



Granulator Pupuk Organik untuk Pertanian Urban: *High Efficiency dan Simple* *Organic Fertilizer Granulator for Urban Farming: High Efficiency and Simple*

I Made Mickey Yogi Ajna Karuna¹, Yohanes Setiyo^{1,*}, I Putu Surya Wirawan¹, Radi²

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

² Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRAK

Pupuk organik padat dari kotoran ternak mengandung nutrisi makro dan mikro yang dapat memenuhi kebutuhan tanaman, namun pupuk organik padat yang saat ini tersedia dalam bentuk serbuk kurang efisien dari segi mobilisasi dan pengaplikasian pupuk pada lahan pertanian, sehingga perlu dibuat mesin granulasi pupuk organik padat. Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan desain dan konstruksi mesin granulasi untuk mengolah pupuk organik padat menjadi bentuk granul dengan kapasitas kerja yang optimal dan memenuhi standar SNI 7763:2024 mengenai ukuran granul. Metode pengujian mesin yang dibuat menggunakan parameter kapasitas kerja dan efisiensi operasional mesin granulasi yang dipengaruhi oleh energi yang dibutuhkan untuk membentuk granul meliputi kecepatan putar tabung granulasi, momen inersia dari unit granulasi 1.27 kg.m^2 , gaya sentrifugal 31.31 N , dan gaya gesek sebesar 3.71 N dengan tabung granulasi. Rancangan percobaan yang diujikan ke pada mesin adalah percobaan variabel kecepatan putar tabung granulasi dan massa campuran pupuk organik padat dengan tapioka menggunakan perbandingan campuran 1:1. Hasil uji kinerja dari mesin pembuat pupuk granul diperoleh nilai kapasitas kerja masing-masing variasi kecepatan putar tabung granulasi dengan rata-rata $9.75 \pm 0.15 \text{ kg/jam}$, $7.27 \pm 0.17 \text{ kg/jam}$, dan $5.15 \pm 0.08 \text{ kg/jam}$, dengan nilai efisiensi tertinggi adalah 98.76 ± 0.3 persen, dengan ukuran granul 2-4.75 mm diperoleh di kecepatan putar tabung granulasi 22.66 RPM. Kesimpulan dari penelitian ini mesin granulasi yang dikonstruksi mampu memproses pupuk organik padat menjadi bentuk granul dengan tingkat keberhasilan yang sangat baik, kapasitas kerja yang direkomendasikan untuk granulasi adalah $22.66 \pm 0.27 \text{ RPM}$ untuk menghasilkan pupuk sesuai dengan standar bentuk dan ukuran granul SNI 7763:2024.

Kata Kunci: Efisiensi, Granul, Granulator, Kapasitas Kerja, Kecepatan Putar

ABSTRACT

Solid organic fertilizers derived from livestock manure are rich in macro- and micro-nutrients essential for plant growth and soil health. Despite their nutritional value, commercially available powders pose challenges in handling, storage, and uniform field application, leading to inefficiencies in nutrient delivery and increased labor costs. To address this, developing a dedicated granulation machine is crucial for transforming powders into durable, easy-to-apply granules. The primary objective of this research was to design, construct, and evaluate a laboratory-scale granulation machine that processes solid organic fertilizer into granules compliant with SNI 7763:2024 standards, particularly targeting optimal granule sizes of 2-5 mm for enhanced usability. The machine incorporates a rotating granulation tube where centrifugal force of granulator's unit is 31.31 N , moment of inertia of granulator's unit is 1.27 kg.m^2 , and friction 3.71 N with the granulator unit, and rotational energy bind the material. Performance testing focused on working capacity (kg/h) and operational efficiency (%), varied by granulation tube speed and input mass of a 1:1 solid organic fertilizer-tapioca mixture. Key parameters included rotational speeds influencing granule formation dynamics. Results demonstrated capacities of $9.75 \pm 0.15 \text{ kg/h}$ at higher speeds, $7.27 \pm 0.17 \text{ kg/h}$ at medium, and $5.15 \pm 0.08 \text{ kg/h}$ at lower, with peak efficiency of $98.76 \pm 0.3\%$ and ideal 2-4.75 mm granules at 22.66 RPM. These outcomes confirm the machine's reliability. In conclusion, the prototype excels at producing SNI 7763:2024-compliant granules with excellent success rates. Recommended operation at $22.66 \pm 0.27 \text{ RPM}$ optimizes output for practical agricultural use, paving the way for scalable organic fertilizer production.

*Corresponding author:

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia. Email: yohanes@unud.ac.id

Masuk: 22 Januari 2026;

Direvisi: 15 Februari 2026;

Diterima: 20 Februari 2026;

Terbit:

Keywords: *Efficiency, Granule, Granulator, Rotational Speed, Working Capacity*

PENDAHULUAN

Pupuk organik padat adalah hasil proses dekomposisi sisa-sisa organisme hidup seperti kotoran, urine, limbah organik, maupun produk biologis lainnya maupun makhluk hidup yang telah mati (Sunarno et al., 2023). Pupuk organik padat mengandung unsur hara mikro yang penting untuk pertumbuhan tanaman yang dibudidayakan (Purwanto et al., 2014).

Pengembangan pupuk organik padat sudah dilakukan oleh (Dewi et al., 2017; Krispedana et al., 2020; Massa et al., 2016). Pupuk organik padat mengandung biomassa mikroorganisme yang merupakan faktor penunjang kesuburan tanah, karena memiliki peranan vital dalam keberlangsungan siklus karbon pada tanah, siklus nitrogen pada tanah, siklus fosfor, dan sulfur pada tanah, dan juga berperan dalam memelihara kesuburan tanah (Budhisurya et al., 2013). Pupuk organik padat dapat meningkatkan mineral-mineral pada tanah meliputi mineral besi, tembaga, magnesium, aluminium, kalsium, dan Mangan (Setiyo, 2007).

Mineral-mineral tersebut merupakan unsur mikro yang diperlukan oleh tanaman untuk metabolisme tanaman dan berperan dalam menjaga porositas tanah. Penggunaan pupuk organik padat dapat menjaga keseimbangan pori mikro dan makro pada tanah untuk digunakan oleh akar sebagai saluran aerasi dan saluran penyerapan air di tanah (Setiyo et al., 2021).

Pupuk organik padat curah berbentuk serbuk/gumpalan longgar dengan kadar air 20-50%, rentan menghasilkan debu, mudah terbawa angin/hujan, dan memiliki luas permukaan kontak tanah lebih besar. Sehingga, pupuk organik padat granul berbentuk butiran keras. Kekurangan dari pupuk kompos adalah efisiensi dan efektivitas yang minim apabila dilakukan proses komersialisasi pupuk organik (Wullandari and Siregar, 2017). Pupuk organik yang berbentuk serbuk dibuat menjadi bentuk granul, karena bentuk fisik yang dimiliki oleh pupuk granul lebih unggul dari pupuk bentuk serbuk keunggulan dapat memudahkan aplikasi dari pupuk ke lahan dan memudahkan transportasi atau pemindahan pupuk organik

Dari data yang diperoleh, kebutuhan pupuk organik untuk setiap petani jika satu orang petani memiliki satu hektar lahan adalah sebanyak 15-20 ton pupuk organik padat. Sehingga, diperlukan mesin granulasi dengan kapasitas dan kecepatan putaran tabung tertentu untuk memenuhi kebutuhan industri skala kecil (Purba et al., 2022; Setiyo et al., 2021).

Aplikasi pupuk organik padat dengan menerapkan sistem *Low External Input Sustainable Agriculture (LEISA)* memberikan pengaruh yang nyata pada produktivitas lahan pertanian dan secara signifikan menekan kebutuhan penggunaan pupuk hingga 50-60 persen, di beberapa wilayah seperti di Desa Candikuning, Antapan, dan Kintamani (Setiyo et al., 2018, 2016).

Mesin granulasi pupuk organik padat telah ada. Mesin granulasi pupuk organik padat yang beredar memiliki beberapa kelemahan seperti, kapasitas kerja yang dimiliki terlalu besar bagi petani yang memiliki lahan seluas 1-2 hektar maupun industri kecil, karena kebutuhan mesin bagi petani hanya 7 – 10 kg/jam, sedangkan mesin-mesin yang sudah disebut di atas memiliki kapasitas kerja lebih dari 150 kg/jam. Dengan kebutuhan pupuk organik padat mencapai 1 ton per hektar lahan per petani, produksi skala kecil sering terhambat oleh keterbatasan mesin granulasi yang tersedia, yang umumnya dirancang untuk kapasitas industri besar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa mesin granulasi konvensional memiliki efisiensi rendah untuk operasi rumah tangga atau kelompok tani kecil, dengan konsumsi energi tinggi dan ketidaksesuaian kecepatan putar tabung terhadap bahan organik basah (Purba et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan inovasi mesin granulasi pupuk organik padat skala laboratorium dengan kapasitas 8 kg/jam, yang mampu mengoptimalkan proses pembuatan pupuk granul.

Objektif dari melakukan penelitian ini di antaranya mendapatkan desain dan konstruksi mesin granulator yang optimal untuk membuat pupuk organik padat dengan kapasitas kerja skala kecil, mendapatkan rekomendasi kecepatan putar optimal dari unit granulasi yang dikonstruksi untuk menghasilkan granul dengan bentuk dan ukuran sesuai standar SNI 7763:2024. Dengan mesin yang dirancang memiliki kapasitas kerja maksimum 0.0084m^3 , bahan baku yang digunakan adalah pupuk organik padat berbahan dasar kotoran kambing dengan kadar air 27 persen..

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Alat dan Ergonomika, Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana dan Laboratorium Energi dan Mesin Pertanian, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Penelitian dilakukan di Universitas Udayana meliputi pembuatan desain mesin granulasi, pembuatan gambar teknik mesin granulasi, dan penyusunan proposal penelitian, kemudian penelitian yang dilakukan di Universitas Gadjah Mada adalah pembuatan, konstruksi mesin granulasi, dan pengujian fungsional dan kinerja mesin yang dikonstruksi. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2025 hingga November 2025.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat konstruksi dan alat pengujian. Alat konstruksi meliputi gerinda, mesin bor, mesin bubut, penggaris siku, meteran, las listrik, dan las asitelin. Alat pengujian meliputi *tachometer* kontak, jangka sorong digital, dan timbangan digital.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan konstruksi dan bahan pengujian. Bahan konstruksi meliputi pelat *stainless steel*, besi galvanis, besi siku, roda, motor listrik, *gearbox reducer*, poros, bantalan, *pulley*, dan *v-belt*. Bahan pengujian meliputi pupuk organik padat, tepung tapioka, dan air.

Perancangan dan Perhitungan Mesin

Unit granulasi

Unit granulasi yang dirancang berbentuk tabung terbuka dengan diameter 80 cm, tinggi 20 cm, memiliki kemiringan kerja 60° , kecepatan putar poros tabung granulasi 19 RPM, 23 RPM, dan 30 RPM. Volume campuran pupuk yang dapat dimuat pada tabung granulasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Efektif (h}_e\text{)} &= 20 \text{ cm} \times \cos 60^\circ \\ &= 20 \text{ cm} \times 0.5 \\ &= 10 \text{ cm} \end{aligned} \quad [1]$$

$$\begin{aligned} V_{\max} &= \frac{\theta}{360^\circ} \times \pi \times r^2 \times h_e \\ &= \frac{60^\circ}{360^\circ} \times \pi \times (40 \text{ cm})^2 \times 10 \text{ cm} \\ &= 8377.58 \text{ cm}^3 \\ &= 0.0084 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad [2]$$

Didapatkan volume maksimum pada satu kali proses granulasi adalah 0.0084 m^3 atau 8.4 liter.

Proses granulasi menggunakan kecepatan putar yang rendah bertujuan untuk menghindari produksi *fines* (partikel halus) berlebih yang merusak sifat alir granul, berbeda dengan *high-shear granulation* yang menggunakan RPM tinggi untuk proses cepat tapi berisiko untuk terjadi *over-mixing*. RPM rendah pada proses granulasi secara nyata mengurangi energi kinetik yang diterima partikel, sehingga menghasilkan granul dengan densitas rendah, ukuran lebih halus, dan distribusi ukuran yang sempit.

Gerakan berputar tabung terhadap poros menghasilkan gaya sentrifugal untuk membentuk ikatan antara pupuk, tepung tapioka, dan air. Gaya sentrifugal yang dialami oleh tabung granulator selama beroperasi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Tipler, 1998):

$$\begin{aligned} F_R &= m\omega^2 r \\ &= 7.94 \text{ kg} \times (3.14 \text{ rad/s})^2 \times 0.4 \text{ m} \\ &= 31.31 \text{ N} \end{aligned} \quad [3]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} F_R &= \text{Gaya sentrifugal (N)} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ r &= \text{Jari-jari (m)} \\ \omega &= \text{Kecepatan sudut putar (m/s)} \end{aligned}$$

Besaran gaya sentrifugal yang memengaruhi proses granulasi yang bekerja adalah 31.31 N.

Kebutuhan daya motor listrik

Proses analisis dilakukan melalui dua tahap utama: pertama, menghitung inersia dan torsi yang diperlukan untuk memutar tabung granulator dalam keadaan kosong, dan kedua, torsi yang dibutuhkan saat tabung berisi bahan granulator. Pada tahap ini, beban dari tabung granulator dipengaruhi oleh momen inersia dari tabung yang biasanya berupa silinder tipis. Nilai inersia tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan matematis yang dikemukakan oleh (Tipler, 1998).

$$\begin{aligned} I &= m \times r^2 \\ &= 7.94 \text{ kg} \times (0.4 \text{ m})^2 \\ &= 1.27 \text{ kg m}^2 \end{aligned} \quad [4]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} I &= \text{Inersia (kg.m}^2\text{)} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ r &= \text{Jari-jari (m)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan gaya yang diterima pada tabung granulator, momen inersia yang dimiliki oleh tabung granulasi dihitung menggunakan persamaan 5 adalah 1.27 kg.m².

Dari persamaan di atas, dapat dihitung besaran torsi yang diperlukan untuk dapat memutar tabung granulator tanpa beban sebagai berikut (Tipler, 1998):

$$\begin{aligned} \tau &= mr^2 \cdot \alpha \\ &= I \cdot \alpha \\ &= 1.27 \text{ kg m}^2 \times 0.52 \text{ rad/s}^2 \\ &= 0.66 \text{ Nm} \end{aligned} \quad [5]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} \tau &= \text{Torsi (N.m)} \\ I &= \text{Inersia (kg.m}^2\text{)} \\ \alpha &= \text{Percepatan sudut (rad/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

Kemudian kebutuhan besaran nilai torsi untuk menggerakkan campuran pupuk dapat dihitung menggunakan persamaan (Tipler, 1998):

$$\begin{aligned} \tau_i &= F_k \times r \\ &= 3.71 \text{ N} \times 0.4 \text{ m} \\ &= 1.49 \text{ Nm} \end{aligned} \quad [6]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} \tau_i &= \text{Torsi untuk menggerakkan pupuk (N.m)} \\ F_k &= \text{Gaya gesek (N)} \\ r &= \text{Jari-jari (m)} \end{aligned}$$

Sehingga, nilai besaran torsi total dari penjumlahan persamaan 5 dan 6 untuk memutar tabung granulator adalah sebesar 2.15 Nm. Kemudian dihitung kebutuhan daya motor listrik menggunakan persamaan 2.12, diperoleh besaran daya yang diperlukan adalah 6.75 watt atau 0.001 HP. Pada

penelitian ini dipilih mesin dengan daya 0.5 HP, 3 fase dan memiliki kecepatan putaran mesin 1400 RPM untuk menjadi penggerak tabung granulator.

Kebutuhan daya penggerak dengan menggunakan persamaan (Giancoli, 2001):

$$\begin{aligned} P &= \tau_{\text{total}} \times \omega_i \\ &= 2.15 \text{ N m} \times 3.14 \text{ rad/s} \\ &= 6.75 \text{ Watt} \\ &= \frac{22.84 \text{ Watt}}{745.7} \\ &= 0.01 \text{ HP} \end{aligned} \quad [7]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} P &= \text{Daya motor (watt)} \\ \tau_{\text{total}} &= \text{Torsi total (N.m)} \\ \omega_i &= \text{Kecepatan sudut akhir (rad/s)} \end{aligned}$$

Kebutuhan diameter poros

Daya yang akan diteruskan oleh poros dihitung menggunakan persamaan Sularso (1997) mendapatkan daya normal yang akan ditransmisikan (P_d) adalah 0.023 kW menggunakan persamaan 8.

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P \\ &= 1.5 \times 0.023 \text{ kW} \\ &= 0.0345 \text{ kW} \end{aligned} \quad [8]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} P_d &= \text{Daya rencana (kW)} \\ f_c &= \text{Faktor koreksi} \\ P &= \text{daya output motor penggerak (kW)} \end{aligned}$$

Momen rencana yang dialami poros dengan persamaan (Sularso, 1997):

$$\begin{aligned} T &= 9.74 \cdot 10^5 \times \frac{P_d}{n_1} \\ &= 9.74 \cdot 10^5 \times \frac{0.0345 \text{ kW}}{1411 \text{ RPM}} \\ &= 23.81 \text{ kg. mm} \end{aligned} \quad [9]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} T &= \text{Momen rencana (kg.mm)} \\ P_d &= \text{Daya rencana (kW)} \\ n_1 &= \text{Putaran poros motor (RPM)} \end{aligned}$$

Tegangan geser yang diizinkan untuk pemakaian umum pada poros dapat diperoleh atas dasar batas kelelahan puntir sebesar 40% dari batas kelelahan tarik yang besarnya 45% dari kekuatan tarik (Sularso, 1997):

$$\begin{aligned} \tau_\alpha &= \frac{\sigma_B}{(sf_1 \times sf_2)} \\ &= \frac{58 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{(6 \times 1.3)} \\ &= 7.44 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned} \quad [10]$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} \tau_\alpha &= \text{Tegangan geser yang diizinkan (kg/mm}^2\text{)} \\ \sigma_B &= \text{Kekuatan tarik (kg/mm}^2\text{)} \\ sf_1 &= \text{Faktor keamanan berdasarkan bahan poros (nilai } sf_1 = 6\text{)} \\ sf_2 &= \text{Faktor keamanan akibat konsentrasi tegangan (nilai } sf_2 = 1.3\text{-}3.0\text{)} \end{aligned}$$

Untuk meneruskan daya yang dihasilkan motor, poros berbahan baku baja karbon dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang cukup tinggi dan tegangan geser yang diterima berada dalam rentang yang diizinkan.

Setelah diketahui momen dan tegangan geser pada poros, selanjutnya dihitung kebutuhan diameter poros mesin granulasi menggunakan persamaan berikut (Sularso, 1997):

$$d_s = \left[\left(\frac{5.1}{\tau_\alpha} \right) \times k_t \times c_b \times T_i \right]^{\frac{1}{3}} \quad [11]$$

$$= \left[\left(\frac{5.1}{7.44 \text{ N}} \right) \times 1.25 \times 2 \times 23.81 \text{ kg. mm} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 3.44 \text{ mm}$$

Keterangan:

d_s = Diameter poros (mm)

τ_α = Tegangan geser yang diizinkan (kg/mm²)

k_t = Faktor koreksi tumbukan beban dengan nilai konstanta 1.25 karena beban dikenakan dengan kejutan ringan Faktor koreksi untuk kemungkinan

c_b = terjadinya beban lentur dengan nilai konstanta 2

T_i = Momen puntir pada poros (kg/mm)

Dari perhitungan yang dilakukan, diameter poros yang digunakan adalah 1inch dengan mempertimbangkan pemakaian untuk jangka panjang dan beban yang diterima unit granulasi.

Transmisi

Daya pada motor listrik didasarkan pada sistem transmisi sehingga untuk memperoleh putaran mesin yang diharapkan menggunakan persamaan (Ilhamsyah, 2020). Komponen transmisi yang digunakan berupa *pulley* dan *v-belt*.

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2 \quad [12]$$

Keterangan:

n_1 = Putaran motor (RPM)

d_1 = Ukuran *pulley* pada motor (inch)

n_2 = Putaran poros tabung (RPM)

d_2 = Ukuran *pulley* pada poros tabung (inch)

Terdapat kemungkinan perbandingan puli yang dibutuhkan terlalu besar, maka dapat diatasi dengan menggunakan *gearbox reducer*, sehingga perbandingan reduksi untuk menransmisikan putaran motor menggunakan persamaan (Sularso, 1997):

$$R = \frac{n_1}{n_2} \quad [13]$$

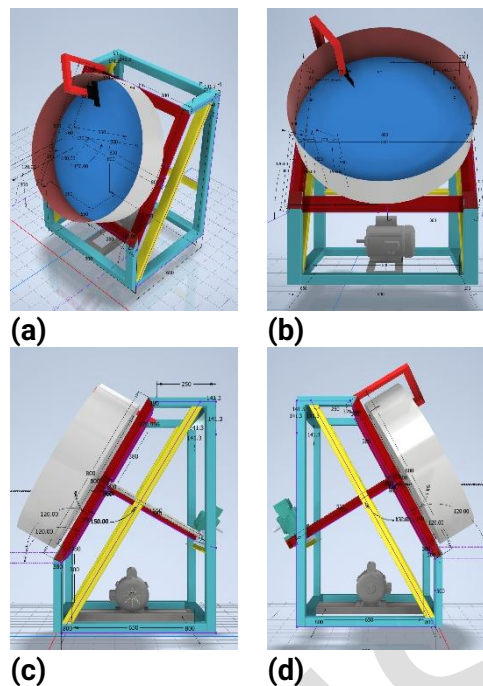
$$= \frac{1400 \text{ RPM}}{23 \text{ RPM}}$$

$$= 60 \text{ RPM}$$

Sehingga, diperlukan *reducer* dengan perbandingan 1:60 untuk mendapatkan kecepatan putar yang diinginkan.

Pembuatan Mesin

Pembuatan mesin dilakukan secara bertahap setiap komponennya, setelah seluruh komponen selesai dan bekerja sesuai dengan fungsi komponen, kemudian dilakukan perakitan seluruh komponen menjadi mesin pembuat pupuk organik granul. Komponen meliputi tabung granulasi, *scraper*, *bearing*, poros, motor listrik, dan *gearbox* dipasang menggunakan mur dan baut pada kerangka mesin. Gambar teknik dari pembuatan mesin granulasi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. CAD prototipe mesin granulasi, (a) tampak tiga dimensi, (b) tampak depan, (c) tampak sisi kanan, (d) tampak sisi kiri

Proses granulasi menggunakan kecepatan putar yang rendah bertujuan untuk menghindari produksi *finer* (partikel halus) berlebih yang merusak sifat alir granul, berbeda dengan *high-shear granulation* yang menggunakan RPM tinggi untuk proses cepat tapi berisiko untuk terjadi *over-mixing* (Kamińska, 2011). RPM rendah pada proses granulasi secara nyata mengurangi energi kinetik yang diterima partikel, sehingga menghasilkan granul dengan densitas rendah, ukuran lebih halus, dan distribusi ukuran yang sempit (Parikh, 2005).

Rancangan Pengujian Mesin

Pengujian dan pengambilan data dilakukan terhadap tiga kecepatan putar tabung 19 RPM, 23 RPM, dan 30 RPM. Pengujian menggunakan pelarut air diuji dengan lima kali pengulangan, dengan parameter yang diuji adalah kapasitas kerja mesin granulasi dan efisiensi mesin granulasi untuk menghasilkan pupuk organik granul dengan ukuran granul sesuai standar SNI 7763:2024 (BSN, 2024).

Percobaan granulasi dengan komposisi pupuk organik padat dan tepung tapioka perbandingan 1:1, hasil granulasi menghasilkan butiran berbentuk bola atau pil dengan ukuran dominan 2-4,75 mm, memenuhi persyaratan minimum 75% ukuran butir 2 – 4.75mm sesuai SNI 7763:2024 untuk pupuk organik padat granul, dengan perbandingan pupuk dan tepung tapioka yang digunakan, pupuk granul yang dihasilkan tidak terlalu tebal dan tidak mudah retak setelah dikeringkan (Pratama, 2017).

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini meliputi data spesifikasi konstruksi mesin dan data pengujian mesin. Data konstruksi mesin adalah spesifikasi komponen mesin yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan kapasitas kerja mesin granulasi, kemudian data pengujian mesin terdiri dari dua data, yaitu data pengujian fungsional dan pengujian kinerja mesin. Data pengujian mesin dianalisis dengan menentukan rata-rata dan standar deviasi. Nilai standar deviasi yang kecil menunjukkan konsistensi mesin saat diuji, kemudian dilakukan analisis terhadap keseragaman diameter butiran pupuk yang menjadi granul diukur dengan acuan standar SNI 7763:2024 yaitu 2 – 4.75mm. Hasil analisis dari keseragaman ukuran granul yang dihasilkan menunjukkan konsistensi dari kinerja mesin dalam setiap *batch* operasional mesin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konstruksi Mesin Granulasi

Mesin granulasi pupuk organik padat yang dikonstruksi merupakan mesin bertipe *disk granulator* menggunakan prinsip kerja *wet granulation* seperti dijelaskan oleh (Parikh, 2005) dan pada penelitian (Wullandari and Siregar, 2017). Konstruksi mesin memiliki spesifikasi volume beban yang dapat ditampung oleh tabung granulasi sebesar 0.0084 m^3 atau 8.4 liter, dengan penggerak menggunakan motor listrik dengan daya 0.5 HP, 3 fase dan memiliki kecepatan putaran mesin 1400 RPM untuk menjadi penggerak tabung granulator. Alasan dipilih motor 0.5 HP adalah, daya yang dihasilkan sudah memenuhi kebutuhan untuk memutar poros tabung granulasi dengan beban yang dihitung berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Pratama, 2017). Hasil konstruksi mesin granulasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Konstruksi rangka mesin granulasi



Gambar 3. Konstruksi mesin granulasi

Dari perhitungan dan pertimbangan ketersediaan bahan di toko material Kota Yogyakarta, ukuran setiap komponen alat dibuat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran komponen mesin

No.	Nama Komponen	Ukuran Komponen (mm)				Bahan
		p	l	t	d	
1	Tabung granulasi			200	800	Stainless steel
	Poros	600			25.4	Baja Karbon S45C
	Bearing				25.4	Bantalan UCF 205-16
2	Sistem transmisi					
	Pulley v-belt					Pulley 3 inch, 4 inch, dan 5 inch V-belt Tipe A49, A34, A32, A30
3	Scraper	200		100		Plat tebal 0.5 mm
4	Roda Penopang			40	25.4	Plastik
5	Kerangka mesin					
	Kerangka utama	800	600	1000		Besi galvanis
	Dudukan mesin	520	200			Besi siku 3 x 3 cm
	Dudukan gearbox	800	200			Besi siku 3 x 3 cm
6	Baut M12, M14					

Pengujian Fungsional Mesin

Mesin granulasi yang sudah dikonstruksi kemudian diuji untuk mengetahui setiap bagian mesin berfungsi normal. Motor listrik yang digunakan diuji menggunakan tachometer dengan dilakukan 5 kali pengulangan dalam mengukur kecepatan putar motor listrik, diperoleh motor listrik yang digunakan memiliki kecepatan putar motor 1411 ± 30.79 RPM menggunakan metode pengujian (Darissalam et al., 2015). Kemudian masing-masing variasi kecepatan putar tabung unit granulasi diuji menggunakan metode yang sama dengan pengujian putaran motor seperti pada penelitian (Pratama, 2017).

Data hasil pengujian kecepatan putar poros tabung unit granulasi menggunakan metode dari penelitian Pratama (2017), dengan masing-masing variasi kecepatan putar sebesar 29.70 ± 2.13 RPM, 22.66 ± 0.27 RPM, dan 18.56 ± 0.24 RPM. Data pengujian kecepatan putar tabung dilakukan menggunakan tachometer dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian putar tabung granulasi

Percobaan	Ukuran Pulley pada Poros (inch)	Rerata	SD
1	3	29.70	0.98
2	4	22.66	0,27
3	5	18.56	0,24

Pengujian fungsional dilakukan seperti pada penelitian Pratama (2017), menunjukkan bahwa motor listrik dan sistem transmisi mampu menghasilkan putar stabil sesuai dengan spesifikasi teknis pada pengujian menggunakan tabung tanpa beban kerja. yakni 1411 ± 0.98 RPM untuk motor dan tiga variasi kecepatan putar tabung meliputi 29.70 ± 2.13 RPM, 22.66 ± 0.27 RPM, dan 19.56 ± 0.24 RPM pada poros tabung granulator. Hal ini menunjukkan komponen mesin memenuhi kriteria untuk memroses pupuk organik padat menjadi bentuk granul.

Pengujian Kinerja Mesin

Pengujian kinerja dilakukan dengan mengamati waktu yang diperlukan oleh mesin granulasi untuk memroses pupuk organik curah menjadi bentuk granul (Darissalam et al., 2015; Pratama, 2017). Diperoleh nilai kapasitas kerja dioperasikan pada beban kerja campuran pupuk organik padat sebanyak 5kg dengan perbandingan pupuk dan tepung tapioka adalah 1:1 (Pratama, 2017), dan perbandingan air dan campuran pupuk yang digunakan adalah 2:5 (Wullandari, 2017), kapasitas

kerja tertinggi 9.75 ± 0.15 kg/jam, kapasitas kerja tertinggi kedua 7.27 ± 0.17 kg/jam, dan kapasitas kerja terendah 5.15 ± 0.08 kg/jam, data pengujian kapasitas kerja mesin dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kapasitas kerja mesin granulasi

RPM	Kapasitas Kerja (kg/jam)					Rerata	SD
	1	2	3	4	5		
29.70	9.71	9.87	9.77	9.52	9.90	9.75	0.15
22.66	7.06	7.18	7.41	7.23	7.46	7.27	0.17
18.56	5.04	5.10	5.22	5.15	5.24	5.15	0.08

Efisiensi Mesin Granulasi

Nilai efisiensi mesin didapatkan dari perbandingan rendemen granul yang menjadi granul dan tidak menjadi granul pada saat mesin dioperasikan hingga campuran pupuk tidak dapat membentuk granul atau sudah jenuh (Pratama, 2017). Nilai efisiensi mesin tertinggi ditandai dengan standar deviasi paling rendah. Hasil pengujian menunjukkan mesin paling efisien dioperasikan pada beban kerja campuran pupuk organik padat sebanyak 5kg dengan kecepatan putar tabung granulasi 22.66 RPM, dengan nilai efisiensi tertinggi $98.80 \pm 0.003\%$, data efisiensi mesin granulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi mesin granulasi

RPM	Ulangan					Rerata	SD
	1	2	3	4	5		
29.70	98.00%	98.80%	98.80%	98.80%	98.20%	98.52%	0.004
22.66	98.40%	99.20%	98.60%	98.80%	99.00%	98.80%	0.003
18.56	98.40%	99.00%	99.40%	98.60%	98.40%	98.76%	0.004

Ukuran Granul yang Dihasilkan

Ukuran granul yang dihasilkan pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur sampel granul dari masing-masing percobaan sebanyak 10 butir pemilihan sampel dilakukan seperti pada penelitian (Darissalam et al., 2015). Dari pengukuran yang dilakukan, unit granulasi dengan kecepatan putar 29.70 ± 0.98 RPM, 22.66 ± 0.27 RPM, dan 18.56 ± 0.24 RPM menghasilkan pupuk granul dengan ukuran yang seragam. Keseragaman ukuran granul ditunjukkan dari nilai SD (Standar Deviasi) yang kecil. Tetapi, ukuran granul yang dihasilkan pada unit granulasi dengan kecepatan putar 18.56 ± 0.24 RPM menghasilkan granul berukuran 4 – 6 mm pada setiap operasi. Ukuran yang dihasilkan menggunakan putaran 19 RPM lebih besar dari tetapan standar SNI 7763:2024 menurut BSN (2024), yaitu berada pada rentang ukuran granul 2 – 4.75mm.

Tabel 5. Ukuran diameter granul

Percobaan	RPM	Ulangan	Rerata	SD
1	29.70	1	5.70	0.97
		2	4.52	0.90
		3	3.50	0.97
		4	3.32	0.93
		5	3.52	0.99
2	22.66	1	4.42	0.91
		2	4.32	1.12
		3	4.54	1.02
		4	4.37	1.22

Percobaan	RPM	Ulangan	Rerata	SD
3	18.56	5	4.53	0.95
		1	5.83	1.73
		2	5.73	1.25
		3	5.82	1.37
		4	5.84	1.74
		5	4.95	1.59

Pupuk granul yang dihasilkan dari proses granulasi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil granulasi pupuk organik padat

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan desain dan konstruksi mesin granulasi pupuk organik padat skala laboratorium yang optimal untuk pertanian urban, dengan kapasitas kerja hingga 9.75 ± 0.15 kg/jam dan efisiensi operasional mencapai $98.80 \pm 0.003\%$ pada kecepatan putar tabung 22.66 ± 0.27 RPM. Mesin tersebut memproses pupuk dari kotoran ternak menjadi granul berukuran 2-4.75 mm yang seragam dan sesuai standar SNI 7763:2024, mengatasi masalah efisiensi mobilisasi serta pengaplikasian pupuk serbuk pada lahan kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM Universitas Udayana, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan dan memfasilitasi jalannya penelitian ini. Terima kasih juga kepada Prof Yohanes, Pak Surya, Pak Radi, Pak Andri, Pak Ardan, Pak Marheri, Prof. Lilik, Bu Lani, Bagus, Cimpo, dan Oda atas bantuan, arahan, serta kerja sama yang telah diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2024. SNI 7763:2024 Pupuk Organik Padat.
- Budhisurya, E., Anggono, R., Simanjuntak, B.H., 2013. Analisis Kesuburan Tanah Dengan Indikator Mikroorganisme Tanah Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan Di Plateau Dieng Soil Fertility Analysis With Soil Microorganism Indicator On Various Systems Of Land Use At Dieng Plateau, Agric.
- Darissalam, A.S., Sutejo, A., Widajati, E., 2015. Rancang Bangun Mesin Pelet Benih Padi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Dewi, N.M.E.Y., Setiyo, Y., Nada, I.M., 2017. Pengaruh Bahan Tambahan Pada Kualitas Kompos Kotoran Sapi. Denpasar.

- Dewi, P.C., Setiyo, Y., Aviantara, I.G.N.A., 2017. Kajian Proses Pengomposan Berbahan Baku Limbah Kotoran Sapi Dan Kotoran Ayam. *Beta (Biosistem Dan Teknik Pertanian)* 5, 31–38.
- Giancoli, D.C., 2001. *Fisika*, 1st Ed. Erlangga, Jakarta.
- Ilhamsyah, M.F., 2020. Perancangan Sistem Transmisi Pada Mesin Pencacah Limbah Plastik Tipe Shredder. *Gorontalo Journal Of Infrastructure And Science Engineering* 3. <https://doi.org/10.32662/Gojise.V3i2.1212>
- Kamińska, J., 2011. Analysis Of The Granulation Process Mechanism-Stand And Scope Of Experimental Investigations. *Metalurgy And Foundry Engineering* 37, 81–87.
- Krispedana, I.W., Setiyo, Y., Madrini, I.A.G.B., 2020. Kajian Efektivitas Beberapa Model Tumpukan Pada Pengomposan Kotoran Sapi Dan Jerami. *Beta (Biosistem Dan Teknik Pertanian)* 7, 1–10.
- Massa, S., Setiyo, Y., Widia, W., 2016. Pengaruh Perbandingan Jerami Dan Kotoran Sapi Terhadap Profil Suhu Dan Karakteristik Pupuk Kompos Yang Dihasilkan. *Beta (Biosistem Dan Teknik Pertanian)* 4, 69–75.
- Parikh, D.M., 2005. *Handbook Of Pharmaceutical Granulation Technology*, 2nd Ed. North Carolina.
- Pratama, D., 2017. Rancang Bangun Dan Uji Performasi Mesin Pembuat Pellet Benih Padi Tipe Granulator. Bogor.
- Purba, A., Hasballah, T., Januardi, D., 2022. Rancang Bangun Mesin Pembuat Pupuk Organik Granul Kapasitas 123 Kg/Jam, *Jurnal Teknologi Mesin Uda*. Juni, Medan.
- Purwanto, I., Suhaeti, E., Sumantri, E., 2014. Menghitung Takaran Pupuk Untuk Percobaan Kesuburan Tanah. *Petunjuk Teknis Pelaksanaan Penelitian Kesuburan Tanah* 4, 91–105.
- Setiyo, Y., 2007. Pengembangan Model Simulasi Proses Pengomposan Sampah Organik Perkotaan Dalam Bioreaktor. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Setiyo, Y., Gunadnya, I.B.P., Gunam, I.B.W., Permana, I.D.G.M., Susrusa, I.K.B., Triani, I.G.A.L., 2016. Improving Physical And Chemical Soil Characteristic On Potatoes (*Solanum Tuberosum* L.) Cultivation By Implementation Of Leisa System. *Agriculture And Agricultural Science Procedia* 9, 525–531. <https://doi.org/10.1016/J.Aaspro.2016.02.172>
- Setiyo, Y., Harsojuwono, B., Gunam, I.B., Gunadnya, I.B., Yulianti, N.L., Triani, I.G., 2021. Application Of The Leisa System To Improve Soil Properties And Increase Potato Productivity. *International Journal Of Pharmaceutical Research* 13. <https://doi.org/10.31838/Ijpr/2021.13.02.391>
- Setiyo, Y., Triani, I.G.A.L., Mayun Permana, I.D.G., 2018. Application Of Chicken Manure Compost As Organic Fertilizer To Improve The Quality And Productivity Of Potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Ecology Environment And Conservation* 24, 621–627.
- Sularso, & Suga, K., 1997. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin* Pt. Pradnya Paramita. A Psicanalise Dos Contos De Fadas. Tradução Arlene Caetano.
- Sunarno, S., Yenti, S.R., Fadli, A., Wisrayetti, W., Amri, A., Zultiniar, Z., Alfarizi, C.D., Azis, Y., 2023. Pembuatan Pupuk Organik Padat Dari Limbah Pertanian Dan Peternakan Di Desa Batu Belah Kabupaten Kampar. *Journal Of Community Engagement Research For Sustainability* 3, 63–69. <https://doi.org/10.31258/Cers.3.1.63-69>
- Tipler, P.A., 1998. *Fisika Untuk Sains Dan Teknik*, 3rd Ed. Erlangga, Jakarta.
- Wullandari, P., Siregar, Z.A., 2017. Optimasi Rasio Air Dan Bahan Yang Ditambahkan Pada Pembuatan Pupuk Organik Granul Dari Tepung Rumput Laut *Sargassum* Sp. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan* 12. <https://doi.org/10.15578/Jpbkp.V12i1.248>