

**PERANCANGAN *HAMMER* PADA MESIN *HAMMER MILL* MENGGUNAKAN
METODA *DISCRETE ELEMENT MODELLING* UNTUK MENINGKATKAN
KEHALUSAN PENGGILINGAN KULIT KOPI**

***THE DESIGN OF HAMMER ON HAMMER MILL MACHINE USING DISCRETE
ELEMENT MODELLING METHOD TO INCREASE THE FINENESS OF COFFEE HUSK
MILLING***

Septi Kurniawan¹, Agus Kusnayat,S.T.,M.T.²

^{1,2}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹septi.kurniawang@gmail.com, ²agus_kusnavat@yahoo.com

Abstrak

Hammer mill merupakan alat pengecilan ukuran bahan karena adanya tumbukan yang terus menerus antara bahan yang dimasukkan dengan *hammer* yang berputar pada kecepatan tinggi. Kinerja penggilingan *hammer mill* diteliti menggunakan *discrete element modelling* (DEM) melalui rancangan eksperimen simulasi sehingga lingkungan simulasi virtual untuk mendapatkan pemahaman mendasar mengenai pengaruh desain *hammer* terhadap perubahan hasil penggilingan. Model simulasi disusun berdasarkan sistematika *design of experiment* untuk mengetahui rancangan *hammer* yang memberikan nilai respon terbesar berdasarkan faktor yang paling signifikan. Simulasi yang dilakukan menghasilkan nilai energi yang hilang pada partikel kulit kopi saat terjadinya tabrakan dengan *hammer* yang menggambarkan terjadinya perpecahan partikel di dalam penggilingan. Tujuan dari studi ini adalah untuk menentukan rancangan *hammer* yang baru atau perbaikan rancangan *hammer* sebelumnya agar dapat meningkatkan kehalusan penggilingan kulit kopi. Rancangan simulasi yang dijalankan menyimpulkan desain *hammer* dengan menambahkan ketebalan serta menambah mata pisau menghasilkan rata-rata nilai respon terbesar yaitu 826,88 J. Faktor menambah ketebalan menjadi faktor yang paling signifikan terhadap perpecahan partikel kulit kopi dengan nilai pengaruh sebesar 356,41 J.

Kata kunci : *hammer mill, hammer, energy loss, perpecahan partikel, discrete element method, design of experiment*

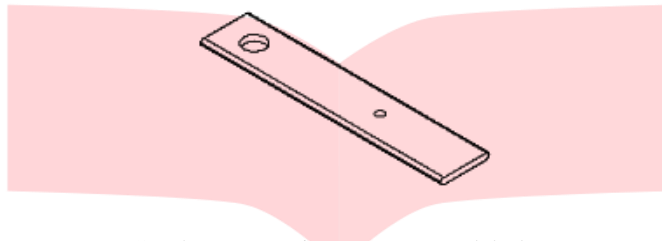
Abstract

Hammer mill is a material size reduction tool because of the continuous collision between the material inserted with a hammer that rotates at high speed. The performance of hammer mill was investigated using discrete element modeling (DEM) through simulation experiment design so that virtual simulation environments could be developed to gain a fundamental understanding of the effect of hammer design on changes in milling results. The simulation model is based on the systematic design of experiment to find out the hammer design that gives the largest response value based on the most significant factor. The simulations performed resulted in the energy loss value of coffee husks particle during the collision with a hammer describing the occurrence of particle breakage within the mill. The purpose of this study was to determine the new hammer design or improvement of previous hammer design in order to improve the fineness of coffee husks milling. The simulated design that was executed concluded the design of the hammer by adding thickness and adding the blade give the average of the greatest response value of 826.88 J. The adding thickness factor become the most significant factor to the breakage of coffee husks particle with an effect size is 356.41 J.

Keywords: hammer mill, hammer, energy loss, particle breakage, discrete element method, design of experiment

1. Pendahuluan

Hammer mill digunakan sebagai alat giling bahan pada industri pertanian, perumahan, dan peternakan khususnya penggilingan bahan pakan ternak. Penggilingan terjadi karena adanya tumbukan antara bahan yang dimasukkan dengan *hammer* yang berputar di dalam *hammer mill*. Kendala yang ditemukan adalah *hammer mill* yang digunakan sekarang belum mampu menghasilkan produk dengan ukuran yang lebih halus sehingga perlu dilakukan upaya meningkatkan kehalusan produk yang dihasilkan dari penggilingan di *hammer mill*. Ukuran, jumlah, desain, dan susunan *hammer* sangat penting untuk mendapatkan ukuran partikel yang diinginkan. Penempatan dan desain *hammer* ditentukan berdasarkan parameter operasi seperti kecepatan putaran *rotor*, tenaga mesin, serta area terbuka di saringan (Hoque, Sokhansanj, Naimi, Bi, & Lim, 2007). Diperlukan kajian pada kinerja *hammer mill* terhadap perubahan desain *hammer* yang digunakan dalam melakukan penggilingan bahan. Desain *hammer* terdahulu dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Desain *Hammer* Terdahulu

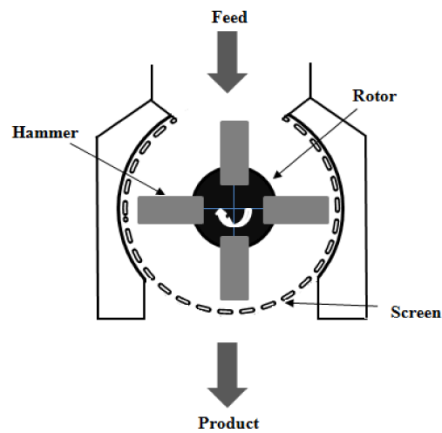
Steinbach dan Raymond (2000) telah melakukan suatu evaluasi penggunaan *hammer* dengan melibatkan 4 faktor yang harus dipertimbangkan yaitu kekuatan, kapasitas, run time, dan jumlah gaya yang disampaikan. Upaya yang dilakukan dalam mempertimbangkan 4 hal tersebut adalah dengan mengubah desain hanya pada bagian ujung *hammer*. Pengembangan tersebut berupa menambah ketebalan, menerapkan pengelasan, serta membagi 2 mata pisau *hammer* bagian. Berdasarkan permasalahan yang sudah dijelaskan, dilakukan suatu percobaan untuk dapat mengetahui kinerja *hammer* berdasarkan perbedaan desain *hammer* yang digunakan. Pada studi ini percobaan dilakukan dengan mengembangkan model simulasi kinerja *hammer* dalam melakukan penggilingan bahan *granular*. Dengan menggunakan metode *discrete element method*, dapat dilakukan suatu simulasi dan analisis terhadap interaksi bahan dalam jumlah banyak dengan suatu peralatan dalam berbagai kondisi operasi dan proses. Percobaan simulasi yang dilakukan dirancang berdasarkan sistematika *design of experiment* sehingga data *input* dan *output* percobaan simulasi dapat dikumpulkan dan kesimpulan yang benar didapatkan setelah melakukan tahapan-tahapan sistematis dalam melakukan percobaan. Berdasarkan penjelasan tersebut didapatkan suatu *desain hammer* baru dalam rangka meningkatkan kehalusan penggilingan bahan pakan yang didapat melalui rancangan percobaan simulasi.

2. Dasar Teori dan Metodologi Studi

2.1 Dasar Teori

1) Penggilingan Bahan pada *Hammer mill*

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). *Schematic drawing* dari penggilingan di dalam mesin *hammer mill* dapat dilihat pada Gambar 2. 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.



Gambar 2. *Schematic Drawing* Penggilingan Bahan di dalam *Hammermill* (Dabbour, 2015)

2) *Discrete Element Method (DEM)*

DEM merupakan suatu teknik komputasi yang memungkinkan simulasi dan analisis tentang bagaimana suatu bahan berupa butiran dalam jumlah banyak akan berinteraksi dengan peralatan dalam berbagai kondisi dan proses. DEM telah terbukti menjadi alat yang berguna untuk memodelkan proses tumbukan, memberikan informasi yang berguna mengenai pemanfaatan energi. *Discrete element method* dapat diidentifikasi secara tepat sebagai pendekatan diskrit yang memiliki kemampuan untuk menghitung secara numerik pemindahan dan rotasi partikel serta secara otomatis melakukan deteksi kontak untuk perakitan partikel (DEM Solutions Ltd., 2016). Dengan menggunakan algoritma deteksi kontak dan menerapkan model kontak yang sesuai, perangkat lunak DEM mampu menghitung gaya yang bekerja pada partikel. Model pada DEM menghasilkan partikel yang dicirikan oleh sifat fisik dan mekanik material yang diteliti berdasarkan parameter masukan yang diberikan pada model (Patwa, 2012). Energi yang hilang dalam tumbukan merupakan informasi yang dapat digunakan dalam pemodelan pemecahan partikel. Dalam kasus tumbukan elastis, teori kontak pada DEM menunjukkan bahwa perpecahan energi yang terkait dengan deformasi lokal bergantung kepada sifat elastis atau kekakuan dari benda yang bersentuhan (Da Cunha, De Carvalho, & Tavares, 2013)

3) *Design of Experiment (DOE)*

Design of experiment (DOE) mengacu kepada proses perencanaan, perancangan, dan analisis eksperimen sehingga kesimpulan yang valid dan objektif dapat ditarik secara efektif dan efisien. DOE mengusulkan desain eksperimen yang terbagi-bagi (fraksional) yang membantu menyelidiki berbagai faktor dengan memvariasikannya secara bersamaan dan atau hanya mengubah satu faktor pada satu waktu. Desain yang dijalankan memungkinkan estimasi kepekaan terhadap masing-masing faktor dan juga efek gabungan dari dua faktor atau lebih. Variabel input pada eksperimen disebut faktor, dan ukuran kinerja yang dihasilkan dari eksperimen disebut respon (Andrisano, Gherardini, Leali, Pellicciari, & Vergnano, 2011). Secara umum tujuan dari *design of experiment* dibagi menjadi beberapa poin (Sidi et al., 2013) yaitu menentukan variabel *input* (faktor) yang berpengaruh terhadap respon, menentukan variabel input yang membuat respon mendekati nilai yang diinginkan dan menentukan variabel input yang menyebabkan variasi respon kecil. Proses yang paling penting dari DOE adalah menentukan variabel *independen* dimana sejumlah percobaan akan dilakukan (Kim, Cho, Seo, & Lee, 2008). DOE melibatkan pengetahuan tentang beberapa variabel masukan (faktor) dan variabel keluaran (respon). Pemilihan dan pengaturan kombinasi faktor dilakukan di dalam DOE yang dinamakan desain faktorial. Setiap faktor dan kombinasi faktor diuji untuk mengetahui faktor mana yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap nilai respon.

2.2 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan berdasarkan pengembangan model simulasi dari *discrete element method*. Model dan sifat partikel didefinisikan di dalam *software* simulasi. *Hammer* yang disusun pada rotor dimasukkan setelah dimodelkan melalui *computer aided design (CAD)* dan parameter-parameter proses penggilingan didefinisikan sebelum model simulasi dijalankan. Sistematika DOE berperan dalam menyusun rangkaian simulasi yang dijalankan berdasarkan pada faktor-faktor perancangan *hammer* yang sudah ditentukan. Setelah didapatkan variabel-variabel menyangkut tujuan dari percobaan, ditentukan faktor dan rancangan faktor yang relevan. Simulasi dijalankan mengikuti rancangan faktorial sehingga data yang didapatkan dapat dikumpulkan secara sistematis untuk dilakukan analisa hingga didapatkan kesimpulan yang benar yaitu desain yang menghasilkan nilai respon terbesar dan faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai respon.

3. Pembahasan

3.1 Rancangan Percobaan

Faktor-faktor *design of experiment* pada rancangan ujung *hammer* adalah menambah ketebalan, menerapkan pengelasan, dan membelah sebagian ujung pada *hammer*. Setiap faktor digabungkan menjadi serangkaian rancangan

faktorial. Pada studi ini terdapat 3 faktor dengan masing-masing 2 level sehingga didapatkan 8 percobaan berdasarkan faktor dan interaksi antar faktor. Rancangan faktorial dengan 3 faktor dan 2 level ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel1 Rancangan faktorial 3 faktor dengan 2 level.

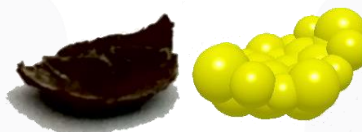
Menambah Ketebalan	Menerapkan Pengelasan	Menambah Mata Pisau
A	B	C
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

keterangan:

0 tidak diterapkan
1 diterapkan

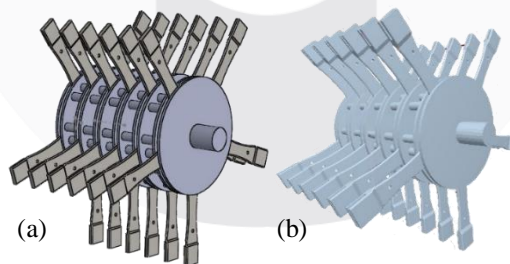
3.2 Simulasi *Discrete Element Method*

Simulasi DEM dilakukan menggunakan *software* komersial *EDEM* (v 2.7, DEM Solutions Ltd., Edinburgh, UK). Langkah pertama dalam memulai simulasi *discrete element method* adalah memodelkan partikel yang akan diamati. Pada studi ini, partikel yang menjadi objek simulasi adalah kulit kopi yang merupakan bahan utama dari pakan ternak yang digiling pada *hammer mill* di lapangan. Kulit kopi dimodelkan dengan bola-bola yang disusun secara tumpang tindih hingga menyerupai bentuk, dan ukuran aslinya. Sifat mekanika dari partikel kulit kopi didefinisikan pada simulasi diperoleh melalui prosedur GEMM (*Generic EDEM Material Model*) database yang disediakan oleh *software* *EDEM*. Pemodelan kulit kopi dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Pemodelan partikel kulit kopi pada EDEM 2.7

Rotor *hammer mill* didefinisikan sebagai *geometry* pada pemodelan simulasi *EDEM* yang akan berputar melakukan penggilingan terhadap partikel kulit kopi. *Geometry* di-import berupa format file ekstension .STL setelah dimodelkan pada *software* CAD yaitu *Solidworks* (v 2015, *Dassault Systemes., United States*). Bentuk dan dimensi dari rotor didapatkan setelah melakukan pengukuran di lapangan. Gambar 5 merupakan model rotor *hammer mill* pada *SolidWorks* dan *EDEM 2.7*.



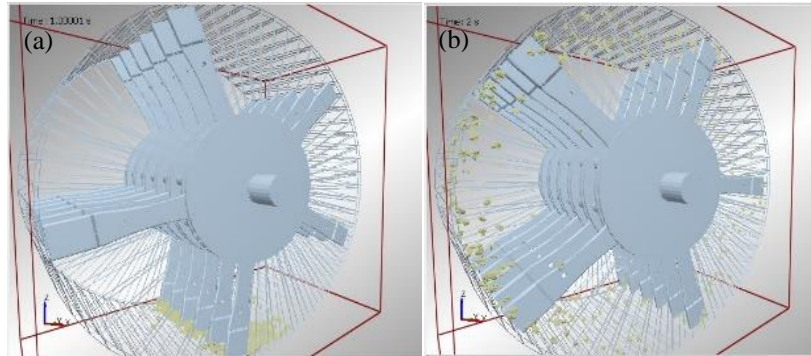
Gambar 5. *Geometry hammermill*. (a) *SolidWorks 2015*; (b) *EDEM 2.7*

Nilai dari sifat mekanika material *steel*, material pengelasan, dan kulit kopi didefinisikan terlebih dahulu sebelum menjalankan simulasi pada *software* *EDEM 2.7*. Material las yang diterapkan pada ujung *hammer* adalah material metalik yang tahan terhadap abrasi dan aus yaitu *tungsten carbide*. Nilai sifat mekanika dari *steel* dan *tungsten* didapatkan dari *database SolidWorks material*. Sifat-sifat yang ditetapkan adalah massa jenis, *poissons ratio*, dan *shear modulus*. Nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 3. Nilai sifat mekanika material

Material	Massa jenis, kg/m ³	<i>Poissons ratio</i>	<i>Shear Modulus, Pa</i>
Kulit kopi	260	0,2	1x10 ⁷
<i>Steel</i>	7800	0,3	7x10
<i>Tungsten carbide</i>	19000	0,28	16x10 ¹¹

Tujuan utama dari model yang dijalankan adalah untuk mensimulasikan proses penggilingan atau pengurangan ukuran partikel kulit kopi. Jumlah partikel dan area simulasi dibatasi menyesuaikan dengan kemampuan *processor* komputer yang digunakan. Pada studi ini, sebanyak 500 partikel kulit kopi dimasukkan dengan putaran *hammer* 500rpm dalam waktu 3 detik. Peristiwa pemecahan partikel digambarkan menggunakan parameter banyaknya energi yang hilang yang dialami oleh partikel kulit kopi selama penggilingan berjalan.



Gambar 6. Simulasi penggilingan. (a) sebelum penggilingan dimulai; (b) saat proses penggilingan

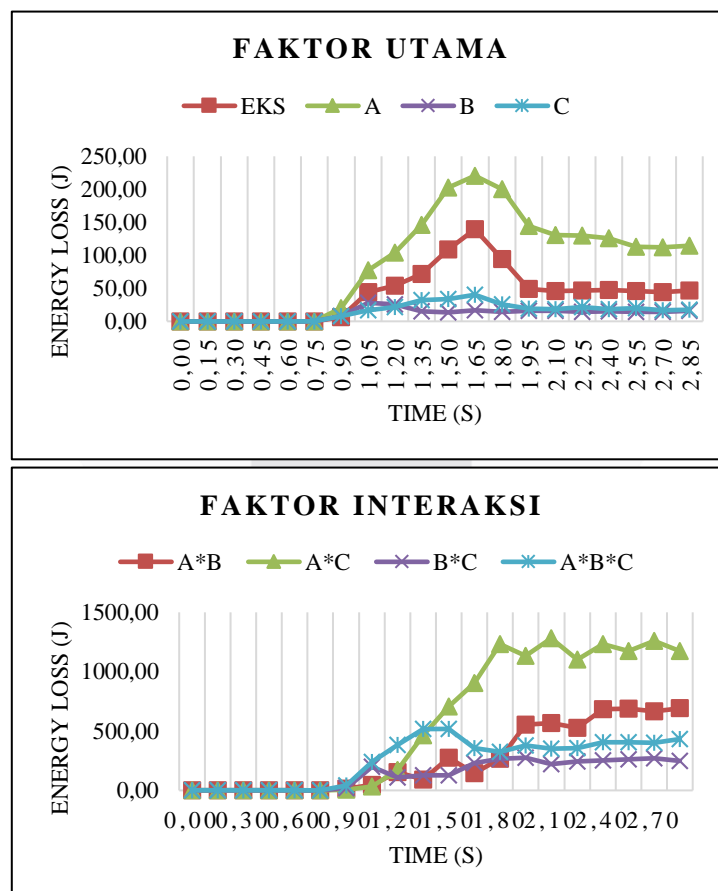
3.3 Analisis Hasil Eksperimen

Analisis dilakukan untuk mengetahui faktor dan interaksi faktor yang memberikan pengaruh paling besar. Nilai respon yang didapatkan dari simulasi yang dijalankan ditunjukkan pada tabel 3 dibawah ini. Energi karena tumbukan, yaitu energi yang hilang yang terjadi di dalam *hammer mill* dianalisis sebagai berikut. Nilai respon eksperimen adalah rata-rata *energy loss* yang dialami oleh partikel dalam waktu 3 detik penggilingan. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan data rata-rata *energy loss* partikel dari masing-masing desain *hammer*:

Tabel 3. Nilai respon simulasi eksperimen

Eksperimen No.	Faktor			Total Energy Loss (J)
	A	B	C	
1	0	0	0	60,27
2	0	0	1	22,07
3	0	1	0	16,15
4	0	1	1	203,87
5	1	0	0	131,59
6	1	0	1	826,88
7	1	1	0	383,03
8	1	1	1	364,88

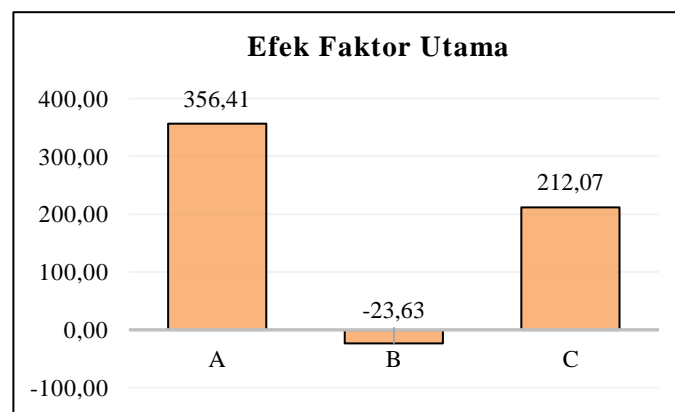
Rancangan *hammer* nomor enam yaitu *hammer* dengan interaksi faktor A dan C (menambah mata pisau serta menambah ketebelannya) menghasilkan nilai respon paling tinggi yaitu 826,88 J. Hal ini menandakan sebagian besar hasil penggilingan yang halus dihasilkan menggunakan rancangan *hammer* dengan interaksi faktor A dan C dibandingkan enam rancangan *hammer* lainnya. Saat kondisi operasi dimana butiran kulit kopi digerakkan oleh *hammer* yang berputar di dalam *hammer mill*, kehilangan energi yang terkait dengan terjadinya tumbukan dicatat oleh perangkat lunak *EDEM*. *Energy loss* selama terjadinya tumbukan di dalam *hammer mill* dianalisis lebih rinci sebagai berikut. Perubahan *energy* selama penggilingan dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7. Energy Loss selama 2 Detik Penggilingan

Gambar V.1 menunjukkan perubahan *loss of collision energy* untuk partikel kulit kopi terhadap waktu penggilingan di *hammer mill* untuk faktor utama dan faktor interaksi. Kenaikan nilai *loss energy* dimulai dari detik 1 karena rotor *hammer mill* berputar setelah simulasi berjalan 1 detik. Saat *hammer mill* mencapai kondisi yang stabil, tingkat *loss energy* juga menjadi seragam dan mencapai keadaan stabil. Faktor A yaitu menambah ketebalan pada ujung *hammer* memberikan tumbukan yang paling besar sebagaimana hasilnya *hammer* dengan faktor A menghasilkan *loss energy* yang lebih tinggi daripada faktor lainnya. Untuk desain *hammer* dengan faktor interaksi, interaksi faktor A dengan C yaitu menambah ketebalan serta menambah mata pisau memberikan tumbukan yang paling besar dibandingkan dengan interaksi faktor lainnya. Penggilingan mencapai kondisi stabil setelah penggilingan berjalan 2 detik.

Analisa efek dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh setiap faktor terhadap semua nilai respon. Efek dari setiap faktor merupakan selisih dari rata-rata nilai yang dikumpulkan pada penerapan faktor dengan rata-rata nilai yang dikumpulkan jika faktor tersebut tidak diterapkan. Nilai efek dari setiap faktor utama dan faktor interaksi disajikan pada diagram batang berikut:

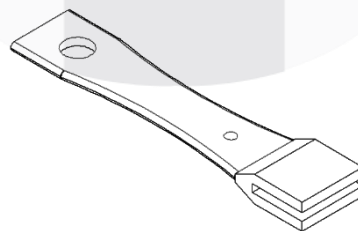


Gambar 8. Efek Faktor Utama

Berdasarkan pada Gambar 8 dapat diketahui bahwa faktor A yaitu menambah ketebalan pada ujung *hammer* memiliki nilai efek terbesar dibandingkan dengan faktor lainnya. Selisih nilai respon antara diterapkan dengan tidak diterapkannya faktor A adalah 356.41 J. Dibandingkan dengan faktor B yaitu menerapkan pengelasan pada ujung *hammer*, nilai efek yang dihasilkan adalah -23.63 J dan faktor C yaitu menambah mata pisau, nilai efek yang dihasilkan adalah 212.07 J. Faktor B yaitu menerapkan pengelasan memberikan efek yang negatif dikarenakan kehadiran faktor B memberikan nilai respon yang tidak lebih baik dibandingkan dengan ketidakhadirannya. Sehingga dengan ini faktor A merupakan faktor yang paling signifikan terhadap kehalusan penggilingan kulit kopi menggunakan *hammer mill*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan nilai respon yang sudah didapatkan melalui simulasi DEM, didapatkan bahwa *hammer* dengan rancangan kombinasi faktor A dan C yaitu menambah mata pisau dan menambah ketebalannya memberikan nilai respon terbesar dibandingkan 6 desain *hammer* lainnya yaitu dengan rata-rata nilai *energy loss* sebesar 826,88 J. Rancangan *hammer* dengan kombinasi faktor A dan C digambarkan pada Gambar 9 berikut:



Gambar 9. Rancangan *Hammer* Terpilih

Sistematika *design of experiment* (DOE) diterapkan pada studi ini untuk mengetahui faktor manakah yang paling signifikan diantara faktor-faktor rancangan *hammer* yang sudah ditentukan. Didapatkan bahwa faktor A yaitu menambah ketebalan merupakan faktor yang paling signifikan terhadap nilai respon yang dihasilkan dengan nilai efek sebesar 356.41J.

Daftar Pustaka:

- [1] Andrisano, a O., Gherardini, F., Leali, F., Pellicciari, M., & Vergnano, a. (2011). Design Of Simulation Experiments method for Injection Molding process optimization. *Proceedings of the IMProVe*, 11. Retrieved from http://www.improve2011.it/Full_Paper/152.pdf
- [2] Dabbour, M., Bahnasawy, A., & El-Haddad, Z. (2015). Grinding Parameters and their Effects on the Quality of Corn for Feed Processing. *Food Processing & Technology*, 6(9). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000482>
- [3] Da Cunha, E. R., De Carvalho, R. M., & Tavares, L. M. (2013). Simulation of solids flow and energy transfer in a vertical shaft impact crusher using DEM. *Minerals Engineering*, 43–44, 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.09.003>
- [4] DEM Solutions Ltd. (2016). EDEM 2.7 User Guide, 1–144.
- [5] Hoque, M., Sokhansanj, S., Naimi, L., Bi, X., & Lim, J. (2007). Review and analysis of performance and productivity of size reduction equipment for fibrous materials. *ASABE Meeting Presentation*, 300(7), 1–18. <https://doi.org/10.13031/2013.23342>
- [6] Kim, D.-W., Cho, M.-W., Seo, T., & Lee, E.-S. (2008). Application of Design of Experiment Method for Thrust Force Minimization in Step-feed Micro Drilling. *Sensors*, 8(1), 211–221. <https://doi.org/10.3390/s8010211>
- [7] Patwa, A. (2012). Discrete Element Method Model of the First Break Wheat Milling, 108.
- [8] Roger, L. (1984). Effects of prebreaking on the efficiency of hammermill particle size reduction systems in feed manufacturing.
- [9] Sidi, P., Wahyudi, M. T., Teknik, J., Kapal, P., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2013). Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut Cnc, 4(2), 101–108.
- [10] Steinbach, A. J., & Raymond, J. (2000). United States Patent, 2(12). [https://doi.org/10.1074/JBC.274.42.30033.\(51\)](https://doi.org/10.1074/JBC.274.42.30033.(51))