gambar 5 menunjukkan proses reduksi ukuran partikel berlangsung namun belum sepenuhnya optimal. Karena rata-rata partikel relative berukuran besar mengindikasikan bahwa daya tumbukan belum cukup untuk menghasilkan cacahan yang relative kecil. Hasil simulasi menunjukkan kapasitas dan efektivitas penghancuran pada tingkat sedang dengan distribusi ukuran produk masih bervariasi.



Gambar 6. Hasil Pencacahan 4000 RPM.

Pada gambar 6 menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dengan dominasi partikel berukuran kecil. Rendahnya partikel berukuran besar mengindikasikan bahwa daya tumbukan yang diberikan oleh *hammer* cukup untuk menghasilkan cacahan yang efektif. Pola aliran material juga menunjukkan tidak adanya penumpukan signifikan, sehingga proses penghancuran berlangsung secara kontinu dan stabil.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan pada kecepatan 4000 RPM memiliki distribusi ukuran yang belum merata, sehingga dapat dilihat adanya indikasi partikel besar masih bersirkulasi di dalam ruang cacah dan partikel yang memiliki ukuran besar masih dapat terlihat. Sedangkan, pada kecepatan 2500 RPM partikel kecil lebih dominan dibandingkan pada kecepatan 4000 RPM dan jumlah partikel besar mulai berkurang sehingga aliran menuju *outlet* lebih stabil. Pada kecepatan 1000 RPM memiliki distribusi lebih merata dan tidak terlihat akumulasi signifikan pada ruang cacahan dan hamper seluruh partikel berukuran kecil, sehingga untuk kecepatan 1000 RPM memiliki kualitas cacahan yang paling optimal.

Dari ketiga hasil pencacahan pada variasi kecepatan tersebut, kecepatan 1000 RPM menunjukkan kualitas pencacahan terbaik, hal tersebut ditandai dengan dominasi partikel berukuran kecil dan distribusi ukuran yang lebih merata.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi CFD-DEM menggunakan mesin depackaging tipe hammer mill dengan konfigurasi 4 bilah pada variasi kecepatan 1000 RPM, 2500 RPM, dan 4000 RPM, serta 6 bilah pada kecepatan 1000 RPM, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan berpengaruh signifikan terhadap laju aliran massa partikel sampah rumah tangga. Pada konfigurasi 4 bilah, peningkatan kecepatan dari 1000 RPM hingga 4000 RPM mampu meningkatkan laju aliran di ruang cacah serta mempercepat proses pencacahan material menjadi partikel. Pada kecepatan 1000 RPM, laju aliran (flow rate) mengalami lonjakan di awal akibat masuknya material, kemudian menurun secara gradual seiring berkurangnya jumlah material. Sementara itu, pada kecepatan 2500 RPM, flow rate menunjukkan fluktuasi tinggi dan cenderung tidak stabil saat material mulai masuk ke ruang cacah, lalu semakin menurun dan bersifat sporadis. Pada kecepatan 4000 RPM, flow rate meningkat secara progresif dengan fluktuasi yang relatif besar terhadap nilai rata-rata. Lebih lanjut, hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi optimal diperoleh pada mesin depackaging tipe hammer mill dengan 4 bilah pada kecepatan 1000 RPM dengan kapasitas 4 ton/jam, di mana hasil cacahan mengalami penurunan secara gradual dan lebih stabil dibandingkan kecepatan lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada grafik hasil simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Budä, C., Can, I., & Deac, I. (2013). Numerical modeling of CFD model applied to a hammer mill. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 70(1), 273-282. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-agr:9338>
- Dinas Komunikasi Informatika dan Statistik. (2021). Jumlah bank sampah dan volumenya per kelurahan di Kota Magelang. <https://datago.magelangkota.go.id/frontend/item-dda?item=1002>
- Donzé, V., Richefeu, V., & Magnier, S.-A. (2015). *Advances in discrete element method applied to soil, rock and concrete mechanics*. October 20.
- Donzé, V., Richefeu, V., & Magnier, S.-A. (2015). *Advances in discrete element method applied to soil, rock and concrete mechanics*. October 20.
- Gomez, R. (2022). Depackaging apparatus with improved cleaning. *U.S. Patent B2* (11,376,603), 1-18.
- Hong, Y., Zou, J., Ge, G., et al. (2017). Finite element modeling simulation-assisted design of integrated microfluidic chips for heavy metal ion stripping analysis. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(41). <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa84a3>
- Hu, L., Zhu, H., & Hua, J. (2021). DEM simulation of energy transitions in a hammer mill: Effect of impeller configurations, agitation speed, and fill level. *Powder Technology*, 394, 1077-1093. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.090>

- Irawan, D., & Silaen, A. F. A. (2020). Perencanaan rancangan mesin hammer mill untuk proses produksi pupuk organik dengan kapasitas 400 kg/jam. *Majalah Teknik Simes*, 14(2), 24-29.
- Irawan, M. B., Baderan, D. W. K., & Hamidun, M. S. (2025). Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah di Kota Gorontalo. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 3(3), 72–79. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i3.860>
- Jalaluddin, J., Akmal, S., ZA, N., & Ibrahim, I. (2020). Analisa laju korosi baja karbon ST-37 dalam larutan asam sulfat dengan penambahan inhibitor ekstrak daun tembakau. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i2.2682>
- Khalisah Pieter, N., & Zakiyayasin Nisa', S. Q. (2025). Analisis perhitungan timbulan sampah rumput di area perusahaan migas. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 3(3), 01–06. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i3.846>
- Kurniawan, S., & Kusnayat, A. (2017a). Perancangan hammer pada mesin hammer mill menggunakan metoda discrete modelling untuk meningkatkan kehalusan penggilingan kulit kopi. *E-Proceeding of Engineering*, 4(2), 2681-2688. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i04.223>
- Kurniawan, S., & Kusnayat, A. (2017b). Perancangan hammer pada mesin hammer mill menggunakan metoda discrete element modelling untuk meningkatkan kehalusan penggilingan kulit kopi. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(04), 21. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i04.223>
- Li, H., Jiang, S., Zeng, R., Geng, J., & Niu, Z. (2024). Numerical simulation and analysis of the airflow field in the crushing chamber of the hammer mill. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02187>
- Mulyati, B., Ilmi, Y. F., & Basri, A. (2023). Sosialisasi pengelolaan sampah sebagai upaya peningkatan peran masyarakat dalam mengelola sampah di Kota Serang. *BANTENESE: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(1), 26-34. <https://doi.org/10.30656/ps2pm.v5i1.6285>
- Nasrun, M., & Sujianto, S. (2020). Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 249. <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9075>
- Ojomo, O. A., & Fawohunre, A. J. (2020). Development of a hammer mill with double sieving screens. *European Journal of Engineering Research and Science*, 5(5), 617-621. <https://doi.org/10.24018/ejers.2020.5.5.1763>
- Putri, H. M., & Zakiyayasin Nisa', S. Q. (2025). Analisis timbulan sampah vegetasi semak belukar dari pemeliharaan rutin dengan metode sampling. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 3(3), 07–12. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i3.847>
- Rusydan, M., Tugas, A., & Halim, A. (2026). Optimasi penggunaan pondasi micropile sebagai pondasi mesin turbin: Studi kasus pabrik gula Candi Baru Sidoarjo. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 4(1), 111–120. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v4i1.1336>

Suastawa, I. W., & Adi, I. K. (2023). Perbaikan dan perawatan mesin-mesin pengolahan sampah di TPS3R Desa Kesiman Kertalangu. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 1(9), 2113-2122. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v1i9.475>