



# SEMINAR NASIONAL FISIKA 2021

UNIVERSITAS MULAWARMAN

<http://fisika.fmipa.unmul.ac.id/>

## Desain dan Aplikasi Alat Pemisah Granular Pangan Berdasarkan Fenomena Aliran Vorteks

Rahmawati Munir<sup>1,\*</sup>, Handika Dany Rahmayanti<sup>2</sup>, Rahmiati<sup>3</sup>, Marwati<sup>4</sup>, Hamka<sup>5</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, Jalan Barong Tongkok No 4, Samarinda 75123 Indonesia

<sup>2)</sup> Politeknik Media Kreatif, Jalan Srengseng Sawah, DKI Jakarta (12630), Indonesia

<sup>3)</sup> Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA Universitas Mulawarman, Jalan Barong Tongkok No 4, Samarinda 75123 Indonesia

<sup>4)</sup> Program Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, Jalan Tanah Grogot, Samarinda 75123 Indonesia

<sup>5)</sup> Politeknik Negeri Pertanian, Jalan Samratulangi Samarinda 75131 Indonesia

\*E-mail korespondensi: rahma.mipaunmul@gmail.com

### Abstrak

Perkembangan teknologi dalam berbagai bidang terus melaju untuk mempermudah manusia dalam melakukan suatu pekerjaan. Salah satu hal yang menarik adalah teknologi pasca panen bagi para petani kita. Oleh karena itu pada penelitian ini dirancang alat pemisah granular pangan yang bertujuan untuk menyeleksi butiran pangan yang berkualitas berdasarkan fenomena aliran vorteks yang dibangkitkan oleh alat tersebut. Pada rancangan alat ini menggunakan gearbox dan motor servo untuk aktuator pendorong puli, tampi sebagai wadah granular pangan, plat sejajar dari bahan akrilik berbentuk lingkaran untuk memberi ruang bagi aliran vorteks, serta kamera slow motion untuk merekam proses pemisahan granular tersebut. Rancangan alat dibuat dalam dua model yaitu model tampi otomatis dan model pelat sejajar. Model tampi menyerupai gerak kedua lengan manusia di saat menampi, dengan dengan gerakan otomatis dan kecepatan berdasarkan spesifikasi gearbox. Model kedua dirancang dengan merangkai dua pelat akrilik dalam posisi sejajar berotasi, campuran granular dijatuhkan diantara kedua pelat tersebut pada saat sedang berputar. Kedua alat tersebut mampu memisahkan granular pangan melalui uji coba beberapa campuran granular pangan yang berbeda ukuran. Rancangan alat ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi alat yang lebih canggih dengan komponen yang murah dan mudah diperoleh di sekitar kita.

**Kata Kunci:** Granular Pangan, Aliran Vorteks, Alat Pemisah Granular

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin melaju seiring dengan perkembangan zaman untuk mempermudah berbagai pekerjaan manusia. Mulai dari teknologi sederhana hingga teknologi canggih telah mengiringi perkembangan peradaban manusia. Para peneliti terus melakukan inovasi untuk menciptakan peralatan yang bisa mengubah metode kuno menjadi lebih modern dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Salah satu hal yang menarik dan penting adalah dalam bidang pertanian, mengingat negara Indonesia adalah negara agraris yang sebagian besar masyarakatnya hidup dari bertani. Banyak alat canggih dalam bidang pertanian yang telah ada hingga saat ini seperti alat untuk menanam, alat untuk memanen hingga alat pasca panen. Salah satu inovasi yang bisa dilakukan adalah pada tahapan pasca panen terkhusus untuk hasil pertanian berbentuk granular. Tujuannya adalah untuk memisahkan granular pangan dari butiran yang

berkualitas dengan butiran yang tidak berkualitas sebelum dilempar ke pasaran. Metode sederhana telah dilakukan para petani kita, sejak dahulu untuk memisahkan beras dari kulit gabah serta memisahkan biji padi yang berisi dengan yang tak berisi adalah dengan cara menampi. Metode menampi beras merupakan bagian dari tahapan proses budidaya pascapanen padi di Indonesia, Nigeria, China dan lain-lain untuk menghasilkan beras berkualitas [1], [2], [3].

Pada penelitian ini diusulkan rancangan alat sederhana yang dapat digunakan sebagai pemisah granular pangan dengan berdasarkan mekanisme yang melibatkan proses fisika yaitu fenomena aliran vorteks pada saat menampi. Vorteks menghasilkan percepatan yang berbeda terhadap butiran dengan ukuran atau kepadatan berbeda sehingga butiran yang berbeda bergerak di jalur yang berbeda pula. Butiran dengan ukuran yang berbeda sedikit terpisah pada permukaan tampi. Dengan mengulangi ayunan tampi, butiran dengan ukuran berbeda memisah secara progresif dan akhirnya dapat terkumpul secara terpisah dari permukaan tampi. Fenomena ilmiah ini yang menjadi dasar rancangan alat sederhana untuk menggantikan kegiatan menampi secara manual. Rancangan alat ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi alat yang lebih canggih dengan komponen yang murah dan mudah diperoleh di sekitar kita.

## TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan tampi dalam membangkitkan aliran udara dapat dilakukan baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Apabila digunakan di luar ruangan cukup dengan menjatuhkan padi mengikuti arah angin, maka hembusan angin yang bertiup dapat memisahkan padi yang berisi dan tak berisi. Namun, apabila dilakukan di dalam ruangan maka perlu tambahan gaya *flapping* yang dibangkitkan dengan mengayunkan tampi berulang – ulang hingga diperoleh pemisahan butiran yang diinginkan. Di sisi lain, menampi juga bisa dilakukan pada beras untuk memisahkan butiran beras besar dan kecil. Percepatan berbeda yang dialami oleh masing – masing butiran menghasilkan lokasi jatuhnya pada permukaan tampi yang berbeda pula. Secara umum, lokasi jatuhnya butiran bergantung pada ukuran dan densitas butiran. Kedua butiran tersebut mengalami perubahan posisi dari keadaan sebelumnya setelah menyentuh permukaan tampi. Butiran padi yang tidak berisi ataupun butiran beras kecil akan terlempar jauh ke tepi tampi depan ataupun bahkan keluar dari tampi karena percepatan besar disertai gaya yang besar dan massa kecil [4],[5],[6].

Dari perspektif modern, pemisahan butiran dengan menampi dapat dengan mudah dipahami, terutama prosesnya memperhitungkan aliran udara linier. Pada bilangan Reynold rendah (kecepatan rendah atau dimensi rendah), gaya gesek yang bekerja pada butiran dengan aliran udara memenuhi  $f_D \propto Av$  dengan A adalah penampang butiran dan v adalah kecepatan butiran relatif terhadap udara [7],[8]. Percepatan dialami oleh masing – masing butiran adalah  $a \propto Av/m$  dengan m adalah massa butiran. Karena penampang butiran padi yang terisi dan yang tak berisi hampir sama, maka percepatan sebagian besar dikendalikan oleh massa masing – masing butiran. Massa butiran kosong lebih kecil dari massa yang terisi sehingga butiran yang kosong akan mendapatkan percepatan yang lebih tinggi dan terlempar lebih jauh[4],[5],[6].

Pada dasarnya mekanisme menampi beras terdengar ilmiah, meskipun belum pernah didokumentasikan oleh masyarakat sebelumnya. Mekanisme ini melibatkan proses fisika, mulai dari menghasilkan vorteks dengan mengayunkan tampi. Vorteks menghasilkan percepatan yang berbeda terhadap butiran dengan ukuran atau kepadatan berbeda sehingga butiran yang berbeda bergerak di jalur yang berbeda pula. Butiran dengan ukuran yang berbeda sedikit terpisah pada permukaan tampi. Dengan mengulangi ayunan tampi, butiran dengan ukuran berbeda memisah secara progresif dan akhirnya dapat terkumpul secara terpisah dari permukaan tampi.

Hal yang paling menarik dikaji dalam mekanisme segregasi granular dengan menggunakan metode tradisional menampi adalah fenomena aliran fluida berbentuk vorteks yang menjadi faktor penting dalam prosesnya. Aktivitas mengayunkan tampi membangkitkan pusaran vorteks diantara campuran granular baik yang berbeda ukuran maupun berbeda densitas. Diskusi tentang gerakan partikel dalam vorteks dua dimensi telah dilaporkan oleh Lecuona dkk, 2002 [9]. Mereka

mengukur lintasan partikel kecil (ukuran sekitar 1  $\mu\text{m}$ ) dan rasio densitas antara fluida dan partikel pada kisaran orde  $10^{-3}$ . Rasio densitas ini sebanding dengan udara dan butiran beras. Simulasi menampi beras menggunakan instrumen telah dilaporkan oleh Shrestha dkk, 2017[10], tetapi hanya berfokus pada menampi di ruang terbuka dengan menerapkan gesekan udara sederhana ke butiran beras. Namun beberapa penelitian yang telah dikembangkan sebelumnya, mekanisme fisika yang mendasari proses menampi beras (ukuran butiran dalam milimeter) dengan mengayunkan tampi secara manual seperti yang ditemukan di seluruh dunia belum pernah dipublikasikan.

Fenomena gerak partikel dalam vorteks melalui ungkapan-ungkapan berikut yang didasarkan pada hukum-hukum Newton yang berlaku.

$$\vec{F}_{tot} = \vec{F}_g + \vec{F}_p + \vec{F}_s + \vec{F}_v \quad (1)$$

Dengan  $\vec{F}_{tot}$  gaya total yang bekerja pada partikel,  $\vec{F}_g$  adalah gaya gravitasi yang bekerja pada partikel tersebut,  $\vec{F}_p$  merupakan gaya akibat gradien tekanan yang menuju ke pusat lingkaran,  $\vec{F}_s$  adalah gaya sentrifugal yang mengarah keluar dan  $\vec{F}_v$  merupakan gaya gesekan terhadap udara. Sehingga dengan menurunkan persamaan untuk memperoleh percepatan aliran partikel dalam vorteks menjadi:

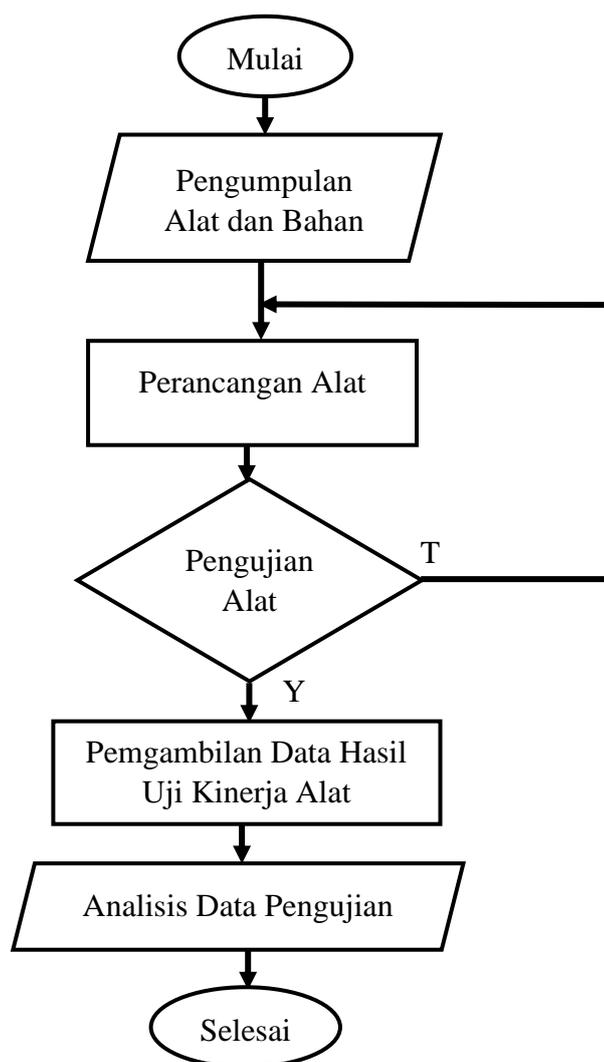
$$a_x = -\frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\rho}{\rho_p} \Omega^2 x + \frac{1}{4} \Omega \frac{(-yv_x + xv_y)^2 x}{(x^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{18\mu\rho}{d_p^2 \rho_p} (v_x + \Omega y / \sqrt{2}) \quad (2)$$

$$a_y = -g - \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\rho}{\rho_p} \Omega^2 y + \frac{1}{2} \Omega \frac{(-yv_x + xv_y)^2 y}{(x^2 + y^2)^{3/2}} - \frac{18\mu\rho}{d_p^2 \rho_p} (v_y - \Omega x / \sqrt{2}) \quad (3)$$

Metode lain untuk memisahkan beras berdasarkan perbedaan ukuran yang juga telah dipraktikkan oleh masyarakat lama adalah dengan agitasi. Campuran biji-bijian ditempatkan dalam wadah dan kemudian dengan memberikan gaya pendorong eksternal (biasanya dalam arah vertikal). Butiran-butiran dengan ukuran yang berbeda terpisah menjadi beberapa bagian di wadah tersebut. Banyak penelitian telah melaporkan mengenai fenomena ini, baik secara teoritis maupun eksperimental [11],[12],[13]. Pemisahan juga dapat dihasilkan dengan menerapkan osilasi horisontal. Secara umum, campuran butiran ditempatkan pada permukaan horisontal kasar (baki atau mangkuk) yang tipis. Butiran yang memiliki gravitasi spesifik dan karakteristik permukaan yang berbeda (seperti sekam padi dan padi) akan terpisah dengan memberikan gerak osilasi [14]. Namun, proses fisika yang mendasari mekanisme tersebut berbeda dari proses menampi.

## METODE PENELITIAN

Rancangan alat pemisah granular pangan dibuat dari komponen sederhana diantaranya *Gearbox* dan *Motor Servo*. *Gearbox* (1:25) berfungsi sebagai motor penggerak untuk rancangan model pertama. Alat penggerak untuk rancangan model kedua digunakan Dinamo servo mesin jahit/garment 550Watt merk Q-Cheering, model QLS-22-550D, voltase 220 Volt dan dengan kecepatan 0-4200 rpm. Tampi beras biasa yang digunakan sebagai wadah campuran granular yang akan dipisahkan dihubungkan dengan rangkaian alat. Pelat akrilik berbentuk lingkaran yang digunakan sebanyak dua dengan ukuran yang sama dipasang sejajar untuk memberi ruang aliran vorteks pada kedua pelat tersebut berputar. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putaran akrilik secara langsung. Kamera *slow motion high speed* (240 fps) digunakan untuk merekam proses terjadinya pemisahan granular pada saat pengujian kinerja alat. Adapun bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.

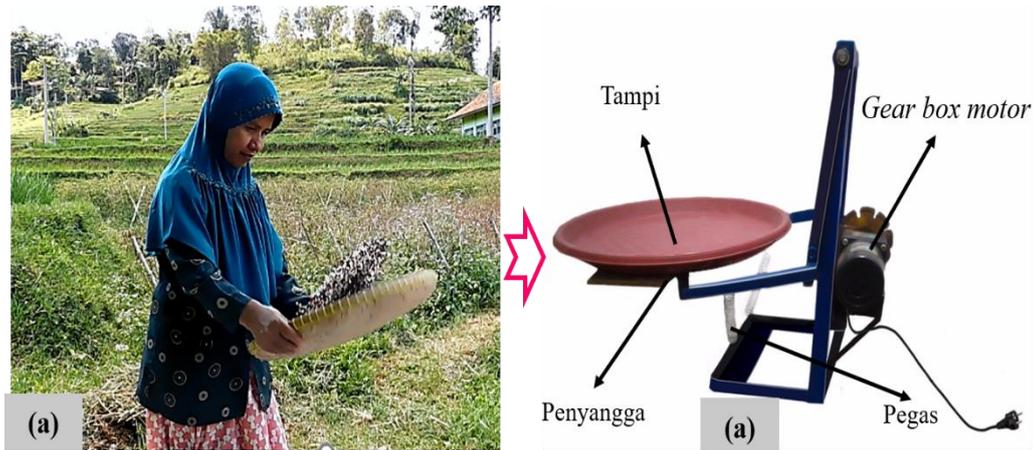


**Gambar 3.1 Bagan alir perancangan alat pemisah granular pangan.**

Tahapan mendesain alat diawali dengan melakukan pengumpulan alat dan bahan. Adapun alat dan bahan yang diperlukan berdasarkan peralatan sederhana yang komponennya mudah diperoleh di sekitar kita. Setelah melakukan percobaan menampi secara manual dan menyebabkan terjadinya pemisahan granular, maka dilanjutkan dengan merancang alat yang menyerupai gerak ayunan tangan.

### **Rancangan Model Menampi**

Melakukan eksperimen dengan menampi secara manual, tidak memungkinkan untuk mengontrol kecepatan ayunan tangan karena tidak konsisten. Hal ini menyulitkan untuk memperoleh data kuantitatif. Oleh sebab itu dilakukan perancangan alat sederhana yang menyerupai gerakan ayunan lengan manusia pada saat menampi. Desain alat menggunakan motor penggerak (gearbox 1:25) yang dipasang pada rangkaian alat dihubungkan dengan sumber listrik. Gearbox mendorong puli yang terhubung dengan tampi sehingga dorongan ini menyebabkan tampi bergerak berayun ke depan, naik dan turun. Pada bagian bawah tampi dipasang dudukan yang dihubungkan dengan 3 buah pegas ( $k = 15 \text{ N}$ ) berfungsi untuk memberikan gaya elastis yang lentur ketika tampi bergerak. Tampi bergerak menyerupai gerakan ayunan tangan secara manual.



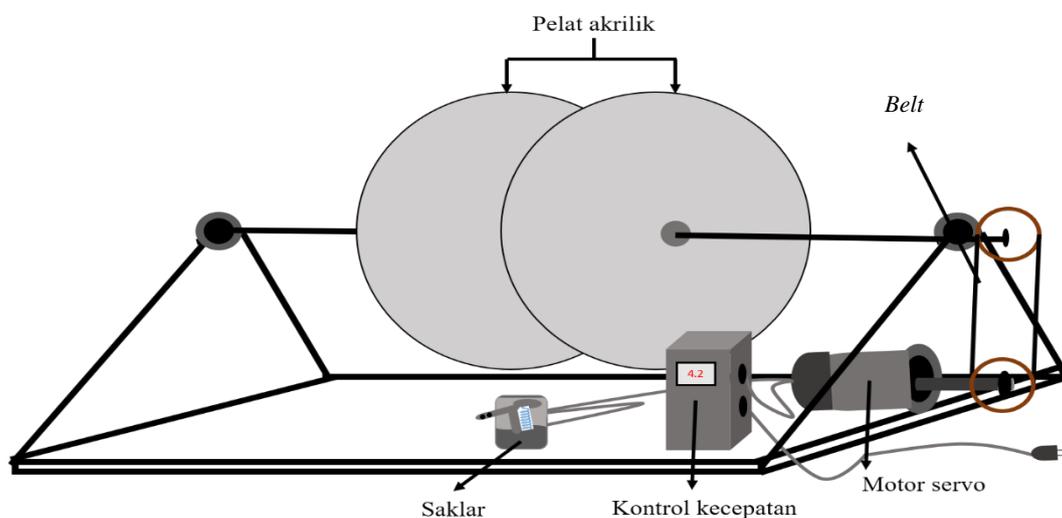
**Gambar 3.2 (a) Penduduk menampi, (b) Desain alat pemisah granular pangan model tampi.**

Gambar 3.2(a) adalah penduduk di daerah pedesaan yang menampi untuk memperoleh kualitas butiran beras yang lebih baik dengan memisahkannya dari butiran yang lebih kecil. Kebiasaan menampi hasil panen di kalangan petani sampai saat ini masih dilakukan di berbagai negara sebagai metode praktis dan murah untuk menghasilkan butiran yang bermutu sebelum dilempar ke pasaran (Kammen, 2008). Gerakan ayunan tangan penduduk menampi menjadi dasar untuk mendesain alat menampi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2(b).

Tahapan pengujian kinerja alat dilakukan dengan merangkai komponen pendukung yang meliputi 1 unit kamera (Nikon L840, 16 megapixel dan 30 fps) beserta tripod, media rekam berupa memory dan laptop dengan spesifikasi Intel Core I7. Perangkat lunak yang digunakan adalah OS Windows 10, video tracker dan microsoft office excel 2016. Pengambilan data dilakukan dengan meletakkan campuran granular ke wadah tampi.

### Rancangan Model Pelat Sejajar Berotasi

Desain kedua yang kedua yang dibuat terdiri dari plat transparan dari bahan akrilik dengan diameter 0,6 m dihubungkan oleh batang as yang panjangnya 1,5 m. Jarak antarplat adalah 0,1 m. Batang as dihubungkan dengan *van belt* yang terhubung ke motor penggerak yaitu dinamo servo mesin jahit/garment dengan kecepatan 0-4200 rpm. Adapun mekanik perancangan model pelat sejajar berotasi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4 Ilustrasi alat pemisah granular pangan model pelat sejajar berotasi**

Proses pemisahan granular dengan menggunakan model pelat sejajar berotasi yaitu pelat berputar yang digerakkan oleh sebuah motor servo dengan kecepatan yang bisa dikontrol. Seperti telah disebutkan di atas, bahwa rancangan alat ini menghasilkan pusaran udara, mirip dengan pusaran udara yang dihasilkan oleh ayunan tampi. Pemisahan butiran yang dihasilkan juga diamati dengan menggunakan butiran dari massa yang berbeda tetapi memiliki ukuran yang hampir sama untuk menyerupai pemisahan butiran beras dengan kulit gabah. Biji-bijian yang berat adalah kacang hijau sedangkan biji-bijian ringan adalah biji-bijian yang terbuat dari styrofoam. Rangkaian percobaan untuk melakukan pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Rangkaian percobaan untuk menguji kinerja rancangan model pelat sejajar berotasi**

Ketika plat berputar, campuran granular dijatuhkan pada empat titik di antara dua plat tersebut. Pembagian titik menjatuhkan campuran granular dilakukan dengan membagi empat sudut  $360^{\circ}$  menjadi masing-masing  $90^{\circ}$ , setiap titik terletak 23 cm dari pusat lingkaran. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang memadai dilakukan pengkalibrasian alat yang merupakan motor penggerak plat ini. Dengan mengasumsikan bahwa kecepatan motor penggerak sama dengan kecepatan putaran plat. Pada saat melakukan percobaan dilakukan pengkalibrasian dengan mengukur kecepatan rotasi plat dengan menggunakan Tachometer. Pengukuran dilakukan dengan menyentuh Tachometer pada plat yang sedang berputar. Hasil pengukuran cukup konsisten dengan kecepatan motor servo yaitu kisaran 800 rpm. Hal ini menguatkan asumsi bahwa kecepatan motor penggerak sama dengan kecepatan rotasi plat.

Pada saat menjatuhkan campuran granular, wadah tempat menampung butiran-butiran tersebut diberikan lem kertas yang berwarna transparan. Tujuannya agar setiap butiran yang jatuh tidak memantul atau berpindah tempat dan langsung melekat pada permukaan wadah. Hal ini sangat membantu dalam menghitung distribusi jumlah butiran yang jatuh di permukaan wadah tersebut. Pusaran vorteks yang dihasilkan oleh putaran kedua pelat telah memisahkan kedua campuran granular yang berbeda densitasnya namun ukuran tidak jauh berbeda. Warna yang kontras antara kedua campuran tersebut memudahkan dalam mengamati proses pemisahannya yang direkam dengan kamera digital *high speed* (240 fps). Posisi menjatuhkan campuran menentukan hasil segregasi granular. Hal ini juga memudahkan menganalisa pusat pusaran vorteks diantara kedua plat yang berputar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

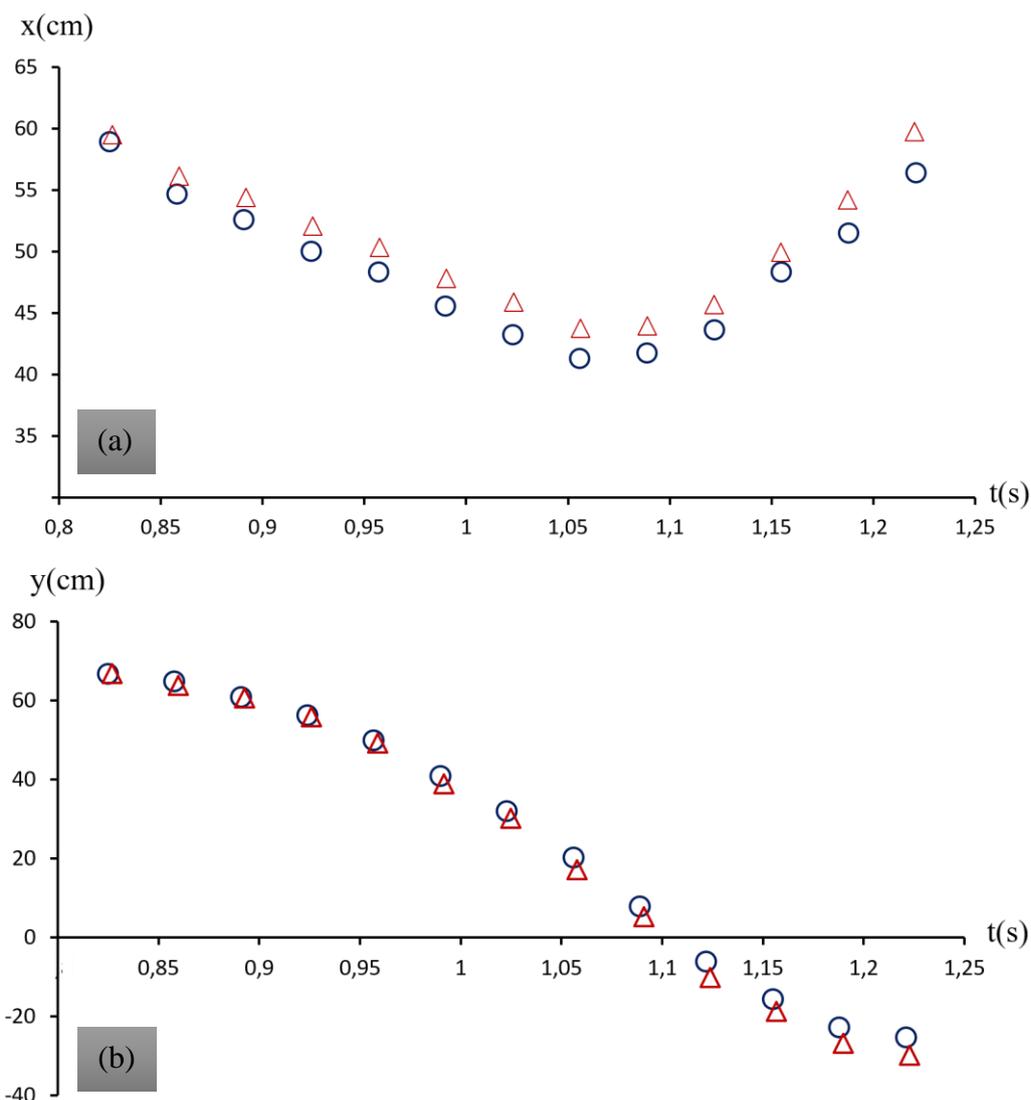
Beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan beberapa kali dan bervariasi campuran granular pangan untuk mendapatkan data-data dan bukti-bukti yang dapat dianalisa terhadap proses kinerja alat. Dalam pengujian alat ini menggunakan granular

pangan dengan ukuran diameter rata – rata setiap butiran adalah 4,76 mm (beras); 1,22 mm (selasih); 5,54 mm (kacang hijau); 8,88 mm (kacang kedelai); 4,40 mm (sagu mutiara) dan 7,70 mm (styrofoam). Adapun variasi campuran granular ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Variasi campuran granular yang yang digunakan dalam uji coba alat**

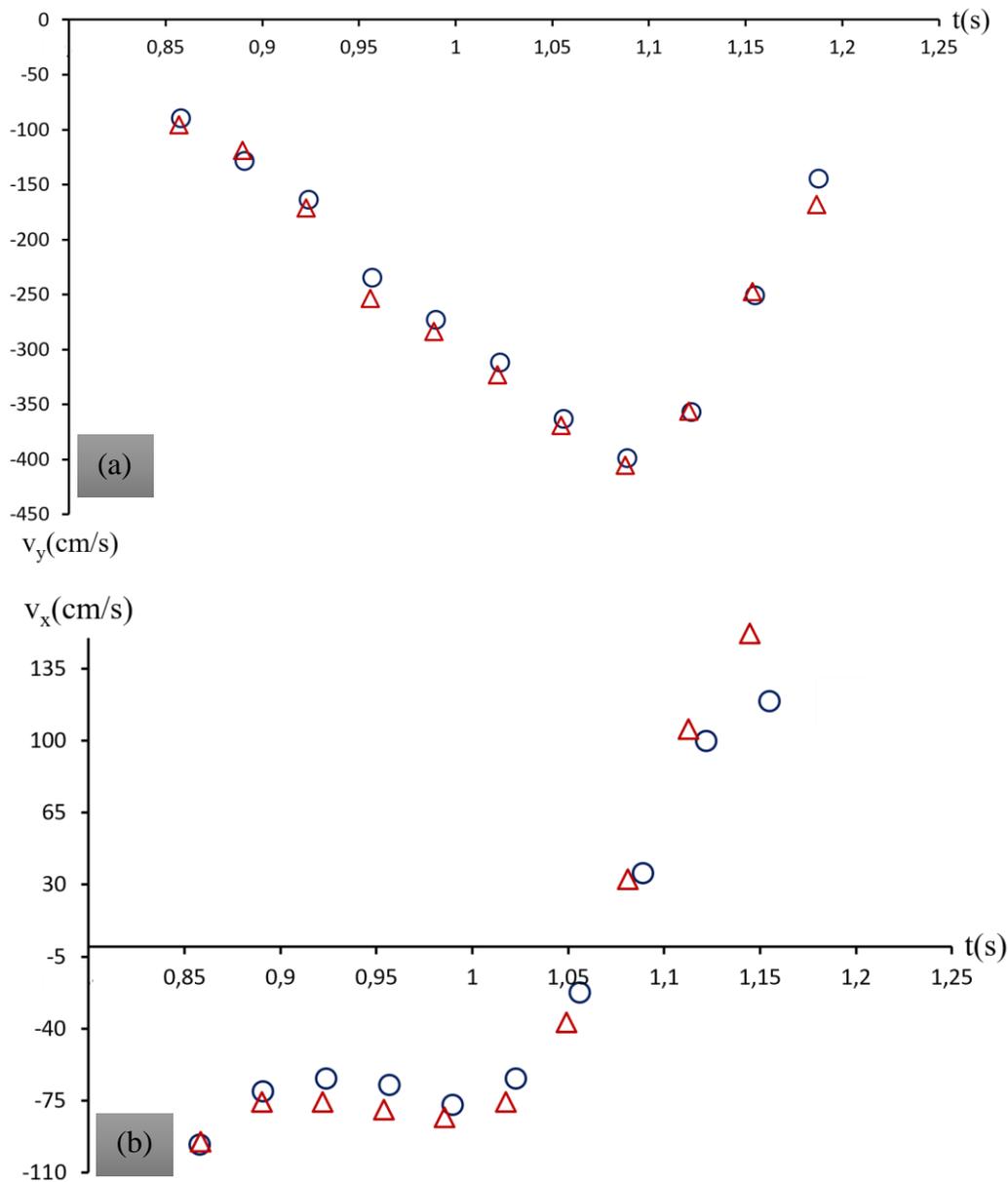
| No | Campuran Granular<br>(50 gr+50gr) | Terpisah | Tidak Terpisah |
|----|-----------------------------------|----------|----------------|
| 1  | Beras + Selasih                   | √        |                |
| 2  | Beras + Kacang<br>Hijau           | √        |                |
| 3  | Beras + Kacang<br>Kedelai         | √        |                |
| 4  | Kacang Hijau +<br>Kacang Kedelai  |          | √              |
| 5  | Kacang Hijau +<br>Styrofoam       | √        |                |

Pada proses pengujian dilakukan perekaman menggunakan kamera, kemudian dari hasil rekaman tersebut dilakukan *tracking* untuk menunjukkan profil lintasan setiap butiran saat mengami pemisahan dengan menggunakan *video tracking software*. Profil lintasan campuran granular (beras dan biji selasih) baik arah x maupun arah y terhadap waktu juga telah diamati melalui hasil *tracking*. Jika ditinjau pada lintasan arah x, menunjukkan bahwa posisi butiran yang berukuran kecil cenderung konsisten ke arah tepi tampi kemudian diikuti oleh butiran besar yaitu beras. Sementara yang arah y terhadap waktu memberikan informasi bahwa butiran yang kecil lebih (selasih) jatuh mendahului butiran besar (beras).



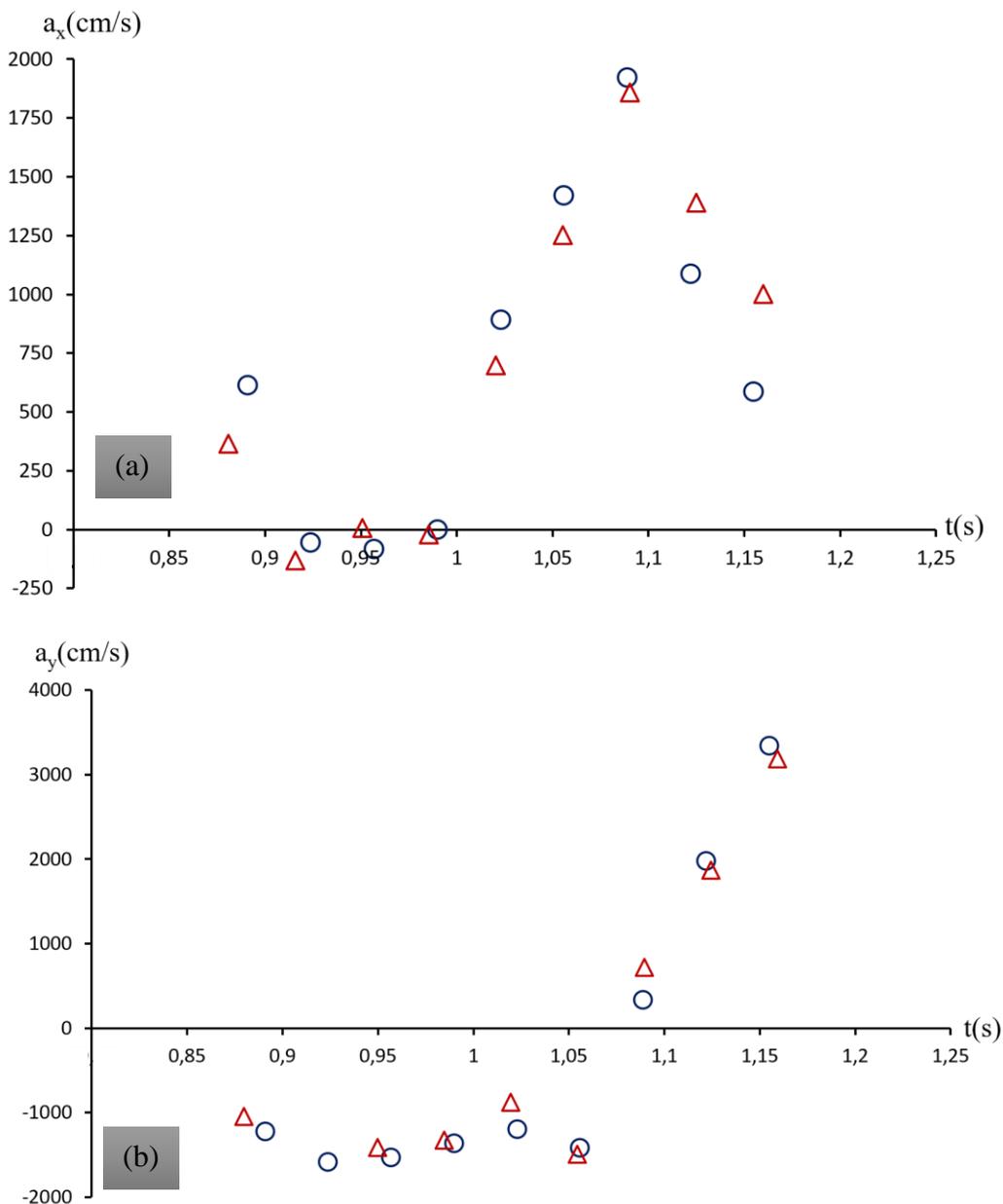
**Gambar 4.1** Profil lintasan campuran granular (beras dan biji selasih) baik arah  $x$  (a) maupun arah  $y$  (b) terhadap waktu.

Adapun profil kecepatan arah  $x$  dan  $y$  terhadap waktu juga terekam, sehingga dapat diamati perbedaan perilaku butiran besar dengan butiran kecil seperti pada Gambar 4.1. Pada arah  $x$  menunjukkan posisi biji selasih cenderung ke arah luar dengan kecepatan lebih besar dibandingkan beras yang berukuran lebih besar. Untuk arah  $y$ , sumbu  $y$  negatif menunjukkan bahwa *tracking* yang dilakukan terhadap video rekaman dimulai pada posisi maksimum arah vertikal sehingga arahnya menuju kebawah (sumbu  $y$  negatif) untuk setengah kali ayunan tampi.



**Gambar 4.2 Profil kecepatan campuran granular (beras dan biji selasih) baik arah x (a) maupun arah y (b) terhadap waktu.**

Selain itu profil percepatan arah x dan y juga dapat diamati ditunjukkan pada Gambar 4.3. Percepatan arah x terhadap waktu memperlihatkan bahwa semakin dekat dengan permukaan tampi percepatan selasih lebih besar dibandingkan dengan beras. Namun percepatan arah y lebih memperlihatkan bahwa sesaat sebelum mencapai posisi akhir, butiran beras memiliki percepatan lebih besar. Perolehan profil lintasan, kecepatan dan percepatan terhadap waktu pada dasarnya hanya untuk memperlihatkan pergerakan masing-masing granular dari posisi y maksimum hingga mencapai permukaan tampi kembali.



**Gambar 3.3** Profil percepatan campuran granular (beras dan biji selasih) baik arah x (a) maupun arah y (b) terhadap waktu.

Telah dicobakan juga untuk efek kecepatan rotasi pada pemisahan granular. Distribusi campuran partikel kacang hijau dan biji styrofoam mengalami pemisahan dengan menggunakan alat model pelat sejajar berotasi. Divariasikan dengan tiga kecepatan rotasi; 400 rpm, 600 rpm, dan 800 rpm. Pemisahan bertambah ketika kecepatan rotasi meningkat. Kecepatan rotasi plat akrilik mewakili kecepatan sudut vorteks. Oleh karena itu, pemisahan butiran ringan meningkat ketika kecepatan udara meningkat. Karena kedua jenis butiran memiliki bentuk dan ukuran yang hampir sama, gaya seret yang diterima dari pusaran hampir sama. Karena butiran ringan memiliki massa yang lebih kecil, mereka memiliki akselerasi yang lebih besar sehingga mereka pindah lebih jauh daripada butiran yang berat. Campuran ini sesungguhnya mewakili campuran biji padi yang berisi dengan yang tak berisi dengan asumsi bahwa yang berisi adalah kacang hijau (massa lebih besar) dan biji styrofoam adalah kulit padi/gabah (massa lebih kecil).

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat ini dapat bekerja dengan baik karena dalam pengujiannya semua komponen dalam rangkaian percobaan bekerja sesuai sistem yang telah ditentukan. Dalam pengujian kerja alat pemisah granular pangan, memberikan hasil pemisahan campuran yang berbeda ukuran dengan baik. Rancangan alat ini (model pelat sejajar berotasi) menghasilkan pusaran udara, mirip dengan pusaran udara yang dihasilkan oleh ayunan tampi. Pemisahan butiran yang dihasilkan juga diamati dengan menggunakan butiran dari massa yang berbeda tetapi memiliki ukuran yang hampir sama untuk menyerupai pemisahan butiran beras dengan kulit gabah. Rancangan alat ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi alat yang lebih canggih dengan komponen yang murah dan mudah diperoleh di sekitar kita.

## REFERENSI

- [1] Suryadi, M., dan Tiani, R. (2019). Explaining the Natural Materials of Traditional Kitchen Appliances In the Javanese Coastal Communities Based on Internal Structure Formation of Lingual Units, *Web of Conferences* **125**, p. 09010.
- [2] Li, L., Marteau, E., dan Andrade, J. E. (2019). Capturing the inter-particle force distribution in granular material using LS-DEM, *Granular Matter*, **21**(3), 43.
- [3] Danbaba, N., Idakwo, P. Y., Kassum, A. L., Bristone, C., Bakare, S. O., Aliyu, U., ... dan Nkama, I (2019): Rice Postharvest Technology in Nigeria: An Overview of Current Status, Constraints and Potentials for Sustainable Development, *Open Access Library Journal*, **6**(8), 1-23.
- [4] Munir, R., Rahmayanti, H. D., Murniati, R., Rahman, D. Y., Utami, F. D., Viridi, S., & Abdullah, M. (2020). Experiment and modeling of the rice winnowing process: granular segregation method from an ancient era. *Granular Matter*, **22**(1), 1-14.
- [5] Munir, R., Rahmayanti, H. D., Yuliza, E., Amalia, N., Utami, F. D., Viridi, S., & Abdullah, M. (2019, August). Preliminary Study: Instrumentation Design for Studying Granular Segregation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 599, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- [6] Yuliza, E., Amalia, N., Rahmayanti, H. D., Munir, R., Munir, M. M., Khairurrijal, K., & Abdullah, M. (2018). Stability of granular tunnel. *Granular Matter*, **20**(4), 1-13
- [7] Collinson C. dan Roper, T. (1995): *Particle Mechanics*, London: Butterworth-Heinemann, London p. 30.
- [8] Flagan, R.C. and Seinfeld, J.H. (1988): *Fundamentals of Air Pollution Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [9] Lecuona, A., Ruiz-Rivas, U., dan Nogueira, J. (2002): Simulation of particle trajectories in a vortex-induced flow: application to seed-dependent flow measurement techniques, *Measurement Science and Technology*, **13**(7), 1020.
- [10] Shrestha, K. P., Parajuli, P., Baral, B., dan Shrestha, B. P. (2017): Mathematical modeling, simulation and analysis of rice grain movement for design and fabrication of low-cost winnowing machine, *Journal of Mechanical Engineering Research*, **9**(1), 1-14.
- [11] Ahmad, K. and Smalley, I.J. (1973): Observation of particle segregation in vibrated granular systems, *Powder Technology* **8**, 67-75.
- [12] Möbius, M. E., Cheng, X., Eshuis, P., Karczmar, G. S., Nagel, S. R., dan Jaeger, H. M. (2005): Effect of air on granular size separation in a vibrated granular bed, *Physical Review E*, **72**(1), 011304.
- [13] Rivas, N., Luding, S., dan Thornton, A. R. (2013): Low-frequency oscillations in narrow vibrated granular systems, *New Journal of Physics*, **15**(11), 113043.
- [14] Fouda, T. Z. (2011): Engineering Studies on the Performance of Paddy and Rice Separator, *AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, **42**(2), 85.