



Rancang Bangun Sistem Penjatuhan Bibit Singkong (*Manihot Esculenta Crantz*) untuk Meningkatkan Efisiensi Penanaman

*Design and Engineering of a Cassava (*Manihot esculenta Crantz*) Seed Dropping System to Enhance Planting Efficiency*

Raihan Ramadhan¹, Warji Warji^{1*}, Siti Suharyatun¹, Tamrin Tamrin¹

¹Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung

*Corresponding Author: warji1978@gmail.com

Abstract. *This study aims to design and evaluate the performance of a simple and efficient semi-automatic cassava seed dropping system tailored to farmers' needs. The system was constructed using mechanical components including a drive wheel, a pulley and belt transmission, and a cylindrical metering device with two dropping chambers synchronized with the rotation of the wheel. Performance tests were conducted to assess planting distance accuracy, seed orientation upon release, operational speed, field capacity, and field efficiency. The results indicate that the system operated as designed, producing an average planting distance of 80.79 cm, closely matching the intended specification. Seed orientation tests showed that 92% of the cuttings fell within an angle of 0°–15°, with an average inclination of 3.8°, aligning with agronomic recommendations for optimal shoot and root development. The tool achieved an operational speed of 0.184 m/s (0.66 km/h), with a theoretical field capacity of 0.01657 ha/h and an actual field capacity of 0.00929 ha/h, resulting in an average field efficiency of 56.10%. These findings demonstrate that the developed semi-automatic seed dropping system can enhance planting efficiency compared with manual methods while producing more uniform planting distance and orientation.*

Keywords: *Cassava Planting, Mechanization, Metering Device, Seed Dropping System.*

1. Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia, baik melalui kontribusi terhadap Produk Domestik Bruto maupun penyerapan tenaga kerja dalam jumlah besar (Bukhtiarova *et al.*, 2019). Salah satu komoditas yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah singkong (*Manihot esculenta Crantz*), yang digunakan sebagai bahan pangan, pakan, dan bahan baku

industri pengolahan. Provinsi Lampung saat ini menjadi sentra produksi utama dengan luas areal 266.586 hektar dan produksi mencapai lebih dari 4,6 juta ton per tahun, serta ditunjang oleh lebih dari 130 industri besar yang memanfaatkan singkong sebagai bahan baku utama (Lesmana *et al.*, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi budidaya singkong sangat penting untuk menjaga keberlanjutan pasokan industri.

Tahapan penanaman singkong di tingkat petani umumnya masih dilakukan secara manual, mulai dari penyiapan stek, pembuatan lubang tanam, hingga penempatan bibit. Metode manual membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah besar, menyebabkan kelelahan fisik, serta memiliki risiko ergonomi berupa gangguan muskuloskeletal karena postur kerja membungkuk dalam waktu lama (ILO, 2018). Selain itu, akurasi jarak tanam dan keseragaman posisi bibit sulit dicapai, padahal kedua parameter tersebut berpengaruh terhadap pembentukan akar dan produktivitas umbi. Keterbatasan tenaga kerja pada kelompok usia produktif juga semakin menekan efisiensi proses penanaman (Kartika, 2018).

Teknologi mekanisasi seperti *cassava planter* telah dikembangkan di beberapa negara, namun penggunaannya masih terbatas di Indonesia karena membutuhkan traktor berdaya tinggi (40–70 HP), biaya investasi yang besar, dan kurang sesuai dengan karakteristik lahan serta kapasitas petani skala kecil. Hingga saat ini belum tersedia alat penanam singkong yang sederhana, terjangkau, serta kompatibel dengan kondisi tipikal pertanian di Indonesia. Dengan demikian, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan inovasi teknologi tepat guna yang mampu meningkatkan efisiensi penanaman tanpa menambah beban ekonomi petani.

Berdasarkan urgensi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem penjatuhan bibit singkong yang terintegrasi pada *hand tractor*. Sistem ini memanfaatkan *hopper* sebagai penampung bibit, *metering device* sebagai pengatur frekuensi penjatuhan, serta saluran *output* untuk memastikan arah jatuh bibit tetap sesuai dengan lubang tanam. Melalui pengembangan mekanisme ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan alat dengan akurasi jarak tanam yang lebih baik, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, serta meningkatkan efisiensi operasional dalam proses penanaman singkong. Hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan mekanisasi pertanian skala kecil di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Mei sampai September 2025 di Laboratorium Daya Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, dan uji lapang dilakukan di PKK Agropark Lampung, Desa Sabah Balau, Kec. Tanjung Bintang, Kab. Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi perangkat CAD (SolidWorks), mesin las, gerinda, bor, kunci bengkel, alat ukur, ragum, kuas, gergaji, traktor roda dua, stopwatch, dan alat tulis. Sedangkan, bahan yang digunakan meliputi *mild steel*, *pulley-belt*, mur dan baut, bearing, besi as, roda, kawat las, cat antikerat, tiner, lahan, dan bibit singkong panjang 16 cm.

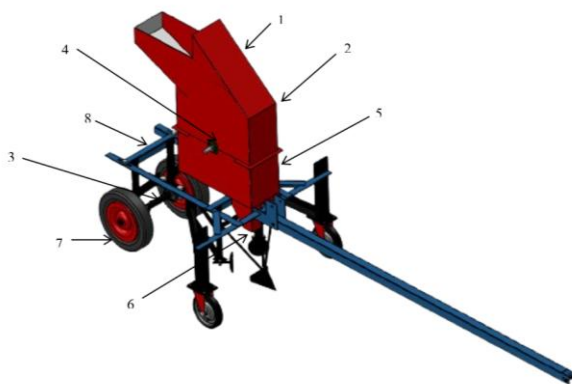
2.1 Metode Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan sistem untuk mengidentifikasi masalah dan menentukan tujuan perancangan alat. Selanjutnya dilakukan observasi lapangan dan studi literatur sebagai dasar dalam memahami kondisi aktual dan referensi teknis yang relevan. Informasi tersebut digunakan dalam tahap perancangan system menggunakan SolidWorks, yang kemudian dilanjutkan dengan pemilihan material yang sesuai serta proses fabrikasi dan manufaktur untuk membangun alat. Setelah alat selesai dibuat, dilakukan pengujian sistem untuk menilai kinerja awalnya. Jika hasil pengujian belum memenuhi kriteria desain, dilakukan evaluasi dan perbaikan hingga alat mencapai standar yang ditetapkan. Apabila kriteria telah terpenuhi, penelitian dilanjutkan dengan pengumpulan

data secara sistematis, kemudian data dianalisis untuk menilai performa alat secara menyeluruh. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan sebelum penelitian dinyatakan selesai.

2.2 Rancangan Sistem Penjatuhan Bibit Singkong

Sistem penjatuhan bibit singkong dirancang agar setiap komponen dapat terpasang dengan kokoh dan bekerja secara optimal dalam satu kesatuan alat. Struktur utama terdiri dari *hopper*, *metering device*, as (poros), *pulley* dan *belt*, *covering*, saluran *output*, roda, dan rangka. Material yang digunakan harus memiliki ketahanan tinggi terhadap beban, gesekan, dan kondisi lingkungan pertanian. Dimensi dan bentuk setiap komponen disesuaikan agar alat dapat beroperasi dengan stabil serta memastikan distribusi bibit berlangsung dengan presisi.



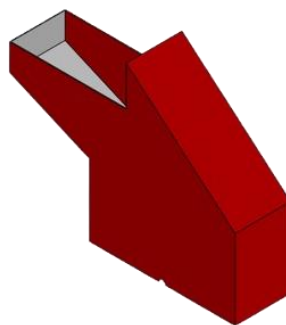
Keterangan:

1. *Hopper*
2. *Metering device*
3. Poros (As)
4. *Pulley dan belt*
5. *Covering*
6. Saluran output
7. Roda
8. Rangka

Gambar 1. Rancangan sistem penjatuhan bibit singkong

1. *Hopper*

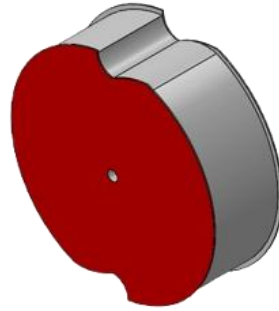
Dimensi *Hopper* $85 \times 21 \times 65$ cm dengan kemiringan $66,57^\circ$ dirancang untuk memastikan aliran bibit lancar tanpa penumpukan. Bibit disusun horizontal dengan bagian apikal di kiri dan basal di kanan agar arah jatuh tetap konsisten. Bagian output berukuran 55×21 cm, dilengkapi lubang internal 4×21 cm untuk menyalurkan bibit ke *metering device*.



Gambar 2. Rancangan *hopper*

2. *Metering Device*

Metering device dibuat dari plat 1 mm yang dibentuk menjadi tabung berdiameter 51 cm dan lebar 16,5 cm, dengan dua titik penjatuhan untuk menghasilkan jarak tanam 80 cm. Dimensi ini dipilih agar mekanisme bekerja stabil dan mencegah bibit tersangkut. Dua titik penjatuhan digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan keseragaman distribusi bibit. *Metering device* kemudian dihubungkan ke as berdiameter 19 mm ($3/4$ inci).



Gambar 3. Rancangan metering device

3. As (Poros)

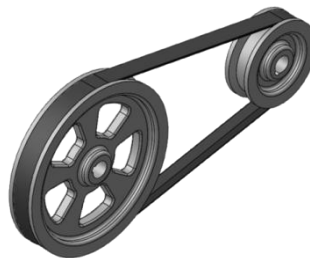
Poros berdiameter 19 mm (3/4 inci) dari *stainless*, dipasang horizontal dan terhubung ke *metering device* di satu sisi serta *pulley* 8 inci di sisi lainnya, sehingga putaran poros dapat menggerakkan sistem penjatuhan bibit secara konsisten. Dua *block bearing* dipasang pada rangka untuk menstabilkan rotasi dan mengurangi gesekan. As roda berdiameter 35 mm dipasang melintang di bagian bawah rangka dan ditopang bearing, dengan *pulley* yang dihubungkan ke *pulley metering device* menggunakan *belt*.



Gambar 4. Rancangan as (poros)

4. Pulley dan Belt

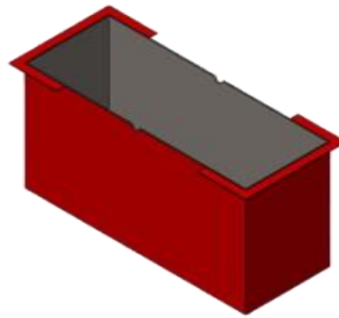
Sistem transmisi menggunakan *pulley* 5,5 inci pada poros roda dan 8 inci pada *metering device*, dihubungkan *belt* sepanjang 87 inci. Rasio transmisi menghasilkan putaran *metering device* dengan kecepatan optimal dan mampu menjatuhkan bibit setiap 80 cm.



Gambar 5. Rancangan pulley dan belt

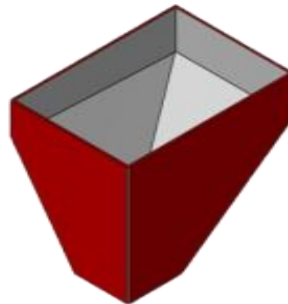
5. Covering

Covering berukuran 55 × 21 × 27 cm dengan saluran bawah 15 × 21 cm sebagai penghubung ke saluran output. Komponen ini dibuat dari pelat *mild steel* 1,5 mm yang kuat dan tahan korosi untuk melindungi bagian internal alat.

Gambar 6. Rancangan *covering*

6. Saluran Output

Saluran *output* berukuran tinggi 15 cm, bukaan atas 21×15 cm, dan bukaan bawah 7×7 cm dengan kemiringan $54,46^\circ$, dirancang untuk memastikan aliran bibit lancar dan jatuh tepat ke jalur tanam serta selaras dengan ukuran *covering*.

Gambar 7. Rancangan saluran *output*

7. Roda

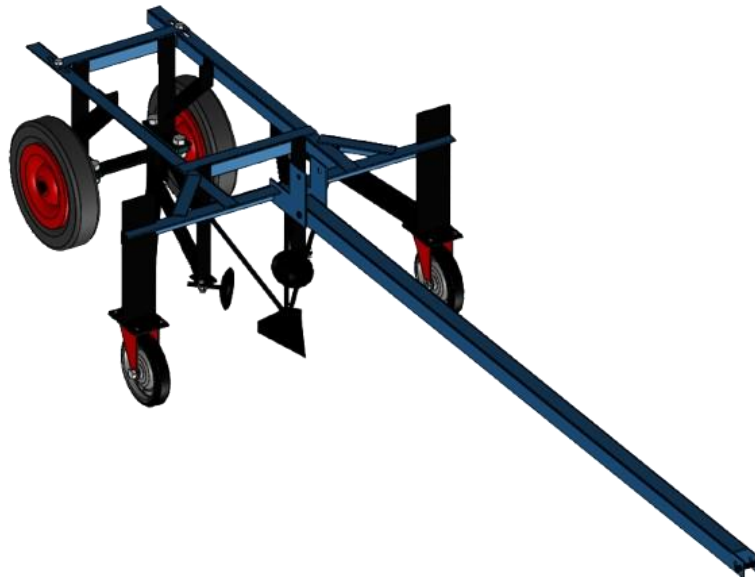
Roda berdiameter 35 cm, dipasang pada as yang terhubung ke rangka utama melalui dudukan *bearing*.



Gambar 8. Rancangan roda

8. Rangka

Rangka utama berukuran 1200×410 mm menggunakan besi siku $60 \times 6 \times 60$ mm untuk menjamin kekakuan dan kemudahan fabrikasi. Bagian depan dilengkapi plat dudukan berlubang sebagai titik sambungan ke *hand tractor*, sementara bagian belakang memiliki braket roda sebagai penopang dan pusat pemasangan roda penggerak.

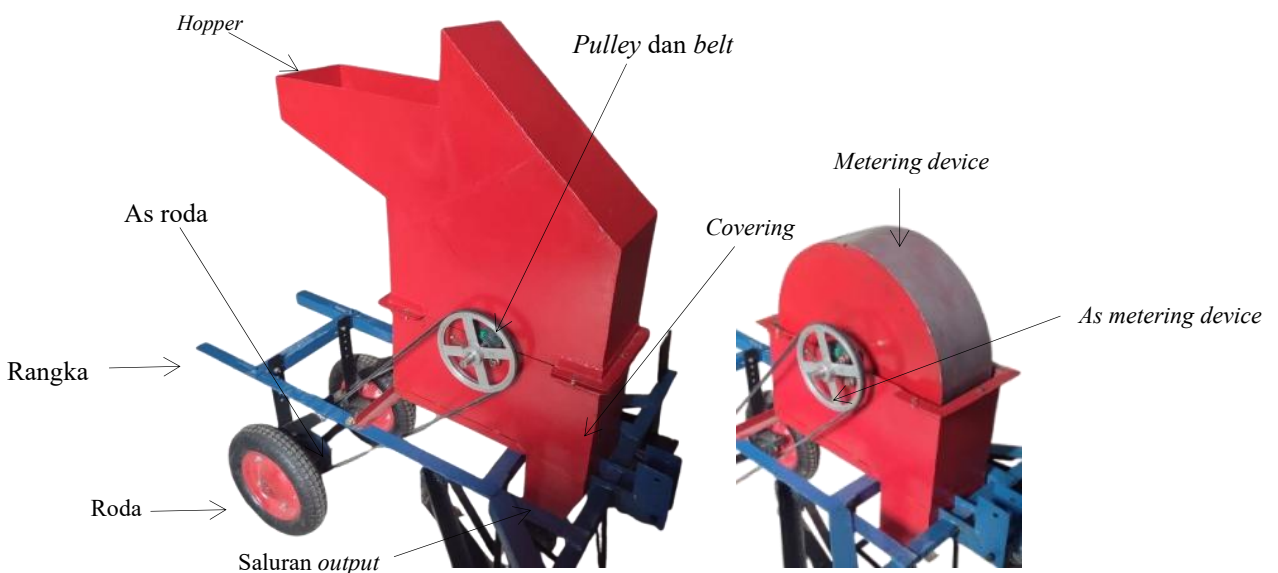


Gambar 9. Rancangan rangka

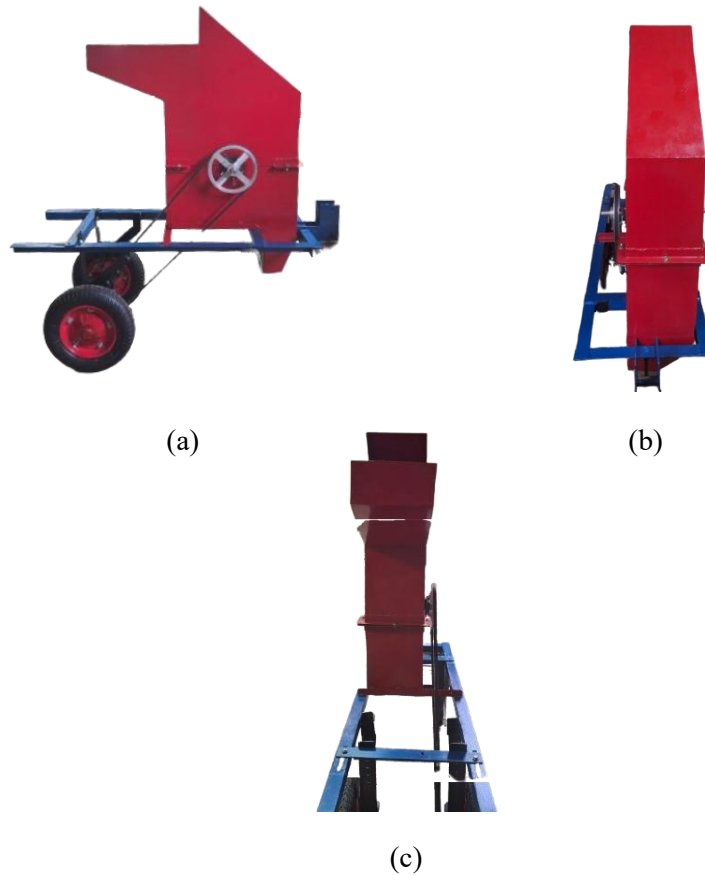
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Rancangan Sistem Penjatuhan Bibit Singkong

Fungsi utama sistem penjatuhan bibit singkong yang dirancang adalah untuk mengatur distribusi bibit secara seragam sesuai dengan jarak tanam yang telah ditetapkan, yaitu 80 cm dengan batas toleransi 5 cm guna mencapai proses penanaman yang efisien dan terstandar. Sistem ini dirancang agar mampu mengatur penjatuhan bibit secara periodik dan konsisten, seiring dengan pergerakan maju *hand tractor*. Melalui penerapan mekanisme ini, waktu pelaksanaan penanaman dapat diminimalkan. Sehingga ketergantungan terhadap tenaga kerja manusia dapat berkurang secara signifikan. Selain itu, sistem ini berperan dalam memastikan setiap titik tanam menerima satu bibit dengan posisi yang seragam guna mendukung keseragaman pertumbuhan vegetatif dan produktivitas tanaman singkong secara optimal.



Gambar 10. Sistem penjatuhan bibit singkong



Gambar 11. Sistem penjatuhan bibit singkong (a) tampak samping; (b) tampak depan; (c) tampak belakang

Tabel 1. Spesifikasi sistem penjatuhan bibit singkong

No.	Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi
1.	<i>Hopper</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensi: Panjang 85 cm, lebar 21 cm, tinggi 65 cm - Sudut kemiringan: $66,57^\circ$ - Material: Plat <i>mild steel</i> tebal 1,5 mm - Kapasitas: ≥ 50 stek singkong - Ukuran <i>output</i>: 55 cm \times 21 cm dengan lubang internal 4 cm \times 21 cm 	Sebagai penampung sementara bibit singkong sebelum dialirkan ke <i>metering device</i> , memastikan aliran bibit lancar tanpa penumpukan.
2.	<i>Metering Device</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Bentuk: Tabung silinder - Diameter: 51 cm - Lebar selimut: 16,5 cm - Jumlah ruang penjatuhan: 2 buah (setiap 80 cm) - Material: Plat <i>mild steel</i> tebal 1 mm - Poros: <i>Stainless steel</i> 304 \varnothing 19,05 mm - <i>Bearing</i>: <i>Pillow block</i> tipe UCF 204-12 ASB 	Mengatur jarak tanam secara presisi dengan menjatuhkan satu bibit setiap 80 cm melalui dua sel aktif per putaran tabung.
3.	As (Poros)	<ul style="list-style-type: none"> - Poros <i>metering</i>: \varnothing 19 mm ($\frac{3}{4}$ inci), bahan <i>stainless steel</i> - Poros roda: \varnothing 35 mm, bahan baja karbon - Ditopang oleh dua <i>block bearing</i> - Dihubungkan langsung ke <i>pulley metering</i> 	Mentransmisikan putaran dari sistem <i>pulley</i> dan <i>belt</i> ke <i>metering device</i> agar bekerja sinkron dengan pergerakan roda.
4.	<i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pulley</i> 1 (<i>driver</i>): \varnothing 5,5 inci (terhubung ke roda) 	Menghubungkan roda penggerak dengan

No.	Komponen	Spesifikasi Teknis	Fungsi
		<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pulley 2 (driven)</i>: Ø 8 inci (terhubung ke <i>metering device</i>) - <i>Belt</i>: <i>V-belt</i> panjang efektif 87 inci - Rasio transmisi: 0,6875 	<i>metering device</i> untuk mentransfer energi rotasi dan menjaga sinkronisasi jarak tanam.
5.	<i>Covering</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensi: Panjang 55 cm, lebar 21 cm, tinggi 27 cm - Saluran bawah: 15 cm × 21 cm - Material: Plat <i>mild steel</i> tebal 1,5 mm 	Melindungi mekanisme <i>metering device</i> dari debu, lumpur, dan gangguan lingkungan serta menjaga keselamatan operator.
6.	Saluran Output	<ul style="list-style-type: none"> - Tinggi: 15 cm - Lebar lubang atas: 21 × 15 cm - Lebar lubang bawah: 7 × 7 cm - Sudut kemiringan: 54,46° - Material: Plat <i>mild steel</i> 1,5 mm 	Menyalurkan bibit dari <i>metering device</i> ke tanah dengan orientasi horizontal agar posisi jatuh seragam.
7.	Roda	<ul style="list-style-type: none"> - Diameter: 35 cm - Lebar: 7 cm - Jenis: Roda gerobak sorong berlapis karet - Daya cengkeram tinggi, anti slip 	Sebagai penggerak utama alat yang mentransfer gerak rotasi ke sistem transmisi <i>pulley</i> dan <i>belt</i> .
8.	Rangka	<ul style="list-style-type: none"> - Ukuran: 1200 mm × 410 mm - Material: Besi siku 40 × 40 × 4 mm - Dudukan depan: Pelat berlubang untuk sambungan ke <i>hand tractor</i> melalui batang besi UNP 225 cm - Dudukan belakang: Braket roda 	Sebagai struktur utama yang menopang seluruh komponen dan menjaga kestabilan alat saat beroperasi di lahan.
9.	Sistem Transmisi dan Mekanisme Kerja	<ul style="list-style-type: none"> - Roda menggerakkan <i>pulley driver</i> Ø 5,5 inci - Energi rotasi diteruskan ke <i>pulley driven</i> Ø 8 inci melalui <i>belt</i> - Rasio putaran menghasilkan jarak tanam 80 cm - Satu rotasi penuh <i>metering</i> menghasilkan dua penjatuhan bibit 	Mengubah gerak maju <i>hand tractor</i> menjadi rotasi <i>metering device</i> agar bibit dijatuhkan dengan jarak tanam konstan dan teratur.

3.1.1 Spesifikasi Teknis Sistem Penjatuhan Bibit Singkong

Sistem penjatuhan bibit singkong terdiri dari komponen terintegrasi untuk memastikan penanaman efisien dan teratur. *Hopper* berfungsi menampung ≥ 50 stek, terbuat dari mild steel 1,5 mm berbentuk prisma segitiga dengan sudut 66,57°, ditempatkan di atas *metering device* agar bibit jatuh lancar ke ruang penjatuhan.



Gambar 12. *Hopper*

Metering device mengatur penjatuhan bibit singkong sesuai jarak tanam. Berbentuk tabung silinder ($\text{Ø}51$ cm, lebar 16,5 cm) dengan dua ruang penjatuhan untuk satu stek 16 cm tiap *cell*. Terbuat dari *mild steel* 1 mm, poros *stainless steel* $\text{Ø}19,05$ mm ditopang dua *pillow block bearing*. Terhubung ke *pulley*, satu rotasi tabung menjatuhkan dua bibit pada jarak 80 cm.



Gambar 13. *Metering device* dan as (poros)

Sistem transmisi memindahkan energi dari *hand tractor* ke *metering device* melalui roda penggerak ($\text{Ø}35$ cm, lebar 7 cm, berlapis karet), *pulley* (*driver* $\text{Ø}8$ inci, *driven* $\text{Ø}5,5$ inci), dan *belt*. Rasio *pulley* menyesuaikan kecepatan putaran *metering* agar bibit dijatuhkan setiap 80 cm.



Gambar 14. Roda, *pulley*, dan *belt*

Saluran *output* berbentuk corong dari pelat *mild steel* 1,5 mm, tinggi 15 cm, kemiringan $54,46^\circ$, untuk menyalurkan bibit singkong dari *metering device* ke tanah secara horizontal dan lancar.



Gambar 15. *Covering* dan saluran *output*

Rangka utama terbuat dari besi siku $40 \times 40 \times 4$ mm berukuran 1200×410 mm, berfungsi menopang seluruh komponen dan menjaga kestabilan alat, dengan pelat dudukan depan untuk sambungan ke *hand tractor* dan braket roda belakang.



Gambar 16. Rangka

3.1.2 Mekanisme Kerja Sistem

Mekanisme operasi bekerja secara transmisi mekanik pasif: gerak maju *hand tractor* memutar roda 35 cm, yang menggerakkan *pulley* dan *belt* ke poros *metering*. Satu siklus pelepasan terjadi setiap 80 cm, menjatuhkan satu stek ke saluran output dengan orientasi horizontal. Operator mengisi hopper secara berkala dan memantau aliran bibit agar terus lancar dan tidak tersumbat.

3.2 Pra Pengujian Sistem

Pra pengujian sistem penjatuhan bibit bertujuan mengecek kesiapan mekanik alat setelah fabrikasi. Pada tahap ini ditemukan *metering device* tersangkut di *cover* akibat poros tidak sejajar. Ketidaksejajaran menyebabkan gesekan dan mengganggu rotasi serta distribusi bibit. Solusinya, *metering device* dibuat ulang dengan penyalarsan poros dan toleransi presisi. Setelah perakitan ulang, rotasi berjalan lancar dan sistem berfungsi stabil, memastikan seluruh komponen sinkron sebelum uji performa lapangan.

3.3 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan di lahan kering yang digemburkan untuk menilai kinerja alat secara keseluruhan, dengan dua operator: satu mengendalikan *hand tractor* dan satu mengisi *hopper* agar suplai bibit tetap stabil.

3.3.1 Akurasi Jarak Tanam (A_1 , %)

Pengujian akurasi jarak tanam dilakukan untuk menentukan persentase bibit yang terjatuh sesuai target jarak tanam 80 cm dengan toleransi ± 5 cm. Pengujian dilakukan pada lintasan sepanjang 20 meter per guludan dengan menggunakan meteran, pita ukur, dan lembar observasi. Alat dijalankan mengikuti lintasan lurus dan mekanisme penjatuhan dibiarkan bekerja otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata jarak tanam sebesar $(81,02 \pm 8,02)$ cm (U1), $(80,76 \pm 2,98)$ cm (U2), dan $(80,60 \pm 2,82)$ cm (U3) dengan nilai rata-rata keseluruhan $(80,79 \pm 1,24)$ cm. Simpangan baku sebesar 1,24 cm mengindikasikan variasi jarak yang relatif rendah antar titik tanam. Persentase akurasi jarak tanam berada pada kisaran 78–82% dengan nilai rata-rata 80%, menunjukkan bahwa mekanisme penjatuhan bibit mampu menghasilkan jarak tanam mendekati target desain.

Akurasi jarak tanam merupakan indikator penting bagi efektivitas alat karena berkaitan dengan keseragaman populasi tanaman. Laoli dan Najma (2025) menyatakan bahwa keseragaman jarak tanam berpengaruh langsung terhadap distribusi nutrisi, intensitas cahaya, dan efisiensi penggunaan

lahan. Benti *et al.* (2022) menambahkan bahwa jarak antar tanaman 80 cm merupakan jarak optimal untuk mengurangi kompetisi internal tanaman singkong, sehingga produktivitas umbi dapat dimaksimalkan.

Beberapa faktor penyimpangan hasil terutama terkait karakteristik fisik bibit, seperti bentuk tidak seragam, permukaan kasar, dan gesekan antar batang. Pada kondisi tertentu bibit mengalami hambatan di *hopper* atau saluran penjatuhan, menyebabkan keterlambatan pelepasan atau bahkan pelepasan ganda. Oleh karena itu operator kedua berperan penting dalam menjaga kelancaran aliran bibit melalui penataan ulang, pemberian getaran ringan, atau intervensi manual ketika bibit tampak tersangkut.

Berdasarkan 150 sampel pengukuran, ditemukan bibit yang jatuh di luar toleransi sebanyak 10 bibit (U1), 11 bibit (U2), dan 8 bibit (U3). Bibit yang jatuh lebih jauh (>85 cm) disebabkan oleh keterlambatan pelepasan, sedangkan jarak terlalu dekat (<75 cm) disebabkan pelepasan beruntun setelah bibit yang tersangkut akhirnya jatuh bebas. Pola penyimpangan tersebut lebih banyak dipengaruhi gangguan aliran bibit dibanding kesalahan desain mekanis.

Perhitungan waktu jatuh bebas digunakan untuk memahami dinamika penjatuhan bibit dari saluran output. Dengan ketinggian jatuh efektif 40 cm, waktu jatuh bebas bibit adalah 0,285 detik, diperoleh dari persamaan $t = \sqrt{2h/g}$. Meskipun singkat, waktu ini memengaruhi sinkronisasi antara kecepatan maju alat dan putaran *metering device*, terutama pada kecepatan operasi yang berubah-ubah.

Secara mekanis sinkronisasi jarak tanam dipengaruhi oleh desain transmisi. Roda berdiameter 35 cm memiliki keliling 110 cm, dan rasio *pulley* 0,6875 menghasilkan dua kali pelepasan bibit setiap 160 cm, atau 80 cm per bibit seperti rancangan awal. Hal ini konsisten dengan laporan Yang *et al.* (2022) yang menekankan pentingnya kesesuaian antara kecepatan translasi alat dan putaran mekanisme penjajah.

Meskipun terdapat deviasi pada beberapa titik, simpangan baku rendah (1,24 cm) menunjukkan sebaran data yang rapat di sekitar nilai rata-rata. Penyimpangan lebih banyak terjadi akibat slip roda pada permukaan tanah lembap, ketegangan sabuk transmisi yang berubah selama operasi, serta variasi kecepatan operator. Dengan tingkat akurasi 80%, sistem penjatuhan bibit dapat dikategorikan baik dan layak dikembangkan untuk kondisi lapangan lebih variatif. Ilmiasari *et al.* (2024) juga menyatakan bahwa keseragaman jarak tanam yang mendekati 80% sudah cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman singkong secara optimal.

3.3.2 Akurasi Posisi Jatuh (A_2 , %)

Pengujian akurasi posisi jatuh dilakukan untuk menilai kesesuaian sudut kemiringan bibit dengan standar desain alat, yaitu 0°–45°. Pengukuran dilakukan dengan busur derajat dan dokumentasi foto untuk memvalidasi pengamatan visual. Orientasi bibit diklasifikasikan dalam tiga kategori: 0°–15°, 16°–30°, dan 31°–45°.

Berdasarkan 50 titik tanam pada setiap ulangan, diperoleh rata-rata kemiringan bibit 3,8° (U1), 4,2° (U2), dan 3,3° (U3) dengan rata-rata keseluruhan 3,8°. Sebanyak 92% bibit jatuh pada rentang 0°–15°, 8% pada 16°–30°, dan tidak ada bibit pada rentang 31°–45°. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penjatuhan bibit mampu menghasilkan posisi tanam mendekati horizontal dengan konsistensi mekanis yang baik.

Orientasi mendatar memberikan beberapa keuntungan agronomis, seperti kontak mata tunas dengan tanah yang lebih merata dan pembentukan akar yang lebih baik. Abass *et al.* (2014) menyatakan bahwa penanaman mendatar meningkatkan perkembangan akar primer dan tunas lateral, terutama pada kondisi tanah kering. FAO (2013) juga menyebutkan bahwa orientasi horizontal membantu pembentukan akar sepanjang ruas batang.

Namun, sejumlah kecil bibit berada pada rentang 16°–30% yang kemungkinan disebabkan

oleh getaran alat, kondisi guludan yang tidak rata, atau variasi ukuran bibit. Meskipun variasinya kecil, hal ini menunjukkan bahwa faktor lapangan tetap berpengaruh pada konsistensi orientasi stek. Nilai standar deviasi yang rendah ($3,639^\circ$) memperkuat bahwa sistem memiliki kinerja penjatuhan yang stabil. Dengan hasil akurasi $>90\%$ dalam rentang posisi ideal, sistem penjatuhan bibit dapat dikategorikan sangat baik untuk prototipe yang dioperasikan dengan *hand tractor*. Namun evaluasi lanjutan tetap diperlukan pada berbagai kondisi lapangan untuk memvalidasi kestabilan orientasi bibit dalam skala lebih luas.

3.3.3 Kecepatan Operasional (V , m/s)

Pengujian kecepatan operasional dilakukan pada lintasan sepanjang 40 meter menggunakan *stopwatch*. Hasil tiga ulangan menunjukkan kecepatan masing-masing 0,186 m/s (U1), 0,194 m/s (U2), dan 0,173 m/s (U3), dengan rata-rata 0,184 m/s. Nilai ini berada dalam rentang kecepatan optimal untuk sistem penanaman mekanis tanaman umbi-umbian (0,15–0,25 m/s), sebagaimana dilaporkan Liu *et al.* (2024). Kecepatan di atas rentang tersebut dapat menurunkan ketepatan jarak tanam karena bibit membutuhkan waktu jatuh bebas yang tetap yaitu 0,285 detik. Peningkatan kecepatan operasi juga meningkatkan getaran mekanis dan risiko pelepasan tidak seragam. Hasil uji menunjukkan variasi kecil (selisih $\pm 0,02$ m/s), yang kemungkinan dipengaruhi kondisi guludan, kekasaran tanah, dan konsistensi gaya dorong operator. Variasi rendah ini menunjukkan stabilitas mekanis alat, khususnya pada sistem transmisi roda-*pulley-belt*. Kecepatan 0,184 m/s memberikan keseimbangan antara efisiensi waktu dan akurasi penjatuhan bibit. Kecepatan yang lebih tinggi berpotensi memperbesar deviasi jarak tanam. Dalam konteks ini, alat bekerja dalam rentang kecepatan yang aman dan sesuai dengan prinsip kinematika penanaman semi otomatis.

3.3.4 Kapasitas Kerja Teoritis (C_t , ha/jam)

Kapasitas kerja teoritis dihitung berdasarkan lebar kerja efektif 0,25 meter dan kecepatan operasional rata-rata. Uji dilakukan pada dua guludan sejajar sepanjang 20 meter. Hasil pengujian menunjukkan nilai C_t masing-masing 0,0167 ha/jam (U1), 0,0175 ha/jam (U2), dan 0,0156 ha/jam (U3), dengan rata-rata 0,0166 ha/jam. Nilai ini sejalan dengan performa alat tanam semi otomatis skala kecil yang umumnya berada pada rentang 0,010–0,025 ha/jam (Rathore dan Chaturvedi, 2018; Laryushin *et al.*, 2020). Perbedaan kecil antar ulangan disebabkan oleh kecepatan operasi yang bervariasi serta kondisi guludan. Secara teknis, kapasitas kerja teoritis bergantung pada kecepatan gerak dan lebar kerja alat. Meskipun kapasitas dapat ditingkatkan dengan menaikkan kecepatan, hal tersebut berpotensi menurunkan akurasi penjatuhan bibit. Oleh karena itu kecepatan 0,184 m/s dianggap ideal untuk mencapai kombinasi terbaik antara kapasitas dan akurasi. Nilai C_t sebesar 0,0166 ha/jam menunjukkan alat memiliki potensi efisiensi yang baik pada kondisi ideal dan siap diuji dalam skala lapangan yang lebih luas.

3.3.5 Kapasitas Kerja Aktual (C_a , ha/jam)

Pengujian kapasitas kerja aktual memperhitungkan waktu hilang seperti penyesuaian alat, pengisian bibit, dan manuver operator. Dengan luas area tertanami 0,00105 ha per ulangan, diperoleh nilai C_a sebesar 0,0094 ha/jam (U1), 0,0096 ha/jam (U2), dan 0,0083 ha/jam (U3), dengan rata-rata 0,0093 ha/jam. Nilai aktual ini setara 56% dari C_t dan berada dalam kisaran umum alat tanam semi otomatis (40–60%), sebagaimana dilaporkan Amalia dan Syafruddin (2022) dan D'Antonio *et al.* (2023). Dalam pengujian, beban non-produktif seperti hambatan tanah, slip roda, dan keterampilan operator turut memengaruhi hasil. Nilai C_a sebesar 0,0093 ha/jam menunjukkan bahwa alat mampu bekerja pada tingkat efisiensi tinggi untuk alat dorong semi otomatis di lahan kecil. Nilai ini juga konsisten dengan hasil penelitian alat penanam umbi sederhana lainnya (Amalia *et al.*, 2021; Miah *et al.*, 2023).

3.3.6 Efisiensi Lapang (η , %)

Efisiensi lapang dihitung berdasarkan perbandingan C_a dengan C_t . Hasil uji menunjukkan nilai efisiensi sebesar 56,41% (U1), 55,21% (U2), dan 56,68% (U3), dengan rata-rata 56,10%. Nilai efisiensi ini menunjukkan bahwa lebih dari separuh kapasitas teoritis dapat direalisasikan di lapangan. Angka tersebut termasuk baik untuk alat penanam semi otomatis bertenaga manusia, sesuai kisaran 50–65% yang dilaporkan oleh D'Antonio *et al.* (2023) dan Scarfone *et al.* (2021). Nilai ini juga mendekati efisiensi alat tanam semi otomatis berbasis *power tiller* (61,18%) yang dilaporkan Miah *et al.* (2023). Faktor yang memengaruhi efisiensi antara lain kondisi permukaan tanah, keterampilan operator, waktu penyesuaian alat, dan kontinuitas aliran bibit. Dengan nilai efisiensi 56,10%, alat dinilai bekerja stabil dan efisien untuk penggunaan skala kecil hingga menengah.

3.4 Pembahasan Umum

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem penjatuhan bibit singkong yang dikembangkan mampu bekerja secara stabil dan konsisten dalam mendukung proses penanaman semiotomatis. Akurasi jarak tanam rata-rata sebesar 80,79 cm menegaskan bahwa sinkronisasi antara diameter roda penggerak, rasio *pulley-belt*, dan putaran *metering device* telah berfungsi dengan baik dalam menjaga keteraturan jarak tanam. Meskipun demikian, beberapa jarak tanam terukur melebihi nilai desain akibat hambatan aliran bibit di dalam hopper. Ketika bibit mengalami kemacetan, pelepasan bibit tertunda, dan dikombinasikan dengan waktu jatuh bebas sebesar 0,285 detik, posisi jatuh bibit bergeser sehingga jarak tanam menjadi lebih panjang dari rancangan.

Akurasi posisi jatuh mencapai 92% dalam rentang ideal 0–15°, dengan rata-rata kemiringan 3,8°, yang menunjukkan bahwa saluran penjatuhan telah mampu mempertahankan orientasi mendatar, suatu kondisi yang mendukung pembentukan akar lateral dan pertumbuhan awal tanaman yang lebih seragam. Kecepatan operasional berada pada kisaran 0,172–0,193 m/s, menunjukkan tingkat kestabilan yang memadai untuk memastikan keserasian antara gerak translasi alat dan rotasi *metering device*.

Kapasitas kerja teoritis sebesar 0,01657 ha/jam dan aktual sebesar 0,00929 ha/jam menghasilkan efisiensi lapang 56,10%. Nilai ini sesuai dengan karakter alat semiotomatis skala kecil yang secara alami menghadapi waktu hilang akibat pengisian bibit, penyesuaian posisi alat, serta ketidakseragaman lahan. Dibandingkan alat otomatis berskala besar, kapasitas kerja memang lebih rendah, namun prototipe ini menunjukkan performa yang kompetitif untuk alat tanam berbiaya rendah dan berorientasi pada petani kecil.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penjatuhan bibit singkong berhasil dirancang melalui integrasi roda penggerak, transmisi *pulley-belt*, dan *metering device* dua ruang yang bekerja secara sederhana dan efisien.
2. Sistem mampu menghasilkan jarak tanam sesuai desain, dengan rata-rata ($80,79 \pm 1,24$) cm, yang menunjukkan sinkronisasi transmisi dan kestabilan mekanisme penjatuhan bibit.
3. Posisi jatuh bibit berada pada kategori ideal, dengan 92% bibit berada pada sudut 0°–15° dan rata-rata kemiringan 3,8°, menandakan saluran penjatuhan efektif menjaga orientasi mendatar sesuai prinsip agronomis.
4. Kinerja alat menunjukkan peningkatan efisiensi penanaman dibanding metode manual, dengan kecepatan 0,184 m/s, kapasitas kerja aktual 0,00929 ha/jam, dan efisiensi lapang 56,10% yang tergolong baik untuk alat semiotomatis tahap awal pengembangan.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan uji performa yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu penyempurnaan *metering device* melalui penambahan bearing atau pemandu poros untuk meningkatkan stabilitas rotasi.
2. Pengembangan sistem tenaga mandiri (*self-propelled*) disarankan agar pengoperasian lebih fleksibel dan efisiensi lapangan meningkat.
3. Sistem penyalur bibit dari *hopper* ke *metering device* perlu dirancang agar bibit keluar satu per satu secara konsisten untuk mencegah kemacetan dan deviasi jarak tanam.
4. Uji lapangan lanjutan pada berbagai kondisi lahan diperlukan untuk mengevaluasi ketahanan sistem secara lebih komprehensif.
5. Optimalisasi rasio transmisi dan desain saluran pembuangan bibit diperlukan untuk meningkatkan kontrol jarak tanam dan mencegah penyumbatan.
6. Kapasitas *hopper* dan saluran pengarah bibit perlu ditingkatkan guna mengurangi waktu tidak produktif selama operasi.
7. Analisis ekonomi dan ergonomi alat perlu dilakukan untuk menilai kelayakan komersial dan kenyamanan operasional bagi petani.

Daftar Pustaka

- Abass, A. B., Towo, E., Mukuka, I., Okechukwu, R., Ranaivoson, R., Tarawali, G., dan Kanju, E. (2014). *Growing cassava: a training manual from production to postharvest*. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Amalia, A. F., dan Syafruddin. (2022). Performance of planting tools (seed planter) on rice land, Palu City, Central Sulawesi. *Jurnal Agritechno*, 15(2), 103-108. <https://doi.org/10.20956/at.vi.739>.
- Benti, G., Tadesse, F., Degefa, G., Waqgari, G., dan Jafar, M. (2022). Effect of spacing and pruning methods on root yield and yield parameters of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) in Fedis District, East Harerghe Zone, Ethiopia. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 9(1), 22-28. Doi: [10.9734/ajahr/2022/v9i130134](https://doi.org/10.9734/ajahr/2022/v9i130134).
- Bukhtiarova, A., Hayriyan, A., Chentsov, V., dan Sokol, S. (2019). Modeling the impact assessment of agricultural sektor on economic development as a basis for the country's investment potential. *Investment Management and Financial Innovations*, 16(3), 229-240. [https://doi.org/10.21511/Imfi.16\(3\).2019.21](https://doi.org/10.21511/Imfi.16(3).2019.21).
- D'Antonio, P., Mehmeti, A., Toscano, F., dan Fiorentino, C. (2023). Operating performance of manual, semi-automatic, and automatic tractor guidance systems for precision farming. *Research in Agricultural Engineering*, 69(4), 179-188. <https://doi.org/10.17221/5/2023-rae>.
- FAO. (2013). *Save and grow cassava a guide to sustainable production intensification*. Rome: FAO. <https://www.fao.org/3/i3278e/i3278e.pdf>
- Ilmiasari, Y., Harini, N. V. A., Ahmal, V. J., dan Nikmah, K. (2024). Perbaikan stek dan jarak tanam untuk meningkatkan produksi ubi kayu (*Manihot Utilissima*) di Tulang Bawang Barat dalam mendukung ketahanan pangan. *Agritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 22(2), 116–122. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v22i2.2607>.
- ILO. (2018). *World employment social outlook 2018: greening with jobs*. International Labour Office.
- Kartika, T. (2018). Pengaruh Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung (*Zea mays L*) Non Hibrida di Lahan Balai Agro Teknologi Terpadu (ATP). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 15(2). <https://doi.org/10.31851/Sainmatika.V15i2.2378>
- Laoli, D. E., dan Najma. (2025). Pengaturan jarak tanam optimal untuk meningkatkan produktivitas

- tanaman hortikultura. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*,2(1), 43-48. <https://doi.org/10.70134/penarik.v2i1.294>.
- Laryushin, N., Kukharev, O., Bochkarev, A., dan Bochkarev, V. (2020). Laboratory field studies of mini potato planter. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700150>.
- Lesmana, S., Mukhlis., Soim, A., dan Natasya, G. Y. (2021). *From zero to hero: merajut sinergi terapkan inovasi pertanian dari Aceh hingga Papua*. BBP2TP. Bogor.
- Liu, Z., Hua, L., Lyu, Z., Hu, J., dan Zheng, W. (2024). Optimization and experimental analysis of sweet potato ship-shaped transplanting trajectory using particle swarm algorithm. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 17(3), 100-107. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20241703.8201>.
- Miah, M., Rahman, M., Hoque, M., Ibrahim, S., Sultan, M., Shamshiri, R., Ucgul, M., Hasan, M., dan Barna, T. (2023). Design and evaluation of a power tiller vegetable seedling transplanter with dibbler and furrow type. *Helicon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.helicon.2023.e17827>.
- Rathore, F., dan Chaturvedi, S. (2018). Development and performance evaluation of manually operated potato planter. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*. <https://doi.org/10.18805/bkap121>.
- Scarfone, A., Picchio, R., Del Giudice, A., Latterini, F., Mattei, P., Santangelo, E., dan Assirelli, A. (2021). semi-automatic guidance vs. manual guidance in agriculture: a comparison of work performance in wheat sowing. *Electronics*. <https://doi.org/10.3390/electronics10070825>.
- Yang, S., Zhai, C., Gao, Y., Dou, H., Zhao, X., He, Y., dan Wang, X. (2022). Planting uniformity performance of motor-driven maize precision seeding system. *Int J Agric dan Biol Eng*, 15(5), 101-108. Doi: 10.25165/j.ijabe.20221505.5911.