

**RANCANG BANGUN SISTEM PENJATUHAN BIBIT SINGKONG
(*Manihot esculenta* Crantz) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
PENANAMAN**

Skripsi

Oleh

**RAIHAN RAMADHAN
2114071044**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM PENJATUHAN BIBIT SINGKONG (*Manihot esculenta* Crantz) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PENANAMAN

Oleh

RAIHAN RAMADHAN

Penanaman singkong di Indonesia masih banyak dilakukan secara manual, sehingga memerlukan tenaga kerja besar, waktu yang lebih lama, serta menghasilkan jarak dan posisi tanam yang kurang presisi. Mekanisasi penanaman menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil tanam, namun alat tanam singkong yang tersedia umumnya berbiaya tinggi dan kurang terjangkau petani skala kecil. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji kinerja sistem penjatuhan bibit singkong semiotomatis yang sederhana, efisien, dan sesuai kebutuhan petani. Sistem dirancang menggunakan komponen mekanis berupa roda penggerak, transmisi *pulley* dan *belt*, serta *metering device* berbentuk tabung silinder dengan dua ruang penjatuhan yang digerakkan secara sinkron dengan putaran roda. Pengujian dilakukan untuk menilai akurasi jarak tanam, orientasi posisi jatuh bibit, kecepatan operasional, kapasitas kerja, dan efisiensi lapang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja sesuai rancangan dengan rata-rata jarak tanam 80,79 cm, mendekati nilai desain. Uji orientasi bibit menunjukkan bahwa 92% bibit jatuh pada sudut 0° – 15° dengan rata-rata kemiringan $3,8^{\circ}$, yang sesuai dengan rekomendasi agronomis untuk mendukung pertumbuhan tunas dan akar. Kecepatan operasional alat mencapai 0,184 m/s

(0,66 km/jam), dengan kapasitas kerja teoritis 0,01657 ha/jam dan kapasitas kerja aktual 0,00929 ha/jam, menghasilkan efisiensi lapang rata-rata 56,10%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem penjatuhan bibit semiotomatis yang dikembangkan mampu meningkatkan efisiensi penanaman dibandingkan metode manual serta menghasilkan jarak dan posisi tanam yang lebih seragam.

Kata kunci: penanaman singkong, mekanisasi, sistem penjatuhan bibit, *metering device*.

ABSTRACT

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) SEED DROPPING SYSTEM TO ENHANCE PLANTING EFFICIENCY

By

RAIHAN RAMADHAN

Cassava planting in Indonesia is still predominantly carried out manually, requiring substantial labor, longer operational time, and resulting in planting distances and orientations that are often imprecise. Mechanizing the planting process offers a potential solution to improve efficiency and planting quality; however, existing cassava planters are generally expensive and less accessible for small-scale farmers. 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, seed dropping system, metering device.

**RANCANG BANGUN SISTEM PENJATUHAN BIBIT SINGKONG
(*Manihot esculenta* Crantz) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
PENANAMAN**

Oleh

Raihan Ramadhan

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul

**: RANCANG BANGUN SISTEM
PENJATUHAN BIBIT SINGKONG (*Manihot
esculenta* Crantz) UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI PENANAMAN**

Nama Mahasiswa

: Raihan Ramadhan

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114071044

Jurusan

: Teknik Pertanian

Fakultas

: Pertanian



Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si.
NIP. 197007031998022001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.
NIP. 197801022003121001

MENGESAHKAN

1. Penguji

Ketua

: Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.

Sekretaris

: Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Ir. Tamrin, M.S.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Desember 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Raihan Ramadhan** NPM **2114071044** dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM.** dan 2) **Dr. Siti Suharyatun, S.TP, M.Si.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 15 November 2025
Yang membuat pernyataan,



Raihan Ramadhan
NPM. 2114071044

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Raihan Ramadhan, lahir di Podorejo pada tanggal 15 November 2002 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putra dari pasangan Bapak Agus Masariyanto dan Ibu Rina. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri 3 Rejosari dan lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 4

Pringsewu dan lulus pada tahun 2018, serta SMA Negeri 2 Pringsewu dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan. Salah satunya dengan menjabat sebagai Ketua Bidang Dana dan Usaha Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Universitas Lampung periode tahun 2024. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Muara Tenang, Kec. Tanjung Raya, Kab. Mesuji pada periode 1 tahun 2024, serta melakukan Praktik Umum (PU) di *Workshop* Alat dan Mesin Pertanian Provinsi Lampung dengan judul kegiatan “*Modifikasi Implemen Glebeg pada Hand Traktor Yanmar YZC-L Dengan Mesin Diesel Yanmar TF 105ML*”.

MOTO

"1% usaha, 99% hasbunallah wanikmal wakil."

"Akar yang paling kuat tumbuh jauh di dalam tanah, tak butuh dilihat untuk menjadi besar."

"Sunyi bukan lemah, tapi strategi."

"Petir lahir dari gelap, menggema di riuh hujan, menegaskan keberadaannya tanpa takut disalahpahami langit."

(Raihan Ramadhan, 2025)

Persembahan

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Dengan rasa syukur yang mendalam, karya ini kupersembahkan untuk:

Ayah dan Ibu Tercinta,

yang setiap doa dan pengorbanannya tak pernah lelah mengiringi langkahku.

Adikku,

yang menjadi alasan bagiku untuk terus tumbuh dan menjadi jembatan agar kau bisa melangkah lebih jauh.

Kakek dan Nenekku,

yang kasih dan petuahnya menjadi akar keteguhan dalam hidupku.

Diriku Sendiri,

yang bertahan bukan karena tak lelah, tetapi karena mengerti makna dari sebuah tujuan.

Semoga lembar demi lembar dalam karya ini tidak hanya menjadi penutup perjalanan akademik, tetapi juga pembuka jalan menuju mimpi-mimpi yang lebih besar.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi di waktu yang tepat. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai pemberi syafaat di akhir kelak. Aamiin. Skripsi ini berjudul **“Rancang Bangun Sistem Penjatuhan Bibit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Untuk Meningkatkan Efisiensi Penanaman”**.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. ASEAN Eng., selaku Rektor Universitas Lampung, atas kepemimpinan dan dukungannya dalam mewujudkan lingkungan akademik yang inspiratif dan kondusif;
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M. P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses akademik;
3. Prof. Dr. Ir. Warji, S.TP., M.Si., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Pembimbing Akademik, dan sekaligus sebagai Pembimbing I, atas segala bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan sejak awal masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini;
4. Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, atas segala waktu, perhatian, serta bimbingan dan masukan berharga yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini;
5. Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku Dosen Pembahas, atas segala masukan, saran, dan evaluasi yang membangun dalam proses seminar dan penyempurnaan skripsi ini;

6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, atas ilmu, bimbingan, serta bantuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan;
7. Orang tuaku yang sangat kuhormati dan kucintai, Ayahku, Agus Masariyanto, dan Ibuku, Rina. Dengan segenap rasa syukur yang tak terhingga atas segala yang telah diberikan sepanjang hidupku, terima kasih atas cinta yang tak pernah surut, kesabaran yang tanpa batas, dan pengorbanan yang tiada tara. Setiap tetes keringat yang jatuh, setiap doa yang dipanjatkan, dan setiap pelukan hangat yang meski jarang ku rasakan, telah menjadi fondasi terkuat yang menopang langkahku hingga saat ini. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat-Nya kepada kalian, membalas segala kebaikan dan kasih sayang dengan kesehatan yang sempurna, kebahagiaan yang tak terhingga, dan surga yang kekal abadi. Amin;
8. Adikku terhebat, Muhammad Refan Samudro, yang menjadi salah satu harap penulis. Semoga langkahmu selalu terarah dan keberanianmu tumbuh lebih kuat dari hari ke hari, serta menjadi pribadi yang lebih baik dari kakakmu ini;
9. Kakek dan nenekku tersayang, Kakung Kasmin dan Uti Samiyah yang selalu mendoakan, serta Kakung Mahfud Sidik (almarhum) dan Uti Suhartini (almarhumah) yang telah lebih dahulu berpulang. Terima kasih atas kasih sayang yang tulus dan doa-doa yang menjadi pelindung langkah-langkahku. Kehangatan nasihat dan keteladanan kalian adalah warisan batin yang tak pernah lekang oleh waktu. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan dan keberkahan bagi yang masih kebersamai, serta menempatkan yang telah tiada di sisi terbaik-Nya, dalam kedamaian dan ampunan yang luas. Amin;
10. Moga, Manan, Wahyu, Rio, Rafli, Zikri, Oki, Ihut, Rahmat, Hombing, sahabat sekaligus *helper* terbaik dalam proses panjang penelitian ini. Terima kasih atas bantuan yang tak ternilai. Semoga segala kebaikanmu dibalas dengan keberkahan dan kesuksesan;
11. Rayza Al Fattah Marpaung, teman seperjuangan dalam menyelesaikan penelitian ini. Alat yang kami rancang memang berbeda, tetapi tetap

terhubung sebagai satu kesatuan. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, dan perjuangannya hingga penelitian ini dapat sampai pada tahap akhir.

12. Rekan-rekan seperjuangan dalam perkuliahan, *Robek* dan *Asmo*. Terima kasih atas tawa, semangat, dan persaudaraan yang mengiringi langkah-langkah kita selama menempuh perjalanan ini. Dalam lelah dan gelisah, kalian hadir sebagai penguat dan pengingat bahwa perjuangan ini tidak ditempuh seorang diri. Semoga ikatan ini tetap terjaga, dan langkah kita masing-masing diberkahi kesuksesan di masa depan;
13. Keluarga besar Teknik Pertanian 2021, *Ekawira Nawasena* — satu jiwa pejuang untuk masa depan yang gemilang. Terima kasih atas kebersamaan dan semangat yang tak pernah padam;
14. Wanitaku di masa depan, di antara baris doa dan waktu yang terus berjalan, ada harapan yang diam-diam tumbuh. Bukan tentang siapa, tetapi tentang seseorang yang kelak akan memahami bahwa karya ini lahir dari perjalanan yang penuh kesabaran, keyakinan, dan ketulusan yang tak pernah padam. Semoga waktu terbaik hati mempertemukan kita di saat yang tepat, ketika aku telah selesai berjuang menjadi versi terbaik dari diriku sendiri;
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih telah memberikan dukungan dan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung;
16. Diriku di masa depan, semoga tetap teguh pada prinsip dan impian yang kini ditanamkan. Jangan pernah lupa dari mana asal perjalanan ini dimulai, dan selalu ingat bahwa setiap langkah penuh perjuangan adalah jalan menuju keberhasilan yang hakiki. Teruslah melangkah dengan keyakinan, sabar, dan rasa syukur.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi semua pihak yang membacanya, serta menjadi sumbangsih kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 15 November 2025
Penulis,

Raihan Ramadhan

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Singkong (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).....	6
2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Singkong.....	7
2.1.2 Syarat Tumbuh.....	10
2.1.3 Produksi dan Produktivitas Singkong di Indonesia	11
2.1.4 Pemanfaatan Singkong dalam Industri	12
2.2 Sistem Penanaman Singkong	14
2.2.1 Bibit Singkong	16
2.2.2 Jarak Tanam dan Kedalaman Tanam.....	17
2.2.3 Teknik dan Arah Penanaman (Vertikal, Miring, Horizontal).....	18
2.2.4 Metode Penanaman Manual.....	21
2.2.5 Metode Penanaman Mekanis	22
2.3 Rancang Bangun Alat Pertanian.....	23
2.3.1 Desain	24
2.3.2 SolidWorks	25
2.3.3 Material dan Konstruksi Komponen.....	26
2.3.4 Prototipe.....	27
2.4 <i>Metering Device</i>	27
2.4.1 Hubungan Transmisi Dengan <i>Metering Device</i>	29
III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.2.1 Alat.....	32
3.2.2 Bahan	33

3.3 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.3.1 Analisis Kebutuhan Sistem.....	36
3.3.2 Observasi dan Studi Literatur	36
3.3.3 Perancangan Sistem	36
3.3.4 Pemilihan Material.....	37
3.3.5 Proses Fabrikasi dan Manufaktur	37
3.3.6 Pengujian Sistem.....	37
3.3.7 Kriteria Desain	38
3.3.8 Evaluasi.....	38
3.3.9 Pengumpulan Data	38
3.3.10 Analisis Data.....	39
3.4 Rancangan Struktural	39
3.4.1 <i>Hopper</i>	40
3.4.2 <i>Metering Device</i>	42
3.4.3 As (Poros)	43
3.4.4 <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	44
3.4.5 <i>Cover</i>	45
3.4.6 Saluran <i>Output</i>	46
3.4.7 Roda	47
3.4.8 Rangka	48
3.5 Rancangan Fungsional	48
3.5.1 <i>Hopper</i>	49
3.5.2 <i>Metering Device</i>	49
3.5.3 As (Poros)	49
3.5.4 <i>Pulley</i> dan <i>Belt</i>	50
3.5.5 <i>Cover</i>	50
3.5.6 Saluran <i>Output</i>	50
3.5.7 Roda	50
3.5.8 Rangka	50
3.6 Parameter Pengujian	51
3.6.1 Akurasi Jarak Tanam (A_1 , %)	51
3.6.2 Akurasi Posisi Jatuh (A_2 , %)	51
3.6.3 Kecepatan Operasional (V , m/s)	52
3.6.4 Kapasitas Kerja Teoritis (C_t , ha/jam).....	52
3.6.5 Kapasitas Kerja Aktual (C_a , ha/jam).....	52
3.6.6 Efisiensi Lapang / <i>Field Efficiency</i> (η , %).....	53
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Hasil Rancangan Sistem Penjatuhan Bibit Singkong.....	54
4.1.1 Spesifikasi Teknis Sistem Penjatuhan Bibit Singkong.....	58
4.1.2 Mekanisme Kerja Sistem	61
4.2 Proses Pembuatan Sistem	61
4.3 Pra Pengujian Sistem.....	63
4.4 Hasil Pengujian Sistem.....	64
4.4.1 Akurasi Jarak Tanam (A_1 , %)	64
4.4.2 Akurasi Posisi Jatuh (A_2 , %)	69
4.4.3 Kecepatan Operasional (V , m/s)	73
4.4.4 Kapasitas Kerja Teoritis (C_t , ha/jam).....	75
4.4.5 Kapasitas Kerja Aktual (C_a , ha/jam).....	77

4.4.6 Efisiensi Lapang / <i>Field Efficiency</i> (η , %)	79
4.5 Pembahasan Umum	81
V. KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	98

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Singkong (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).....	6
Gambar 2. Morfologi tanaman singkong	9
Gambar 3. Bibit singkong	16
Gambar 4. Jarak tanam singkong	17
Gambar 5. Posisi tanam vertikal	18
Gambar 6. Posisi tanam miring.....	19
Gambar 7. Posisi tanam horizontal	20
Gambar 8. Penanaman singkong secara manual	21
Gambar 9. <i>Cassava planter</i>	22
Gambar 10. Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 11. Rancangan sistem penjatuhan bibit singkong	39
Gambar 12. Rancangan <i>hopper</i>	40
Gambar 13. Rancangan <i>metering device</i>	43
Gambar 14. Rancangan as (poros)	44
Gambar 15. Rancangan <i>pulley</i> dan <i>belt</i>	45
Gambar 16. Rancangan <i>cover</i>	46
Gambar 17. Rancangan saluran <i>output</i>	47
Gambar 18. Rancangan roda.....	47
Gambar 19. Rancangan rangka	48
Gambar 20. Sistem penjatuhan bibit singkong	54
Gambar 21. Sistem penjatuhan bibit singkong (a) tampak samping; (b) tampak depan; (c) tampak belakang	55
Gambar 22. <i>Hopper</i>	58
Gambar 23. <i>Metering device</i> dan as (poros)	59

Gambar 24. Roda, <i>pulley</i> , dan <i>belt</i>	59
Gambar 25. <i>Cover</i> dan saluran <i>output</i>	60
Gambar 26. Rangka.....	60
Gambar 27. Grafik rata-rata jarak tanam	65
Gambar 28. Grafik rata-rata jarak tanam tiap ulangan.....	65
Gambar 29. Grafik simpangan sudut horizontal	70
Gambar 30. Grafik rata-rata posisi jatuh tiap ulangan	70
Gambar 31. Grafik persentase klasifikasi posisi jatuh	71
Gambar 32. Grafik kecepatan operasional	73
Gambar 33. Grafik kapasitas kerja teoritis.....	75
Gambar 34. Grafik kapasitas kerja aktual	78
Gambar 35. Grafik efisiensi lapang	80
Gambar 36. Gambar proyeksi sistem penjatuhan bibit singkong	114
Gambar 37. Gambar proyeksi <i>hopper</i>	115
Gambar 38. Gambar proyeksi <i>metering device</i>	116
Gambar 39. Gambar proyeksi <i>cover</i>	117
Gambar 40. Gambar proyeksi saluran <i>output</i>	118
Gambar 41. Pemilihan material.....	119
Gambar 42. Proses pengukuran	119
Gambar 43. Poses pembuatan pola <i>metering device</i>	120
Gambar 44. Proses pengelasan.....	120
Gambar 45. Proses pembersihan kerak las.....	121
Gambar 46. Proses pengecatan	121
Gambar 47. Pengukuran jarak tanam	122
Gambar 48. Pengukuran posisi jatuh	122
Gambar 49. Waktu kerja efektif ulangan 1	123
Gambar 50. Waktu kerja total ulangan 1	123
Gambar 51. Waktu kerja efektif ulangan 2	124
Gambar 52. Waktu kerja total ulangan 2	124
Gambar 53. Waktu kerja efektif ulangan 3	125
Gambar 54. Waktu kerja total ulangan 3	125

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Produktivitas singkong di Indonesia (2018-2022)	12
Tabel 2. Spesifikasi sistem penjatuhan bibit singkong	56

Lampiran

Tabel 3. Jarak tanam (A_1)	100
Tabel 4. Posisi jatuh (A_2)	103
Tabel 5. Persentase klasifikasi posisi jatuh	104
Tabel 6. Kecepatan operasional (V)	106
Tabel 7. Kapasitas kerja teoritis (C_t)	108
Tabel 8. Kapasitas kerja aktual (C_a)	111
Tabel 9. Efisiensi Lapang (η)	113

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian Indonesia memegang peran penting dalam perekonomian negara, berkontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) dan menyediakan lapangan kerja bagi jutaan penduduk (Bukhtiarova *et al.*, 2019). Sebagai negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, Indonesia kaya akan berbagai komoditas pertanian, mulai dari padi, jagung, singkong, kedelai, hingga rempah-rempah dan hortikultura. Menurut Jaji *et al.* (2017), pertanian tidak hanya berfungsi sebagai penyedia makanan bagi populasi yang terus berkembang, tetapi juga sebagai penopang ekonomi pedesaan dan penggerak sektor industri terkait, seperti pengolahan makanan dan perdagangan. Selain itu, sektor ini berperan dalam menjaga ketahanan pangan nasional dan mendukung pembangunan berkelanjutan (Meyer, 2019).

Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki potensi besar dalam mendukung ketahanan pangan di Indonesia. Singkong adalah sumber karbohidrat lokal di Indonesia yang berada di peringkat ketiga setelah padi dan jagung (Yudha *et al.*, 2023). Sebagai sumber karbohidrat yang mudah ditanam dan dibudidayakan di berbagai jenis lahan, singkong dapat menjadi alternatif pangan yang efektif untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Di Provinsi Lampung, luas lahan singkong mencapai 266.586 hektar dengan total produksi sebesar 4.673.091 ton, dan produktivitasnya mencapai 17,53 ton per hektar. Terdapat 130 unit industri besar yang mengolah singkong di Lampung, dengan kebutuhan mencapai 5 juta ton singkong per tahun (Lesmana *et al.*, 2021). Tingginya produktivitas singkong, terutama di daerah tropis seperti Indonesia,

membuatnya menjadi pilihan yang menjanjikan dalam menghadapi tantangan pangan global. Selain berfungsi sebagai bahan pangan utama, singkong juga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku industri makanan dan bioenergi (Widowati, 2011).

Namun, hingga kini proses penanaman singkong masih didominasi oleh metode manual yang membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah besar. Metode ini sangat mengandalkan kekuatan fisik dan keterampilan petani, sehingga menyebabkan kelelahan, keterbatasan waktu tanam, serta meningkatnya biaya tenaga kerja. Selain itu, berdasarkan hasil analisis terhadap data Sensus Pertanian 2003–2013 bahwa tenaga kerja pertanian didominasi tenaga kerja usia tua lebih dari 40 tahun, yang secara fisik memiliki keterbatasan dalam melaksanakan pekerjaan berat. Aspek ergonomika kerja dalam penanaman singkong manual sering diabaikan. Posisi membungkuk yang dilakukan dalam waktu lama serta postur kerja yang tidak ideal telah terbukti meningkatkan kejadian gangguan muskuloskeletal pada petani (misalnya nyeri punggung bawah), sebagaimana ditemukan pada petani di berbagai daerah di Indonesia (ILO, 2018). Hal ini berdampak tidak hanya terhadap kesehatan dan kenyamanan kerja, tetapi juga menurunkan efisiensi operasional dan kualitas penanaman bibit secara keseluruhan.

Penanaman singkong yang ideal membutuhkan presisi dalam jarak tanam dan kedalaman bibit untuk mendukung pertumbuhan optimal. Namun pada metode manual, presisi ini sulit dicapai karena proses penanaman bergantung pada keahlian dan konsistensi pekerja. Penentuan jarak tanam yang optimal memungkinkan tanaman mendapatkan sinar matahari yang cukup, sirkulasi udara yang baik, ruang untuk pertumbuhan akar yang maksimal, dan menghindari persaingan antar tanaman dalam populasi maupun dengan gulma (Kartika, 2018).

Sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan penanaman manual, metode penanaman singkong secara mekanis kini mulai diperkenalkan di berbagai daerah. Salah satu alat yang banyak digunakan adalah *cassava planter*, yaitu mesin penanam singkong yang dirancang untuk mempercepat proses penanaman sekaligus meningkatkan presisi dalam jarak tanam dan kedalaman bibit. Dengan menggunakan *cassava planter*, stek batang singkong dapat ditanam secara

otomatis, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual. Mesin ini mampu menanam bibit dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan metode manual, sehingga dapat menghemat waktu tanam dan mempercepat siklus pertanian. Meski demikian, penggunaan mesin ini memerlukan investasi awal yang cukup besar, yang mungkin menjadi tantangan bagi petani kecil.

Sistem penjatuhan bibit singkong dalam mesin *cassava planter* merupakan komponen krusial. Mekanisme ini harus memastikan bahwa setiap potongan batang singkong dijatuhkan pada posisi dan kedalaman yang tepat, dengan jarak antar tanaman yang seragam. Kinerja sistem penjatuhan bibit sangat menentukan keberhasilan penanaman secara keseluruhan, baik dari segi efisiensi waktu, keseragaman pertumbuhan, hingga hasil panen. Oleh sebab itu, pengembangan dan penyempurnaan desain sistem penjatuhan bibit menjadi fokus penting dalam inovasi alat tanam singkong.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penjatuhan bibit singkong yang dapat bekerja secara mekanis dan semi otomatis, dengan mempertimbangkan aspek ketepatan jarak tanam, efisiensi waktu, serta kenyamanan kerja operator dari sisi ergonomika. Dengan pengembangan sistem ini, diharapkan proses penanaman dapat dilakukan lebih cepat, lebih ringan secara fisik, serta menghasilkan hasil tanam yang lebih seragam dan produktif. Selain meningkatkan efisiensi kerja petani, inovasi ini juga mendorong penerapan teknologi tepat guna yang sesuai bagi petani skala kecil di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem penjatuhan bibit singkong yang sederhana dan efisien?
2. Apakah sistem yang dirancang mampu menghasilkan akurasi jarak tanam sesuai rancangan?
3. Bagaimana menentukan posisi jatuh bibit yang paling sesuai dengan rancangan sistem?

4. Apakah sistem yang dirancang dapat meningkatkan efisiensi penanaman dibandingkan metode manual?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem penjatuhan bibit singkong yang sederhana dan efisien.
2. Menganalisis akurasi jarak tanam hasil rancangan sistem.
3. Menentukan posisi jatuh bibit yang sesuai dengan rancangan sistem.
4. Mengevaluasi efisiensi penanaman menggunakan sistem dibandingkan metode manual.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan solusi teknologi tepat guna bagi petani untuk meningkatkan efisiensi penanaman singkong.
2. Menjadi referensi akademis untuk pengembangan mekanisasi pertanian pada komoditas sejenis.
3. Mendukung upaya peningkatan produktivitas dan daya saing sektor pertanian.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada sistem penjatuhan bibit singkong, tidak mencakup pemotongan bibit, pengolahan tanah, maupun pemeliharaan tanaman.
2. Pengujian alat dilakukan dalam skala laboratorium atau kondisi terkendali.
3. Bibit yang digunakan seragam (panjang 16 cm, diameter ± 4 cm).

1.6 Hipotesis

Sistem penjatuhan bibit singkong yang dirancang mampu menghasilkan akurasi jarak tanam yang sesuai, menemukan posisi jatuh bibit yang tepat untuk mendukung ketepatan penanaman, serta meningkatkan efisiensi penanaman dibandingkan dengan metode manual.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Singkong (*Manihot esculenta* Crantz)

Singkong (*Manihot esculenta* Crantz), atau yang lebih dikenal sebagai ubi kayu, merupakan tanaman umbi-umbian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, yang berasal dari daerah tropis di Amerika Selatan dan telah dibudidayakan di wilayah Brasil dan Paraguay sejak zaman prasejarah. Potensi tanaman ini menjadikannya sebagai salah satu makanan pokok bagi penduduk asli di wilayah Amerika Selatan bagian utara, Mesoamerika, dan Karibia jauh sebelum kedatangan Columbus di Benua Amerika. Setelah bangsa Spanyol menaklukkan wilayah-wilayah tersebut, budidaya singkong kemudian diteruskan oleh penjajah Portugis dan Spanyol (Bargumono, 2012). Singkong pertama kali diperkenalkan ke Indonesia oleh bangsa Portugis pada abad ke-16. Penanaman singkong secara komersial di wilayah Indonesia baru dimulai sekitar tahun 1810. Kini, meskipun sejarahnya sering terlupakan, singkong telah menjadi bahan pangan yang populer dan mudah dijumpai di seluruh penjuru Indonesia.



Gambar 1. Singkong (*Manihot esculenta* Crantz)

(Sumber: https://pngtree.com/freepng/cassava-grains-are-healthy-in-color_6577866.html)

Singkong dikenal karena kemampuannya tumbuh di tanah yang relatif kurang subur, tahan terhadap kekeringan, dan mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi iklim. Singkong merupakan tanaman umbi yang menjadi sumber pangan bagi jutaan orang di kawasan tropis dan dimanfaatkan dalam berbagai produk olahan di industri makanan. Meskipun popularitasnya rendah di luar wilayah tropis, Asia menyumbang sekitar 30% dari total produksi umbi dunia (FAO, 2013).

Dengan karakteristiknya yang tidak membutuhkan banyak perawatan yang intensif, singkong dengan mudah tumbuh dan tersebar luas di berbagai wilayah Indonesia. Selain menjadi alternatif pengganti beras, singkong juga populer sebagai bahan dasar berbagai jenis penganan. Umbinya dapat diolah dengan beragam cara, seperti direbus menjadi singkong rebus, digoreng menjadi singkong goreng, difermentasi menjadi tape atau peuyeum, dijadikan keripik, atau diolah menjadi tepung tapioka. Tepung ini sering digunakan untuk membuat beragam camilan gurih dan lezat, seperti timus, getuk, cenil, combro, dan misro. Bahkan, daun singkong juga sering dimanfaatkan sebagai bahan sayur atau lalapan.

2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Singkong

Singkong termasuk dalam famili Euphorbiaceae atau suku jarak - jarakan. Singkong banyak mempunyai nama daerah, diantaranya ketela pohon, ubi kayu, *pohung*, *kasbi*, *sepe*, *boled*, *budin* (Jawa), *sampeu* (Sunda), *kaspe* (Papua), *cassava* (Inggris), *kamoteng kahoy* (Pilipina), dan sebagainya. Secara umum klasifikasi singkong adalah sebagai berikut (Thamrin *et al.*, 2013):

Kingdom	: Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisi	: Spermatophyta (tumbuhan berbiji)
Sub divisi	: Angiospermae (berbiji tertutup)
Kelas	: Dicotyledoneae (biji berkeping dua)
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: <i>Manihot</i>
Spesies	: <i>Manihot esculenta</i> Crantz

Singkong merupakan salah satu tanaman yang tersebar luas di Indonesia yang sudah banyak dibudidayakan di berbagai negara (Gardjito *et al.*, 2013). Di Indonesia, diversitas morfologis singkong sangat tinggi, misalnya di Jawa dan Sumatra dengan variasi signifikan pada bentuk dan warna daun, diameter batang (12–25 mm), struktur perbungaan, serta bentuk dan warna umbi singkong. Studi Sugiyarto *et al.* (2023) di Magelang, Temanggung, dan Wonosobo mengamati 39 aksesori singkong dan menemukan koefisien kesamaan morfologi antar varietas hingga 0,95, menunjukkan keragaman tinggi termasuk jenis yang dioperasikan untuk daun dan umbi sebagai sayur dan pangan pokok.

Berbagai varietas dan klon singkong telah diteliti dan dikembangkan, baik untuk tujuan pangan maupun industri. Varietas unggul yang umum ditanam di Provinsi Lampung antara lain Adira 1, Adira 2, Adira 4, UJ-3, UJ-5, serta beberapa klon lokal yang produktif.

1. Varietas Adira dan UJ

Varietas UJ-5 telah dievaluasi pada berbagai umur panen dan menunjukkan performa unggul: studi dari VIABEL melaporkan bahwa UJ-5 mencapai hasil optimal ketika dipanen pada usia 9–10 bulan, dengan kandungan pati yang stabil tinggi (Puspitorini *et al.*, 2016). Sementara itu, dalam penelitian di Genteng yang membandingkan sejumlah varietas including Adira 4 dan UJ-5, bahwa Adira 4 menunjukkan potensi hasil makin tinggi pada sistem sambung (mukibat), sedangkan UJ-5 mempertahankan kadar pati lebih tinggi dibanding varietas lain (Radjit dan Prasetyaswati, 2011).

2. Klon Genjah (Vamas, Vati, Litbang UK 2, Daun 9)

Berdasarkan penelitian Setiawan *et al.* (2023), klon Vamas, Vati, Litbang UK 2, dan Daun 9 menunjukkan karakter genjah (panen muda) dengan tinggi tanaman 227–257 cm serta produktivitas mencapai 25–36 ton/ha pada umur 7 bulan, menjadikannya alternatif menarik bagi budidaya cepat panen di Lampung Selatan, Lampung Timur, dan Lampung Tengah.

3. Klon CMM dan Gajah

Penelitian di Desa Muara Putih (Lampung Selatan) mengungkap klon seperti CMM 96-1-102, Spinach Liwa 5, dan Gajah memiliki indeks panen tinggi, dengan berat umbi segar per tanaman melebihi varietas UJ-5. Klon UJ-5, bersama klon Nibung dan Gajah, menunjukkan kandungan pati superior (Utomo *et al.*, 2020).

4. Varietas Garuda

Di Provinsi Lampung, varietas Garuda telah dikembangkan dan mulai digunakan secara luas dalam kegiatan agribisnis singkong lokal. Berdasarkan skripsi oleh Wahyudi *et al.* (2024), klon Garuda memiliki kadar pati tinggi, yaitu sekitar 27,12%, hampir setara dengan varietas Kasetsart (27,08%), dan secara agronomis menunjukkan performa adaptif yang baik pada tanah Ultisol di Lampung Tengah.



Gambar 2. Morfologi tanaman singkong

(Sumber: <https://www.megatimes.com.br/2022/10/maiores-produtores-de-mandioca-das.html>)

Tanaman singkong, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan tanaman semak (*subshrub*) yang dapat tumbuh hingga 5–7 m, meskipun pada kondisi budidaya biasanya mencapai 1–3 m dengan batang berkayu, bercabang, dan berlapis epidermis halus berwarna cokelat kemerahan. Batang ini tersusun dari buku (nodus) dan ruas (internodus) yang berfungsi sebagai sarana distribusi

nutrisi dan cadangan (jaringan parenkim), serta digunakan sebagai sumber bibit melalui stek.

Daun singkong memiliki ciri khas komposit palmatipartit biasanya dengan 3 hingga 7 lobus yang tersusun secara bergantian pada tangkai (petiole) sepanjang 5–17 cm. Daun dewasa bertekstur membran kaku, bagian atas berwarna hijau gelap dan bagian bawah agak kebiruan (glauk), dengan tulang daun lateral yang mudah terlihat hingga 18 pasang. Struktur daun secara anatomis menunjukkan epidermis atas, satu lapis palisade parenkim, dan lapisan spons di bawahnya, yang mendukung efisiensi fotosintesis (Silva *et al.*, 2017).

Sistem perakaran terdiri dari tiga jenis utama: akar utama berbentuk rimpang menebal (tuberous roots), akar fibrosa penunjang, dan akar adventif. Akar fibrosa menyerap air dan mineral serta membantu menstabilkan tanaman, sedangkan akar rimpang berkembang dari akar fibrosa sebagai tempat penyimpanan pati, menjadi komponen utama tanaman ini (Li *et al.*, 2010). Setiap tanaman singkong dapat menghasilkan 3–14 umbi, dengan bentuk umbi bervariasi dari silindris hingga spindel dan panjang mencapai 30–45 cm (varietas lokal bahkan dapat mencapai 50 cm). Studi genotipe singkong mengungkapkan bahwa dari 24 varietas, jumlah umbi per tanaman berkisar antara 3 hingga 14 umbi, dengan panjang umbi rata-rata 29 cm dan maksimum mencapai 46 cm (John *et al.*, 2020).

2.1.2 Syarat Tumbuh

Iklim menjadi salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan dalam budidaya tanaman. Interaksi antara iklim sebagai faktor lingkungan dapat memengaruhi kuantitas dan kualitas pertumbuhan tanaman. Kondisi iklim ekstrem memberikan dampak signifikan terutama pada tanaman semusim, termasuk tanaman pangan. Beberapa elemen iklim yang memengaruhi pertumbuhan tanaman meliputi curah hujan, suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya. Di antara elemen tersebut, curah hujan memiliki tingkat fluktuasi yang tinggi dan menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan hasil produksi (Anwar *et al.*, 2015).

Tanaman singkong memiliki syarat tumbuh yang cukup spesifik untuk mendukung pertumbuhannya secara optimal. Menurut Thamrin *et al.* (2013), singkong dapat tumbuh pada wilayah dengan curah hujan tahunan antara 500–2.500 mm, dengan kisaran ideal 700–1.500 mm per tahun. Suhu udara yang sesuai bagi pertumbuhan singkong berada pada rentang 18–35°C, dengan suhu minimum sekitar 10°C. Dari aspek kelembaban, tanaman ini memerlukan kelembaban relatif sekitar 60–65% untuk mendukung proses fisiologisnya. Selain itu, singkong membutuhkan cahaya matahari penuh dengan intensitas sekitar 10 jam per hari. Tanaman ini dapat tumbuh pada berbagai ketinggian mulai dari 10 hingga 1.500 mdpl, meskipun kisaran 10–700 mdpl merupakan ketinggian optimal bagi pertumbuhan dan produksi umbinya. Dari segi tanah, singkong mampu beradaptasi pada berbagai jenis tanah seperti aluvial, latosol, podsolik, mediteran, dan grumusol, namun memerlukan kondisi tanah yang gembur untuk memaksimalkan pembentukan umbi. Derajat keasaman tanah yang sesuai berada pada kisaran pH 4,5–8,0, dengan pH ideal mendekati 5.

2.1.3 Produksi dan Produktivitas Singkong di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu produsen singkong terbesar di dunia, terutama di wilayah Sumatra dan Jawa. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), produksi singkong nasional mencapai lebih dari 20 juta ton per tahun, dengan produktivitas yang beragam tergantung pada kondisi lahan dan teknik budidaya. Penggunaan pupuk organik dan praktik budidaya yang baik telah terbukti meningkatkan hasil dan kualitas singkong secara signifikan.

Menurut data produksi ubi kayu dalam lima tahun terakhir hingga tahun 2022 yang disajikan pada Tabel 1, ada tujuh provinsi utama penghasil ubi kayu di Indonesia. Lampung menjadi provinsi penghasil terbesar selama periode 2018–2022, dengan kontribusi mencapai 39,74% dari total produksi ubi kayu Indonesia pada tahun 2022, yaitu sekitar 5,95 juta ton. Provinsi lainnya yang turut berkontribusi besar adalah Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat dengan kontribusi masing-masing sebesar 16,58%, 9,58%, dan 6,91%. Sementara itu, provinsi lainnya seperti Sumatera Utara, DI Yogyakarta, dan Nusa Tenggara

Timur memiliki kontribusi kurang dari 6%. Sedangkan sisanya, sebesar 12,71%, berasal dari provinsi lain yang tidak disebutkan. Produksi ubi kayu Indonesia pada tahun 2022 diperkirakan mencapai 14,98 juta ton menurut estimasi Direktorat Akabi Kementerian Pertanian.

Tabel 1. Produktivitas singkong di Indonesia (2018-2022)

No.	Provinsi	Tahun (ton)					Share	Share
		2018	2019	2020	2021	2022	2022 (%)	Kumulatif (%)
1	Lampung	5.016.790	5.438.850	5.820.831	5.643.185	5.952.537	39,74	39,74
2	Jateng	2.544.132	2.884.726	3.257.955	2.863.289	2.482.939	16,58	56,32
3	Jatim	2.239.004	1.888.803	1.552.634	1.618.905	1.434.699	9,58	65,90
4	Jabar	1.599.223	1.579.185	1.309.557	1.299.196	1.034.950	6,91	72,81
5	Sumut	848.389	1.226.979	1.092.745	1.065.047	878.767	5,87	78,67
6	Yogya	890.897	761.032	758.748	758.185	813.758	5,43	84,11
7	NTT	624.080	534.468	508.729	516.662	476.781	3,18	87,29
8	Lainnya	2.356.506	2.036.328	516.662	1.966.500	1.903.880	12,71	100,09
	Indonesia	16.119.020	16.350.370	16.271.022	15.730.971	14.978.310	100,00	

Sumber: BPS dan Dit. Akabi

Keterangan: Tahun 2018-2019 berdasarkan Angka Harmonisasi Data Kementan-BPS diestimasi per provinsi Tahun 2020-2022 berdasarkan angka estimasi dari Direktorat Akabi

2.1.4 Pemanfaatan Singkong dalam Industri

Singkong pada awalnya ditanam untuk diambil umbinya dan dimanfaatkan sebagai bahan pangan, namun seiring berjalannya waktu singkong dimanfaatkan sebagai bahan pakan dan industri. Untuk memaksimalkan potensi ubi kayu, dilakukan berbagai proses pengolahan untuk menghasilkan beragam produk dengan masa simpan yang lebih panjang serta nilai ekonomi yang lebih tinggi. Singkong mengandung pati dalam jumlah tinggi yang sering diolah menjadi tepung tapioka. Produk sampingan dari pengolahan ini adalah ampas singkong, yang dikenal sebagai onggok. Onggok memiliki berbagai manfaat dan dapat digunakan sebagai bahan baku industri, seperti pembuatan saus, campuran kerupuk, obat nyamuk bakar, serta pakan ternak. Penelitian yang dilakukan oleh Ali (2008), menunjukkan bahwa onggok dapat dimanfaatkan dalam formulasi pakan ternak. Penelitian ini mempelajari pengaruh onggok dan isi rumen sapi (OIRIS) dalam pakan komplit terhadap performa kambing peranakan etawah.

Hasilnya menunjukkan peningkatan bobot kambing sebesar 71,9 g/ekor/hari ketika diberi pakan dengan konsentrasi OIRIS sebesar 30%. Ini menunjukkan potensi onggok sebagai alternatif bahan baku pakan ternak yang ekonomis dan efisien.

Selain sebagai pakan ternak, onggok juga digunakan dalam industri makanan, seperti pembuatan kerupuk. Menurut Mustofa dan Suyanto (2011), pencampuran onggok dengan tepung cangkang rajungan dapat meningkatkan kualitas kerupuk, terutama dalam hal daya kembang dan kandungan kalsium. Penelitian mereka menunjukkan bahwa kandungan kalsium tertinggi mencapai 3,267 mg/100 g bahan pada tingkat penambahan tepung cangkang rajungan sebesar 40%. Namun, daya kembang kerupuk cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi tepung cangkang rajungan, dengan daya kembang tertinggi sebesar 30,73% pada kontrol. Faktor organoleptik seperti rasa, warna, aroma, dan kerenyahan juga mengalami penurunan pada konsentrasi tepung cangkang rajungan yang lebih tinggi.

Di sisi lain, pati alami dari singkong memiliki kendala tertentu dalam penggunaannya, seperti kestabilan yang rendah terhadap perubahan suhu dan pH, serta retrogradasi dan sineresis. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan berbagai modifikasi pada pati, baik secara fisik, kimia, maupun enzimatis (Herawati, 2011; Retnowati, 2010). Menurut Artiani dan Avrelina (2009), modifikasi ini bertujuan mengubah struktur molekul pati agar sesuai dengan kebutuhan industri. Pati termodifikasi digunakan dalam berbagai aplikasi pangan, seperti pembuatan salad cream, mayones, saus, jeli, dan produk konfeksioneri seperti permen dan coklat.

Salah satu produk modifikasi pati adalah dekstrin, yang dibuat melalui proses hidrolisis pati menggunakan panas, asam, atau enzim. Dekstrin memiliki keunggulan, seperti kelarutan yang lebih baik dalam air dingin dan viskositas yang lebih rendah, sehingga lebih mudah diaplikasikan dalam berbagai produk industri (Supriyatna, 2012; Koswara, 2009). Dengan modifikasi ini, penggunaan pati singkong dapat diperluas dan disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik di berbagai sektor industri.

2.2 Sistem Penanaman Singkong

Penanaman singkong (*Manihot esculenta* Crantz) memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan industri di berbagai negara, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia. Proses penanaman singkong meliputi beberapa tahap penting, mulai dari persiapan lahan, pemilihan bibit, penanaman, hingga pemeliharaan tanaman (Wahyurini dan Sugandini, 2021). Setiap tahap ini sangat memengaruhi produktivitas serta kualitas umbi singkong yang dihasilkan.

1. Persiapan lahan

Tahap ini dilakukan untuk memastikan tanah siap mendukung pertumbuhan singkong. Lahan perlu dibersihkan dari gulma, sisa tanaman sebelumnya, dan bebatuan yang dapat menghambat pertumbuhan akar. Proses pengolahan tanah melibatkan pembajakan dan pencangkulan untuk menggemburkan tanah serta memperbaiki aerasi. Menurut Wahyurini dan Sugandini (2021), pengolahan tanah ini juga bertujuan untuk mengurangi kepadatan tanah yang dapat menghambat perkembangan akar singkong. Selain itu, pemupukan dasar menggunakan pupuk organik seperti kompos atau pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah, memberikan unsur hara yang dibutuhkan, serta memperbaiki struktur tanah.

Pada daerah dengan curah hujan tinggi atau kondisi tanah yang terlalu banyak air, penanaman singkong biasanya dilakukan di atas guludan atau bedengan. Metode ini tidak hanya membantu menjaga drainase yang baik tetapi juga mempermudah proses pemanenan. Sebaliknya, di wilayah dengan curah hujan rendah atau kondisi tanah kering, penanaman dapat dilakukan langsung pada tanah datar tanpa perlu membuat guludan. Pembuatan guludan biasanya dilakukan setelah tanaman berumur 2-3 bulan. Selama proses perataan tanah, pupuk kandang atau kompos dapat ditambahkan untuk meningkatkan kandungan unsur hara di dalam tanah. Pengolahan tanah yang baik, diikuti dengan pembuatan guludan sesuai kontur tanah, juga berperan dalam mengendalikan erosi (Riyanto, 2012).

2. Pemilihan bibit

Bahan stek merupakan salah satu elemen utama yang memengaruhi tingkat keberhasilan dan pertumbuhan tanaman singkong. Stek batang dapat diambil dari tiga bagian batang, yaitu ujung, tengah, dan pangkal. Perbedaan lokasi asal stek ini menyebabkan variasi dalam kecepatan pertumbuhan, yang dipengaruhi oleh kandungan hormon auksin yang bervariasi di setiap bagian batang tanaman (Lesmana *et al.*, 2018).

3. Penanaman

Penanaman singkong perlu mempertimbangkan musim dan tingkat curah hujan. Pada lahan kering, waktu tanam yang optimal adalah di awal musim hujan atau setelah masa tanam padi selesai. Penanaman ini dilakukan dengan cara menanam stek batang ke dalam tanah pada kedalaman 5-10 cm, atau sekitar 1/3 panjang batang tertutup oleh tanah. Penanaman dilakukan dengan jarak tanam yang disesuaikan, umumnya 1 x 1 meter atau 1 x 0,75 meter, tergantung pada sistem budidaya yang digunakan. Jarak tanam yang tepat memastikan tanaman memiliki ruang yang cukup untuk berkembang dan memperoleh sinar matahari secara optimal (Wahyurini dan Sugandini, 2021).

4. Pemeliharaan tanaman

Tahap ini meliputi penyiraman, pemupukan, penyiangan gulma, serta pengendalian hama dan penyakit. Pemupukan lanjutan dengan pupuk nitrogen, fosfor, dan kalium membantu memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman selama masa pertumbuhan. Penyiangan gulma dilakukan untuk menghindari persaingan dalam mendapatkan unsur hara, air, dan cahaya matahari. Selain itu, pengendalian hama seperti kutu daun dan penyakit seperti mosaik singkong menjadi langkah penting untuk menjaga produktivitas. Pemeliharaan yang konsisten dan terjadwal akan memastikan tanaman singkong tumbuh dengan optimal hingga siap untuk dipanen (Wahyurini dan Sugandini, 2021).

2.2.1 Bibit Singkong

Stek batang merupakan metode utama perbanyakan singkong (*Manihot esculenta* Crantz), karena cara ini menjaga keseragaman genetik serta memiliki viabilitas tinggi. Bentuk dan kondisi bibit stek batang singkong, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, memperlihatkan bahwa ukuran fisik batang stek, khususnya diameter dan panjang, memegang peranan penting dalam efektivitas pertumbuhan tanaman dan hasil panen selanjutnya. Menurut studi *Growth and Yield of Cassava* oleh Kundy *et al.* (2014), diameter batang pada tanaman umur 6 bulan berkisar antara 2,79–6,17 cm, dan menunjukkan korelasi positif yang signifikan ($r = 0,48$) dengan hasil umbi semakin besar diameter stek, semakin tinggi potensi produktivitasnya. Hal tersebut juga diamati pada penelitian Sutrisno *et al.* (2023) yang menemukan interaksi antara jumlah tunas dan populasi tanaman berpengaruh terhadap diameter batang pada usia 3 bulan pasca tanam.



Gambar 3. Bibit singkong

(Sumber: <https://mitalom.com/budidaya-hortikultura-tanaman-pangan/1308/cara-budidaya-singkong/>)

Adapun mengenai panjang stek, hasil penelitian internasional oleh Oliveira *et al.* (2020) memperlihatkan stek sepanjang 15–30 cm (3–7 tunas) memaksimalkan vigor tanaman awal serta hasil produksi umbi. Sedangkan panjang lebih pendek (< 15 cm) tetap mendukung pertumbuhan normal, tetapi potensi hasil umbi cenderung menurun jika kurang dari 8 cm. Beberapa penelitian lokal di Indonesia memperkuat hal ini. Ilmiasari *et al.* (2024) di Tulang Bawang Barat menemukan bahwa stek dengan panjang 15–20 cm memberikan hasil terbesar untuk diameter, panjang, dan berat umbi, terutama pada jarak tanam optimal 70×80 cm.

2.2.2 Jarak Tanam dan Kedalaman Tanam

Pengolahan tanah untuk budidaya singkong perlu mempertimbangkan ukuran dan panjang umbi yang dihasilkan oleh varietas yang ditanam. Pola pengaturan jarak tanam singkong seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berperan penting dalam menyediakan ruang tumbuh yang memadai bagi perkembangan umbi dan sistem perakaran. Varietas dengan umbi besar biasanya membutuhkan jarak tanam yang lebih luas, seperti 120 cm x 120 cm, untuk memberikan ruang yang cukup bagi pertumbuhan optimal. Namun, jarak tanam lain, seperti 80 cm x 60 cm atau 100 cm x 100 cm, juga dapat diterapkan sesuai dengan kondisi lahan, jenis varietas, dan tujuan budidaya (Setiawan *et al.*, 2018). Pemilihan jarak tanam berperan penting dalam memastikan tanaman memperoleh cukup sinar matahari, nutrisi, dan ruang untuk perkembangan akar, sehingga hasil panen lebih maksimal. Pengaturan jarak tanam yang tepat memudahkan proses perawatan, seperti penyiangan, pemupukan, dan pemanenan, sekaligus mengurangi risiko kompetisi antar tanaman.



Gambar 4. Jarak tanam singkong

(Sumber: <https://agreeculture.id/en/agreepedia/info-budi-daya/39ccbc1f-23c4-495b-acbc-66a3d2719b2e>)

Penanaman bibit singkong sebaiknya dilakukan pada kedalaman sekitar 10 cm untuk memastikan pertumbuhan akar yang optimal. Penelitian di Pati, Jawa Tengah menemukan bahwa kedalaman 10 cm memberi hasil optimal, terutama pada varietas UJ-3 dan UJ-5, dengan produktivitas mencapai 40–48 ton/ha (Nugraha *et al.*, 2015). Jika stek ditanam terlalu dangkal (<5 cm), risiko kegagalan tumbuh karena tunas terbuka dan mengalami stress lingkungan meningkat.

Sebaliknya, kedalaman tanam >15 cm dapat menunda perkecambahan dan mengurangi jumlah daun, serta memperpanjang fase awal pertumbuhan (Siregar *et al.*, 2020). Studi lain menunjukkan bahwa kedalaman tanam 10 cm menghasilkan pertumbuhan akar lateral yang optimal dengan panjang hingga 17,97 cm dan rata-rata jumlah akar mencapai 41,4 per stek pada usia 8 minggu setelah tanam (Asmara *et al.*, 2022).

2.2.3 Teknik dan Arah Penanaman (Vertikal, Miring, Horizontal)

Stek singkong mampu membentuk batang primer baru pada setiap nodus melalui tunas adventif, di mana jumlah tunas sangat dipengaruhi oleh posisi tanam dan dominasi apikal varietas tertentu (Ahmad, 2021). Teknik dan arah penanaman, seperti vertikal, miring (*angled*), dan horizontal, berperan penting dalam menentukan pertumbuhan tanaman, perkembangan akar, serta produktivitas umbi.



Gambar 5. Posisi tanam vertikal

(Sumber: <https://www.istockphoto.com/id/foto/singkong-penanaman-baru-gm483206314-70517975?searchscope=image%2Cfilm>)

Penanaman vertikal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, adalah metode menanam stek singkong secara tegak lurus ke dalam tanah, dengan bagian pangkal berada di bawah dan ujung atas muncul di permukaan. Menurut Isa *et al.* (2015), stek yang ditanam dalam posisi vertikal mampu membentuk akar secara merata, sehingga dapat menyerap unsur hara lebih efektif. Hal ini mendukung pertumbuhan tunas yang lebih baik dan tanaman yang lebih panjang, yang pada akhirnya meningkatkan jumlah umbi yang dihasilkan. Namun, kekurangan posisi tanam ini yaitu jumlah tunas yang tumbuh cenderung lebih sedikit karena hanya

bagian atas stek yang aktif. Sehingga pada tanah dengan drainase buruk, risiko pembusukan pada pangkal batang meningkat.



Gambar 6. Posisi tanam miring

(Sumber: <https://gokomodo.com/blog/5-hal-mudah-tanam-singkong-dan-mendapatkan-hasil-yang-optimal>)

Penanaman miring atau *angled* sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6, dilakukan dengan menempatkan stek pada sudut sekitar 45° sehingga lebih banyak mata tunas kontak dengan tanah sambil tetap menjaga kedalaman perakaran yang menengah lebih dalam daripada horizontal tetapi tidak sedalam vertikal yang membantu keseimbangan antara kemudahan bertunas dan penegakan batang pada fase awal pertumbuhan (FAO, 2013). Pada lahan bertekstur lempung (*loamy*) atau kondisi awal musim kering, orientasi miring sering dianjurkan karena bagian stek yang tertanam lebih panjang meningkatkan peluang pembentukan akar adventif dan mempermudah akses kelembapan tanah tanpa menempatkan seluruh stek terlalu dangkal (FiBL, 2011). Uji lapang menunjukkan bahwa posisi miring dapat meningkatkan hasil umbi atau setidaknya menyamai penanaman vertikal, serta mengungguli horizontal pada musim tanam pertama, yang mengindikasikan kompromi yang baik antara jumlah tunas dan kedalaman perakaran (Hauser *et al.*, 2025). Temuan lain pada beberapa kultivar juga melaporkan bahwa metode *angled* berpotensi meningkatkan hasil simpan (*storage roots*) dibanding metode lain, meskipun respons sangat dipengaruhi varietas dan kondisi lingkungan sehingga kalibrasi sudut dan kedalaman tetap krusial (Narmilan dan Puvanitha, 2020). Sebaliknya, apabila sudut terlalu landai (nyaris horizontal) di tanah berdrainase buruk, sebagian ruas stek berada lama pada zona lembap sehingga risiko busuk pangkal meningkat; karena itu, drainase

lahan dan waktu tanam perlu dikelola agar keuntungan penanaman miring (tunas lebih banyak dan establishment cepat) tidak dikompromikan oleh penyakit terkait kelembapan (FAO, 2013).

Penanaman horizontal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, dilakukan dengan menempatkan batang stek secara mendatar di dalam tanah. Metode ini memungkinkan lebih banyak nodus (ruas batang) yang bersentuhan dengan tanah, sehingga meningkatkan peluang munculnya akar adventif dan tunas baru, menghasilkan jumlah tunas yang lebih banyak dibanding penanaman vertikal. Namun, penanaman horizontal cenderung menghasilkan akar dan umbi yang lebih dangkal, dengan distribusi yang kurang merata di dalam media tanah. Hasil umbi segar (*fresh weight*) umumnya lebih rendah pada penanaman horizontal dibandingkan dengan metode miring (*angled*) atau vertikal, meskipun jumlah tunas bisa lebih tinggi, tergantung varietas dan kondisi pertumbuhan (Narmilan dan Puvanitha, 2020). FAO (2013) juga menekankan bahwa meskipun penanaman horizontal bermanfaat untuk memperbanyak bibit karena jumlah tunas yang tumbuh lebih banyak, metode ini tidak dianjurkan untuk produksi umbi konsumsi pada lahan dengan drainase buruk, sebab risiko kehilangan hasil akibat busuk pangkal batang lebih tinggi.



Gambar 7. Posisi tanam horizontal

(Sumber: <https://youtu.be/pdXO70qyHj4?si=iaTOK-wFpzK6gKJn>)

Penanaman horizontal umumnya direkomendasikan pada lahan kering atau bertekstur ringan, di mana kelembapan tanah relatif stabil. Pada kondisi tersebut, pertumbuhan awal tanaman lebih seragam dan produktivitas dapat meningkat.

Meskipun demikian, pada skala luas metode ini kurang efisien apabila dilakukan secara manual karena membutuhkan waktu lebih lama. Oleh sebab itu, mekanisasi pada sistem penanaman singkong berpotensi membantu penerapan metode horizontal agar lebih praktis dan efisien.

2.2.4 Metode Penanaman Manual

Penanaman singkong secara manual melibatkan produksi stek batang sebagai langkah pertama yang sangat penting. Proses penanaman singkong secara manual sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, dilakukan dengan menggunakan alat seperti gunting pangkas atau parang tajam, yang membutuhkan tenaga fisik yang cukup besar dan waktu yang lama. Pada metode manual, satu orang rata-rata hanya dapat memproduksi sekitar 5000 stek per hari, yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kebutuhan produksi massal untuk penanaman skala besar. Dalam praktiknya, kepadatan tanam singkong yang ideal adalah sekitar 10.000 stek per hektar, dengan jarak antar tanaman 1 x 1 meter, yang telah terbukti efektif untuk mendukung pertumbuhan optimal (Eke-Okoro *et al.*, 2005).



Gambar 8. Penanaman singkong secara manual

(Sumber: <https://gdm.id/cara-menanam-singkong-agar-berbuah-banyak-dan-besar/>)

Ketergantungan pada buruh manual meningkatkan biaya operasional secara signifikan. Ketika harga tenaga kerja naik atau terjadi kekurangan tenaga di desa, petani menghadapi tekanan biaya dan risiko keterlambatan tanam. Dalam beberapa kasus, produktivitas tenaga kerja teknis turun secara drastis karena usia petani yang menua dan mobilitas tenaga kerja muda yang berkurang. Studi oleh Anggraini *et al.* (2016) menunjukkan bahwa tingkat efisiensi teknis usahatani ubi

kayu di Lampung Tengah hanya sekitar 69%, meskipun produktivitas potensial varietas unggul seperti UJ-3 dan UJ-5 mencapai 35–60 ton/ha.

Proses tanam manual bersifat repetitif dan membebani postur tubuh, mulai dari menggenggam stek, menancapkannya, hingga menutup tanah. Pergerakan membungkuk dalam waktu lama serta tekanan pada otot punggung dan lengan menimbulkan kelelahan fisik dan risiko cedera muskuloskeletal. Meskipun penelitian lokal spesifik belum banyak mengukur langsung beban kerja tenaga tanam singkong, studi ergonomika dalam pertanian organik menunjukkan pentingnya penyesuaian desain kerja dan mekanisasi untuk meningkatkan produktivitas tanpa melukai pekerja (Muanah *et al.*, 2019).

2.2.5 Metode Penanaman Mekanis

Untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, teknologi penanaman singkong secara mekanis telah dikembangkan. Salah satu inovasinya adalah penggunaan *cassava planter* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, yaitu mesin yang dirancang khusus untuk menanam bibit singkong secara otomatis. Mesin ini mampu melakukan serangkaian proses penanaman, mulai dari pembuatan alur tanam, pemotongan batang bibit, penanaman pada kedalaman yang tepat, hingga penutupan kembali dengan tanah.



Gambar 9. *Cassava planter*

(Sumber: <https://www.jlnagric.com/product/cassava-planter-2amsu/>)

Cassava planter biasanya digerakkan oleh traktor 40–70 HP dan dilengkapi *cutting unit*, *seed metering (belt/piringan/pelat)*, *ridger*, serta sistem penutup tanah. Salah satu alat yang dikembangkan di Thailand memperlihatkan efisiensi tanam hingga 65%, konsumsi bahan bakar 19,9–24,2 L/ha, serta tingkat tunas hidup dan keseragaman tanam di atas 89% tanpa kerusakan stek signifikan (Chalachai *et al.*, 2013). Desain sederhana dari prototipe di Filipina bahkan mampu mencapai efisiensi kerja 0,026 ha/jam, break even area 0,78 ha/tahun, dan periode balik modal hanya 20 hari untuk luas tanam 28,8 ha/tahun (Beningno, 2021).

Karakteristik teknis utama alat ini adalah jarak antar baris tanam diatur tetap pada 1 meter, sedangkan jarak antar tanaman dalam baris diatur tetap pada 90 cm (Ospina *et al.*, 2007). Penanam ini dapat ditarik oleh traktor dengan tenaga 60 hingga 70 HP yang dilengkapi dengan sistem pengangkat hidrolik. Pemotongan stek dilakukan secara otomatis dengan sistem rahang, di mana pemotongan dilakukan melalui tekanan pada batang singkong. Kapasitas penyimpanan batang singkong mencapai 1,5 m³, sementara kapasitas penyimpanan pupuk kimia adalah 150 kg. Namun, alat ini tidak memiliki fitur untuk mengatur kedalaman tanam. Kapasitas kerja alat ini adalah 8 hingga 10 hektar per hari dengan kebutuhan tenaga kerja sebanyak tiga orang untuk memuat batang singkong ke alat tanam, ditambah seorang pengemudi traktor.

2.3 Rancang Bangun Alat Pertanian

Rancang bangun adalah suatu proses yang melibatkan penerjemahan hasil analisis menjadi sebuah rancangan teknis yang terstruktur guna menciptakan atau menyempurnakan suatu sistem atau perangkat yang dapat digunakan secara efektif. Menurut Wulandari *et al.* (2021), rancang bangun mencakup kegiatan visualisasi, pengaturan, dan penyusunan berbagai komponen menjadi suatu kesatuan yang kohesif dan bermanfaat. Proses ini tidak hanya berfokus pada penghitungan dan pembuatan gambar teknis, tetapi juga pada perancangan produk yang siap dikomersialisasikan dan memiliki daya saing di pasar.

Rancang bangun dalam konteks penelitian alat pertanian merupakan suatu proses sistematis yang melibatkan perencanaan, desain, dan pengembangan alat atau mesin guna mempermudah pekerjaan petani dan meningkatkan efisiensi produksi. Dalam rancang bangun alat penanam singkong, pertimbangan teknis, seperti pemilihan material, desain komponen, dan metode kerja alat, sangat penting untuk memastikan alat dapat beroperasi secara efektif di lapangan dan sesuai dengan kondisi pertanian setempat. Menurut Legowo (2019), rancang bangun bertujuan untuk merancang rencana teknis (*technical plan*) dalam menyelesaikan suatu permasalahan, mencakup proses analisis dan sintesis yang tidak hanya terbatas pada penghitungan dan pembuatan gambar teknis.

2.3.1 Desain

Desain merupakan proses kreatif dan sistematis yang bertujuan untuk menghasilkan solusi visual atau fungsional terhadap suatu permasalahan. Dalam konteks teknik, desain mencakup pembuatan rancangan awal berupa konsep, sketsa, atau model yang kemudian diuji dan dikembangkan menjadi produk akhir yang sesuai dengan kebutuhan (Pahl *et al.*, 2007). Sedangkan menurut Ullman (2010), desain adalah proses iteratif yang melibatkan pengembangan ide, evaluasi alternatif, dan penyempurnaan solusi untuk menciptakan produk yang efektif, efisien, dan dapat diandalkan.

Dalam pengembangan alat pertanian, desain memegang peranan penting dalam memastikan bahwa alat tersebut tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga memenuhi aspek ergonomi, keamanan, dan keberlanjutan. Tahapan desain meliputi:

1. **Identifikasi Masalah:** Memahami kebutuhan dan kendala teknis yang dihadapi pengguna.
2. **Konseptualisasi:** Mengembangkan ide awal yang melibatkan sketsa atau diagram sederhana.
3. **Pengembangan Desain:** Menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) untuk menciptakan model 2D dan 3D yang detail.

4. **Prototipe:** Membuat dan menguji prototipe untuk mengevaluasi kesesuaian desain dengan kebutuhan.

2.3.2 SolidWorks

Computer Aided Design (CAD) adalah teknologi yang memungkinkan desainer untuk menghasilkan representasi digital dari objek atau sistem yang akan dikembangkan. CAD telah menjadi bagian integral dari berbagai bidang, termasuk teknik mesin, arsitektur, dan desain produk. Dalam konteks perancangan alat pertanian, CAD memungkinkan pembuatan model yang sangat rinci dan akurat dari alat yang akan dibangun, memfasilitasi analisis serta pengujian berbagai aspek desain sebelum pembuatan fisik. Menurut Zeid (2012), CAD tidak hanya membantu mempercepat proses perancangan tetapi juga meningkatkan presisi dan mengurangi kemungkinan kesalahan yang terjadi pada tahap produksi.

Teknologi CAD memungkinkan integrasi dengan perangkat lunak analisis terkomputerisasi seperti analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*, FEA), yang digunakan untuk menguji ketahanan material dan komponen terhadap berbagai beban yang terjadi pada saat alat digunakan di lapangan (Groover, 2015). Simulasi gerakan mekanis juga dapat dilakukan untuk memastikan alat bekerja sesuai harapan, menghindari kerusakan atau kegagalan dalam proses kerja.

Penggunaan CAD tidak hanya sebatas menggambar tetapi juga mencakup visualisasi hubungan antar komponen, pengecekan interferensi antar part dalam *assembly*, hingga simulasi kinerja struktur mekanis. Salah satu perangkat lunak CAD yang paling banyak digunakan saat ini adalah SolidWorks, karena memiliki antarmuka yang intuitif, fitur pemodelan parametrik yang kuat, serta integrasi langsung dengan simulasi teknik seperti analisis tegangan, deformasi, dan gerak. SolidWorks memudahkan pengguna untuk melakukan perancangan 3D part dan assembly, kemudian melanjutkan ke tahap analisis dengan modul seperti SolidWorks Simulation dan SolidWorks Motion. SolidWorks memiliki kompatibilitas tinggi dengan berbagai format file industri, seperti DWG, DXF, STEP, IGES, dan STL yang memudahkan kolaborasi antar tim desain, manufaktur, hingga pengendalian dokumen teknik.

SolidWorks digunakan bukan hanya sebagai alat desain 3D, tetapi juga sebagai platform simulasi teknik. Studi oleh Furqani *et al.* (2022) menerapkan SolidWorks 2019 untuk memodelkan kerangka mesin perontok padi secara digital, lalu menganalisis tegangan von mises, deformasi, serta faktor keamanan struktur menggunakan FEA terintegrasi. Sistem ini memungkinkan evaluasi kekuatan struktur sebelum prototipe dibangun dan dapat mengurangi risiko kegagalan operasional di lapangan. Penelitian lain oleh Intifada *et al.* (2024) menggunakan SolidWorks 2022 untuk merancang dan menganalisis struktur rangka mesin pemanen padi. Melalui simulasi pembebanan operasional, perancang berhasil mengevaluasi distribusi gaya, torsi, dan titik lemah struktur, sehingga memberikan insight kuat terhadap aspek keandalan mekanis serta efisiensi desain.

2.3.3 Material dan Konstruksi Komponen

Pemilihan material dan konstruksi komponen merupakan hal mendasar dalam merancang suatu alat. Rangka utama alat skala kecil idealnya dibuat dari baja lunak (*mild steel ST37/ST44*) karena sifatnya tahan beban dinamis, mudah dibentuk dan dilas, serta tersedia luas dengan harga terjangkau. Baja ini dapat diproses menjadi profil seperti L, UNP, atau pipa untuk menciptakan struktur yang kokoh dan ekonomis, sesuai prinsip teknologi tepat guna di pertanian. Sifat mekanik ST37 ini telah dikaji secara mendalam, termasuk respons material terhadap laju regangan pada uji tarik, menunjukkan bahwa baja ini memiliki tegangan luluh dan kekuatan tarik yang dapat diandalkan dalam kondisi penggunaan di lapangan (Gunawan *et al.*, 2016).

Komponen poros (as) yang menghubungkan roda dengan mekanisme penjatuhan stek direkomendasikan menggunakan baja karbon C45 atau S45C (setara ST37), tergantung beban puntir. Poros dipasang pada *pillow block bearing* untuk memastikan rotasi halus tanpa gesekan berlebih. Dalam konteks alat pertanian, material poros dan bantalan dipilih untuk ketahanan aus dan kemudahan perawatan lapang.

Sistem transmisi yang andal dalam alat pertanian sering mengadopsi kombinasi *pulley* dan *belt* karena efisiensi transmisi daya tinggi (biasanya 70–90 %),

kemudahan penggantian belt dan kemampuan meredam beban kejutan pada operasi lapangan. Studi desain transmisi untuk mesin perontok padi atau pencacah eceng gondok menunjukkan bahwa metode analitis perhitungan diameter *pulley*, panjang *belt*, serta tegangan operasi dapat memastikan sabuk bekerja aman dengan kecepatan keliling di bawah batas ideal (≈ 13 m/s), meminimalkan slip dan keausan berlebih (Rahman *et al.*, 2022).

Roda berfungsi ganda sebagai penggerak laju alat dan pengatur jarak tanam berdasarkan perputaran poros. Roda dapat dirancang dari baja ringan atau polimer diperkuat, dipasang pada poros dengan bantalan agar stabil bergerak di permukaan tanah. Ukuran diameter dan profil roda perlu disesuaikan dengan kondisi lahan untuk memastikan mobilitas alat dan presisi jarak tanam (Hartono *et al.*, 2022).

2.3.4 Prototipe

Prototipe adalah model awal yang dirancang untuk menguji dan memvalidasi aspek teknis serta fungsional dari suatu alat sebelum diproduksi secara massal. Menurut Saputra *et al.* (2024), pembuatan prototipe dalam pengembangan alat bertujuan untuk mengidentifikasi kekurangan dalam desain awal, mengoptimalkan kinerja, serta memastikan alat dapat berfungsi sesuai kebutuhan pengguna. Di sisi lain, Cross (2008) menekankan bahwa prototipe tidak hanya bertujuan untuk pengujian teknis, tetapi juga membantu visualisasi ide dan konsep desain, sehingga perancang dapat lebih mudah mengidentifikasi kelemahan dan potensi perbaikan.

2.4 Metering Device

Metering device merupakan komponen penting dalam teknologi pertanian modern, dirancang untuk memastikan distribusi material yang presisi, baik dalam hal kuantitas maupun lokasi. Dalam konteks sistem penanaman, *metering device* berfungsi untuk mengatur dan menjatuhkan bibit atau benih secara efisien sehingga setiap tanaman mendapatkan jarak dan kedalaman yang optimal sesuai spesifikasi agronomis (Sitorus *et al.*, 2015). Penggunaan *metering device* tidak

hanya meningkatkan efisiensi penanaman tetapi juga mengurangi pemborosan benih dan tenaga kerja, sehingga menjadi solusi yang ekonomis bagi petani skala kecil maupun besar.

Penggunaan *metering device* dalam sistem penanaman otomatis merupakan transformasi penting dari metode manual menuju mekanisasi yang lebih presisi. Prinsip kerjanya bertumpu pada mekanisme pengaturan jumlah dan jarak bibit yang dilepaskan oleh alat secara otomatis pada interval tertentu, berdasarkan rotasi roda penggerak dan struktur internal perangkat penjatah. Suatu desain *metering device* umum mengatur bibit dalam cawan putar (*rotary cups*) atau drum sel *fluted roller*, yang berputar sesuai putaran roda utama, lalu membiarkan satu simpul batang masuk ke celah cawan sebelum jatuh ke saluran tanam melalui gaya gravitasi atau dorongan mekanik.

Dalam mekanisme *metering device* modern, ada beberapa jenis mekanisme penjatuhan bibit:

- **Cawan putar (*rotary cups*):** Bibit dimasukkan manual/operator ke setiap cawan, kemudian cawan berputar dan bibit dilepaskan ke saluran tanam pada interval tetap. Model seperti *rotary dibble type cassava planter* menggunakan 12 cawan putar yang diputar oleh roda penggerak melalui sistem transmisi *sproket/chain*, lalu bibit digerakkan ke *groove* saluran tanam dan terjatuh berdasarkan posisi *output* cawan (He *et al.*, 2022).
- **Roller beralur (*fluted roller*):** Drum silindris beralur memuat bibit melalui sel yang terbuka, lalu saat drum berputar dan mencapai titik pelepasan, bibit jatuh. Ukuran sel dan kecepatan *peripheral roller* menentukan efisiensi penjatuhan; misalnya sel dengan diameter 42,5 mm dan kecepatan 0,26 m/s memberikan *filling efficiency* hingga 58 % dalam uji laboratorium (Pandi *et al.*, 2019).
- **Sistem slot feeder / edge-cell hopper:** Bibit diletakkan dalam celah khusus dan dilepaskan secara bergantian, dikendalikan oleh mekanisme *rotary* (pelat berputar dengan sel-sel penampung) yang disinkronkan dengan

kecepatan maju alat, sehingga setiap putaran pelat melepaskan bibit tepat pada interval yang telah ditetapkan (Badgujar *et al.*, 2017)

Berbagai penelitian internasional telah mengembangkan dan menguji berbagai jenis *metering device* untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi penanaman singkong. Salah satu inovasi adalah pengembangan sistem pemantauan kualitas penanaman secara *real-time* yang menggunakan sensor serat optik dan *rotary encoder*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan mengukur parameter penanaman secara akurat, memungkinkan identifikasi dan koreksi kesalahan penanaman secara cepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi tinggi dengan kesalahan rata-rata kurang dari 1,4% dalam berbagai kecepatan operasional (Yan *et al.*, 2024).

Selain itu, mekanisme *metering* berbasis rantai sendok telah dirancang untuk mengatasi kesulitan dalam pengisian benih dan meningkatkan indeks kualifikasi penanaman. Mekanisme ini terdiri dari komponen seperti pelat langkah, pelat rantai, dan sendok benih, yang bekerja bersama untuk memastikan pengisian dan penjatuhan benih yang efisien (Xiangwei *et al.*, 2023). Pengembangan lain adalah *planter* singkong yang dilengkapi dengan *metering device* tipe *rotary dibble*. Alat ini mampu menyelesaikan operasi penanaman, pembuatan alur, penutupan tanah, dan pemadatan secara simultan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa koefisien variasi jarak tanam kurang dari 30%, dan tingkat kualifikasi penanaman lebih dari 95% (He *et al.*, 2022).

2.4.1 Hubungan Transmisi Dengan *Metering Device*

Hubungan transmisi dengan *metering device* pada alat penanam bertujuan menyinkronkan kecepatan maju alat dengan siklus penjatuhan bibit sehingga jarak tanam dan jumlah bibit per titik tanam konstan. Umumnya, putaran roda penggerak (*ground wheel*) diteruskan ke poros *metering* melalui rantai sproket atau roda gigi; rasio gigi/rantai inilah yang mengatur berapa kali *metering* berputar untuk setiap putaran roda, sehingga mengendalikan frekuensi pelepasan bibit (misalnya satu sel/cawan per fraksi putaran) dan pada akhirnya menentukan

jarak tanam aktual di lapangan. Secara konsep, jarak tanam sepanjang lintasan adalah fungsi dari keliling roda penggerak dan rasio transmisi: semakin besar rasio reduksi dari roda ke *metering*, semakin jarang bibit dilepas; sebaliknya, rasio yang mempercepat putaran *metering* akan memperpendek jarak antar bibit.

Karena itu, penetapan rasio sproket (jumlah gigi penggerak) dan/atau rasio roda gigi menjadi titik kalibrasi utama untuk mengimbangi variasi kecepatan alat baik alat tipe dorong, implemen traktor, maupun *planter* khusus singkong agar jumlah pelepasan per satuan jarak tetap stabil (misal 1 pelepasan per x cm). Desain *planter* singkong tipe *rotary dibble* secara eksplisit menyalurkan daya dari roda ke *metering* melalui transmisi rantai dan komutator/*gear*, menunjukkan bahwa arsitektur transmisi adalah bagian integral dari pengendalian siklus pelepasan stek batang pada setiap segmen lintasan, bukan sekadar penggerak pasif.

Pada implemen penanam yang digerakkan traktor tangan, performa *metering* sangat dipengaruhi oleh rancangan roda penggerak bersirip serta pilihan transmisi; pengujian kinerja unit penanam atau pemupuk jagung terintegrasi menempatkan evaluasi roda penggerak *metering device* sebagai fokus, karena slip roda dan ketidaktepatan rasio akan segera tampil sebagai deviasi jarak tanam atau dosis keluaran. Rekomendasi teknis dari evaluasi tersebut menekankan setelan rasio transmisi yang sesuai (kombinasi sproket, *chain*, dan *gear* atau *pulley* dan *belt*) serta pemeliharaan sistem penggerak demi menjaga akurasi jarak tanam pada berbagai kondisi tanah dan kecepatan operasi.

Sistem transmisi berfungsi sebagai penghubung penggerak utama ke bagian *metering device* agar dapat memutar secara presisi sesuai dengan kebutuhan pengeluaran material. Sebagai contoh, dalam penelitian rancangan *metering device* tipe *screw conveyor* untuk pemupukan tanaman tebu, sistem transmisi digunakan untuk meneruskan putaran roda penggerak ke poros *metering device* melalui komponen seperti *pulley* dan *belt*. Diameter *pulley* yang dipasang pada poros *metering device* disesuaikan dengan diameter poros roda traktor sehingga rotasi yang diterima oleh *metering device* dapat mengatur jumlah keluaran material secara akurat dan berkesinambungan. Dengan demikian, sistem transmisi berperan penting dalam mengontrol kapasitas kerja *metering device*, memastikan

distribusi pupuk sesuai dengan yang diinginkan dan mencegah kerusakan mekanis akibat putaran yang tidak stabil. Komponen-komponen transmisi seperti *pulley*, sabuk, dan poros harus dirancang secara presisi, menyesuaikan kebutuhan beban dan kecepatan rotasi sehingga *metering device* dapat bekerja secara efektif dan efisien dalam aplikasinya di lapangan (Adhar *et al.*, 2016).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2025 hingga September 2025 di Laboratorium Daya Alat dan Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Uji kinerja dilakukan di PKK Agropark Lampung, Desa Sabah Balau, Kec. Tanjung Bintang, Kab. Lampung Selatan, Prov. Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Proses perancangan dan pembuatan sistem penjatuhan bibit singkong memerlukan berbagai alat dan bahan yang dirancang untuk mendukung efisiensi dan keakuratan sistem. Pemilihan alat dan bahan didasarkan pada kebutuhan teknis, ketahanan, dan kemudahan proses perakitan.

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain:

1. Komputer atau laptop dengan *software* SolidWorks
Membantu dalam perencanaan dan perancangan desain teknis 2D dan 3D alat sebelum fabrikasi.
2. Mesin las
Untuk menyambung komponen logam menjadi satu kesatuan.

3. Gerinda tangan
Untuk memotong, menghaluskan, dan membentuk bahan logam seperti plat besi.
4. Mesin bor
Untuk membuat lubang pada bahan logam guna pemasangan mur, baut, atau poros.
5. Kunci bengkel
Untuk pemasangan dan pengencangan mur, baut, serta komponen mekanis lainnya.
6. Alat ukur (meteran, penggaris siku, jangka, dll)
Untuk mengukur panjang komponen, diameter atau ketebalan bahan, serta jarak dan posisi tanaman saat uji lapang.
7. Ragum
Sebagai alat bantu untuk menahan material saat proses pengelasan atau pemotongan.
8. Kuas
Sebagai alat bantu untuk proses pengecatan.
9. Gergaji
Sebagai alat pemotong batang singkong.
10. Traktor roda 2
Untuk menarik seluruh rangka atau implemen alat penanaman.
11. *Stopwatch/handphone*
Untuk mencatat lama waktu yang dibutuhkan alat dalam menyelesaikan proses penanaman dan dokumentasi pada lahan uji.
12. Alat tulis
Untuk mencatat hasil pengamatan selama proses perancangan, pengujian, dan pengumpulan data di lapangan.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain:

1. *Mild steel*
Untuk membuat rangka utama dan komponen lainnya.

2. *Pulley* dan *belt*

Untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lain.

3. Mur dan baut

Untuk penyambungan komponen yang bisa dibongkar pasang.

4. *Bearing*

Untuk mendukung pergerakan poros agar lebih lancar dan minim gesekan.

5. As

As berfungsi sebagai poros utama yang terletak pada *metering device* dan menghubungkan kedua roda.

6. Roda

Sebagai penggerak utama yang mentransmisikan putaran ke *metering device* melalui sistem *pulley* dan *belt*.

7. Kawat las

Sebagai bahan tambahan untuk proses pengelasan.

8. Cat anti karat

Melindungi semua komponen logam agar tidak mudah berkarat dan tahan lama.

9. Tiner

Sebagai bahan pelarut dan pembersih dalam proses pengecatan dan *finishing* permukaan komponen alat.

10. Bibit singkong

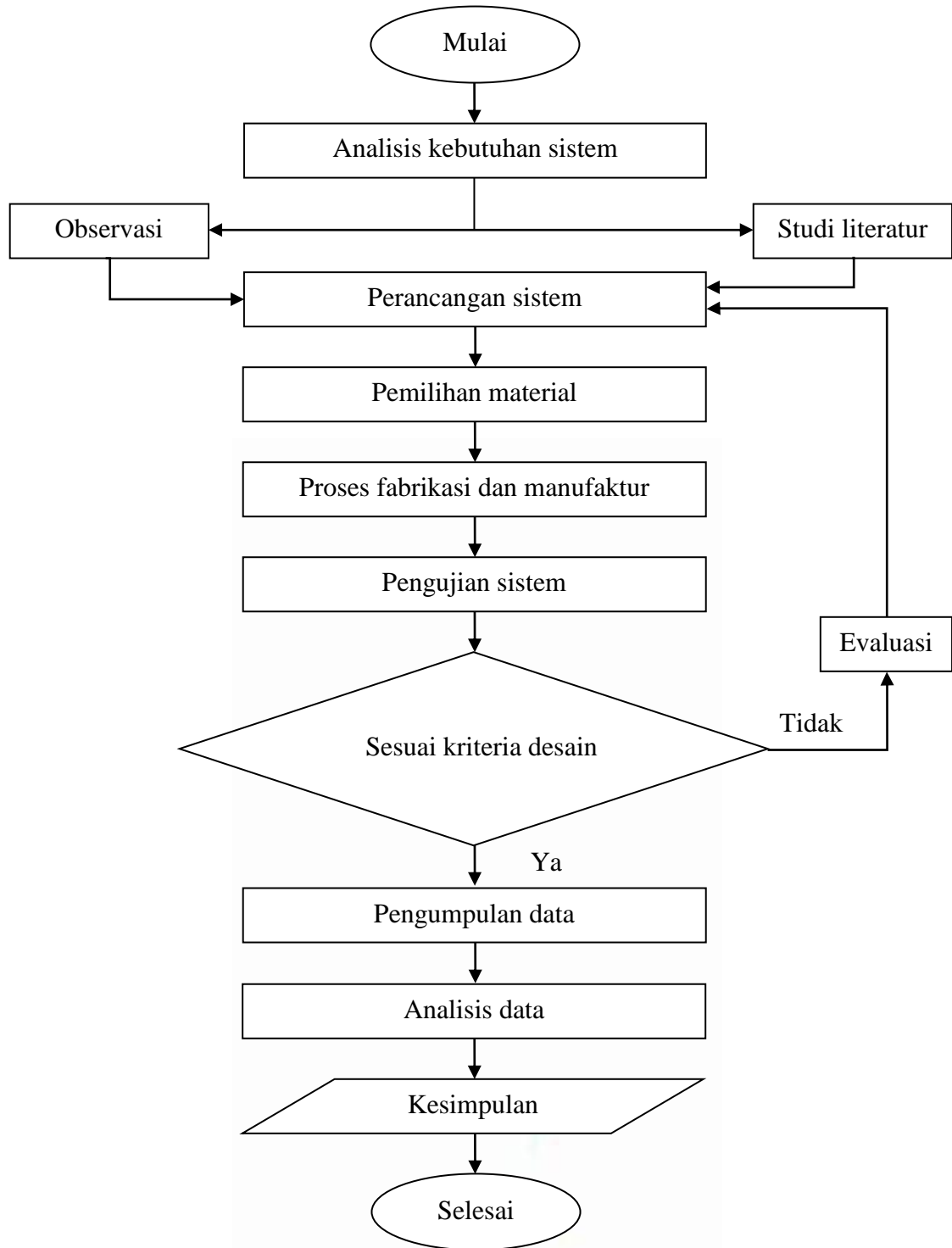
Sebagai objek uji coba untuk mengukur kinerja sistem.

11. Lahan

Sebagai tempat pengujian langsung terhadap alat penjatuhan bibit singkong yang telah dibangun.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 10, sebagai berikut:



Gambar 10. Diagram alir penelitian

3.3.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap awal penelitian adalah mengidentifikasi kebutuhan serta permasalahan yang ada di lapangan. Proses ini dilakukan dengan memahami kondisi nyata di tingkat petani, seperti metode penanaman singkong yang masih manual, waktu yang diperlukan untuk menanam per satuan luas lahan, serta keterbatasan tenaga kerja. Analisis ini bertujuan untuk merumuskan permasalahan utama yang ingin dipecahkan melalui penelitian serta menetapkan tujuan penelitian.

3.3.2 Observasi dan Studi Literatur

Observasi dilakukan dengan turun langsung ke lapangan untuk mengamati kondisi pertanaman singkong. Hal-hal yang diamati meliputi kondisi lahan (tekstur tanah, kemiringan, dan kelembaban), pola tanam yang biasa dilakukan petani, serta peralatan yang digunakan pada saat penanaman. Selain observasi lapangan, penelitian juga didukung dengan kajian pustaka yang relevan. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data dan informasi dari buku, jurnal ilmiah, skripsi terdahulu, serta laporan penelitian terkait mekanisasi pertanian, khususnya mesin tanam singkong.

3.3.3 Perancangan Sistem

Tahap ini merupakan inti dalam penelitian, yaitu menyusun rancangan alat yang akan dibuat. Perancangan dilakukan secara bertahap mulai dari desain konseptual hingga detail konstruksi menggunakan *software* SolidWorks. Pada tahap konseptual, ditentukan mekanisme kerja alat, ukuran dimensi utama, dan cara penggerakan *metering device*. Pada tahap detail, dibuat gambar kerja meliputi bentuk rangka, posisi *pulley*, sambungan *belt*, serta wadah bibit. Perancangan sistem harus menyesuaikan hasil analisis kebutuhan, sehingga alat yang dibuat benar-benar menjawab permasalahan yang ada.

3.3.4 Pemilihan Material

Pemilihan material dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan, daya tahan, ketersediaan, serta biaya agar sesuai dengan fungsi tiap komponen alat. Bagian rangka dirancang menggunakan besi siku karena memiliki ketahanan yang baik terhadap beban dan mudah dilas. Komponen transmisi seperti *pulley* dan *belt* dipilih agar mampu menyalurkan daya secara optimal dan menghindari kerusakan saat terjadi selip, sedangkan bagian *metering device* menggunakan pelat *mild steel* tipis untuk memudahkan proses pembentukan.

3.3.5 Proses Fabrikasi dan Manufaktur

Proses fabrikasi dan manufaktur dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pemotongan material sesuai ukuran, pembentukan komponen dengan teknik pengelasan, pengeboran, serta perakitan seluruh bagian sistem agar sesuai dengan rancangan. Setelah perakitan, dilakukan proses *finishing* berupa penghalusan permukaan dan pengecatan untuk mencegah korosi serta meningkatkan ketahanan material.

3.3.6 Pengujian Sistem

Sebelum dilakukan pengujian utama, dilakukan tahap *pra pengujian sistem* untuk memastikan bahwa seluruh komponen alat penjatuhan bibit singkong berfungsi dengan baik dan siap diuji di lapangan. Tahap ini meliputi pemeriksaan keselarasan sistem transmisi antara *pulley*, *belt*, dan poros *metering*, uji rotasi *metering device* untuk memastikan setiap sel dapat menjatuhkan satu bibit secara konsisten, serta pengecekan kestabilan roda penggerak terhadap permukaan tanah. Selain itu, dilakukan pengujian awal terhadap kelancaran aliran bibit pada *hopper* dan saluran keluaran untuk memastikan tidak terjadi penyumbatan atau penumpukan stek selama proses penjatuhan.

Pengujian sistem utama dilakukan pada lahan yang telah dipersiapkan dengan dua guludan sepanjang 20 m dan lebar guludan 25 cm, serta jarak antar guludan yaitu 2 m. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kinerja alat dalam kondisi nyata,

mencakup parameter keakuratan jarak tanam, kemiringan bibit yang tertanam, kecepatan alat saat digunakan, serta kapasitas kerja dan efisiensi lapang. Hasil uji coba di lapangan ini menjadi dasar dalam mengevaluasi efektivitas rancangan serta menentukan perbaikan yang diperlukan agar alat dapat bekerja optimal.

3.3.7 Kriteria Desain

Dalam merancang sistem penjatuhan bibit, salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan adalah jarak tanam yang optimal untuk pertumbuhan tanaman. Sistem penjatuhan bibit dirancang mampu menjatuhkan bibit singkong (*Manihot esculenta* Crantz) pada jarak tanam yang ideal yaitu 80 cm antar tanaman $\geq 70\%$ dengan batas toleransi 5 cm, serta mampu mengarahkan penjatuhan bibit pada sudut kemiringan antara 0° hingga 45° terhadap permukaan tanah $\geq 70\%$.

3.3.8 Evaluasi

Jika hasil pra pengujian menunjukkan bahwa alat belum sesuai dengan kriteria desain, maka dilakukan evaluasi untuk mencari bagian yang bermasalah. Evaluasi dapat mencakup penyesuaian dimensi komponen, penggantian material yang lebih tepat, atau perbaikan mekanisme *metering device* agar lebih akurat. Setelah perbaikan dilakukan, alat kembali diuji hingga sesuai dengan standar kriteria yang ditentukan.

3.3.9 Pengumpulan Data

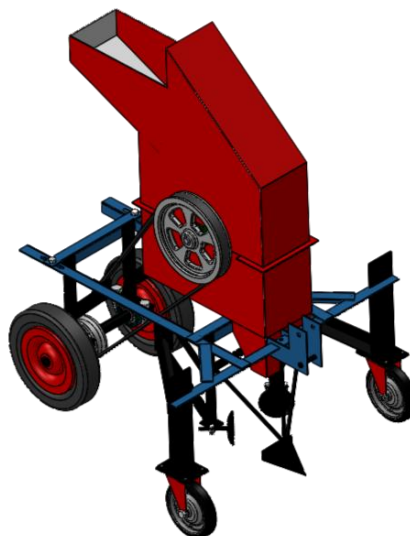
Pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian pengamatan langsung di lapangan dan pencatatan hasil uji kinerja alat pada lahan percobaan. Data yang dikumpulkan meliputi parameter teknis seperti akurasi jarak tanam, akurasi posisi jatuh, kecepatan operasional, kapasitas kerja teoritis, kapasitas kerja aktual, serta efisiensi lapang.

3.3.10 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem penjatuhan bibit singkong berdasarkan hasil pengujian di lapangan. Data yang diperoleh dari setiap parameter uji, seperti akurasi jarak tanam, posisi jatuh, kecepatan operasional, kapasitas teoritis dan aktual, serta efisiensi lapang, diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Proses pengolahan data meliputi perhitungan nilai rata-rata (*mean*) untuk menggambarkan kecenderungan umum hasil pengujian, serta perhitungan standar deviasi (*standard deviation*) untuk mengetahui tingkat penyebaran data atau konsistensi kinerja alat selama 3 kali pengujian (*trial*).

3.4 Rancangan Struktural

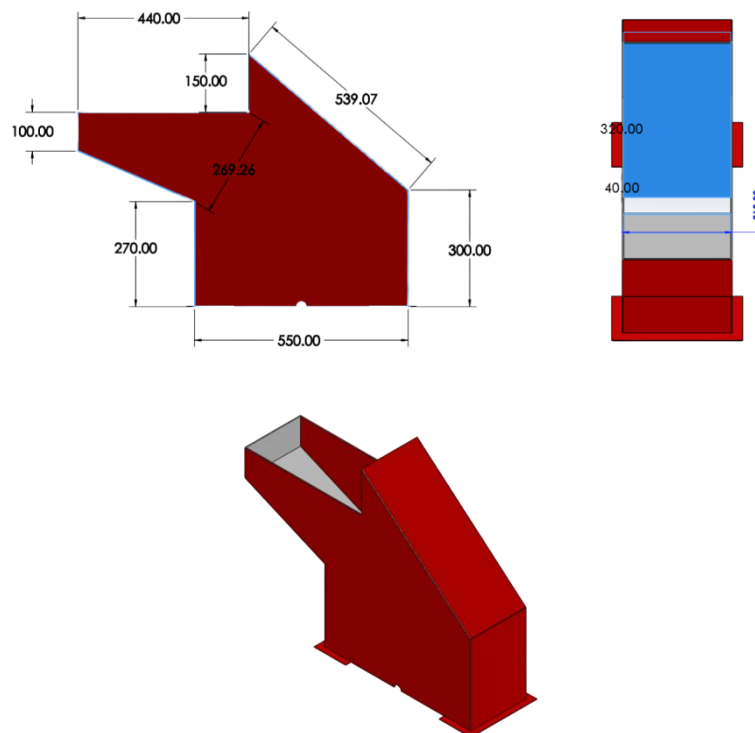
Sistem penjatuhan bibit singkong dirancang agar setiap komponen dapat terpasang dengan kokoh dan bekerja secara optimal dalam satu kesatuan alat. Rancangan sistem penjatuhan bibit singkong yang ditunjukkan pada Gambar 11 tersusun atas beberapa komponen utama yang meliputi *hopper*, *metering device*, as (poros), *pulley* dan *belt*, *cover*, 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.



Gambar 11. Rancangan sistem penjatuhan bibit singkong

3.4.1 Hopper

Hopper dirancang dengan dimensi panjang 85 cm, lebar 21 cm, dan tinggi 65 cm, serta sudut kemiringan sebesar $66,57^\circ$. Rancangan *hopper* pada Gambar 12 memperlihatkan konfigurasi geometri yang ditujukan untuk menjamin kelancaran aliran bibit singkong sehingga tidak terjadi penumpukan yang dapat menghambat proses penjatuhan menuju *metering device*. Bibit disusun secara horizontal di dalam *hopper* dengan orientasi bagian apikal (atas) menghadap sisi kiri dan bagian basal (bawah) menghadap sisi kanan. Penyusunan ini bertujuan untuk menjaga arah penjatuhan bibit tetap konsisten saat memasuki saluran distribusi. Lebar *output hopper* dirancang sebesar $55 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}$, dilengkapi dengan lubang internal berukuran $4 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}$ guna mengatur penyaluran bibit satu per satu ke *metering device*.



Gambar 12. Rancangan *hopper*

Penampang *hopper* diasumsikan terdiri atas dua bentuk utama, yaitu segitiga dan trapesium, yang secara keseluruhan menentukan kapasitas penampungan bibit. Dengan mengetahui luas total penampang dan luas penampang satu batang bibit

singkong, kapasitas *hopper* dapat dihitung secara akurat sehingga *hopper* ini mampu memuat kurang lebih 67 batang bibit singkong.

Perhitungan luas penampang *hopper*:

- Segitiga
 $\text{Alas} = 31,5 \text{ cm}$
 $\text{Tinggi} = 23 \text{ cm}$
 $\text{Luas} = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$
 $= \frac{1}{2} \times 31,5 \times 23$
 $= 362,25 \text{ cm}^2$
- Trapesium
 $a = 23 \text{ cm}$
 $b = 10 \text{ cm}$
 $\text{tinggi} = 29,5 \text{ cm}$
 $\text{Luas} = \frac{1}{2} \times (a + b) \times \text{tinggi}$
 $= \frac{1}{2} \times (23 + 10) \times 29,5$
 $= 486,75 \text{ cm}^2$
- Total luas penampang *hopper*
 $362,25 + 486,75 = 849 \text{ cm}^2$

Perhitungan kapasitas batang singkong:

Ukuran bibit singkong:

$$D = 4 \text{ cm} \rightarrow r = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang} = 16,5 \text{ cm}$$

Luas penampang satu batang:

$$\begin{aligned} L &= \pi \times r^2 \\ &= 3,1416 \times 2^2 \\ &= 12,5664 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah batang ideal (tanpa celah):

$$849 \div 12,5664 \approx 67,56 = 67 \text{ batang}$$

Jumlah batang ideal (dengan celah):

$$849 \div 18 = 47 \text{ batang}$$

3.4.2 Metering Device

Metering device dibangun menggunakan plat dengan ketebalan 1 mm menjadi bentuk tabung dengan diameter 51 cm dan lebar selimut 16,5 cm, serta memiliki dua titik pengaturan sistem untuk menjatuhkan bibit setiap jarak 80 cm. Diameter komponen yang disajikan pada Gambar 13 ini dipilih agar mekanisme penjatuhan dapat bekerja dengan stabil dan memastikan bibit tidak terjebak di dalam sistem. Pemilihan dua titik pengaturan bertujuan untuk mengoptimalkan distribusi bibit sehingga proses penanaman menjadi lebih efisien dan seragam di lapangan.

Metering device terhubung dengan as poros dengan diameter 19 mm (3/4 inci).

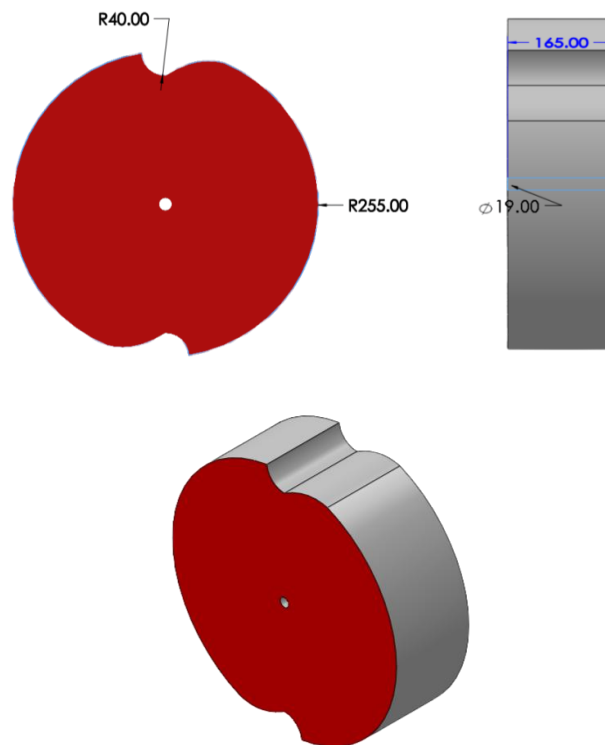
Perhitungan dimensi *metering device*:

- Keliling roda $= \pi \times d$
 $= 3,14 \times 35$
 $= 109,9 \text{ cm}$
 $\approx 110 \text{ cm}$
- Rasio putaran $= \frac{\text{Pulley driver (roda)}}{\text{Pulley driven (tabung)}}$
 $= \frac{5,5}{8}$
 $= 0,6875$
- Jarak tanam total per 1 putaran *metering device* $= 2 \times 80$
 $= 160 \text{ cm}$
- Putaran roda per putaran *metering device* $= \frac{1}{\text{rasio}}$
 $= \frac{1}{0,68751}$
 $\approx 1,4545 \text{ putaran roda}$
- Jarak tempuh roda $= 1,4545 \times 110$
 $\approx 159,995 \text{ cm}$
 $\approx 160 \text{ cm}$
- Keliling *metering device* $= \text{Jarak tempuh roda}$
 $= 160 \text{ cm}$
- Diamater *metering device* $= \frac{K}{\pi}$

$$= \frac{160}{3,14}$$

$$\approx 50,96 \text{ cm}$$

$$\approx 51 \text{ cm}$$



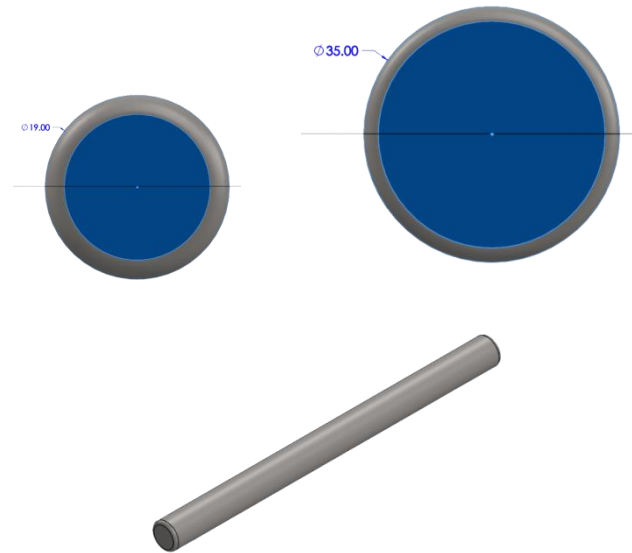
Gambar 13. Rancangan *metering device*

3.4.3 As (Poros)

As atau poros berdiameter 19 mm (3/4 inci) menggunakan *stainless* agar mampu menahan beban torsi dan putaran secara stabil. Poros yang ditampilkan pada Gambar 14, dipasang secara horizontal dan langsung terhubung dengan *metering device* di satu sisi serta *pulley* berdiameter 8 inci di sisi lainnya. Konstruksi ini dirancang agar perputaran poros dapat menggerakkan *metering device* secara konsisten, sehingga bibit singkong dapat dijatuhkan pada jarak tanam yang telah ditentukan. Untuk menjaga kestabilan rotasi dan mengurangi gesekan, poros ditopang oleh dua *block bearing* yang dipasang pada rangka utama alat.

Dalam perancangan ini, as roda memiliki diameter 35 mm. As roda dipasang melintang pada bagian bawah rangka dan ditopang oleh duaudukan *bearing*

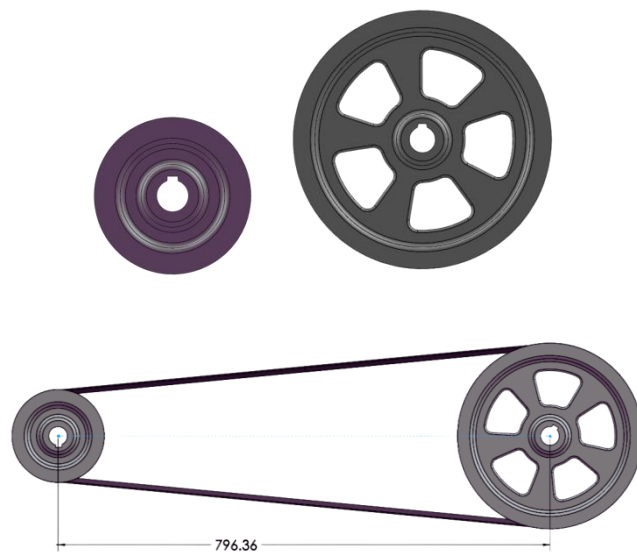
yang terhubung ke rangka utama. Pada as dipasangkan *pulley* yang kemudian dihubungkan dengan *pulley* pada sistem *metering device* menggunakan *belt*.



Gambar 14. Rancangan as (poros)

3.4.4 Pulley dan Belt

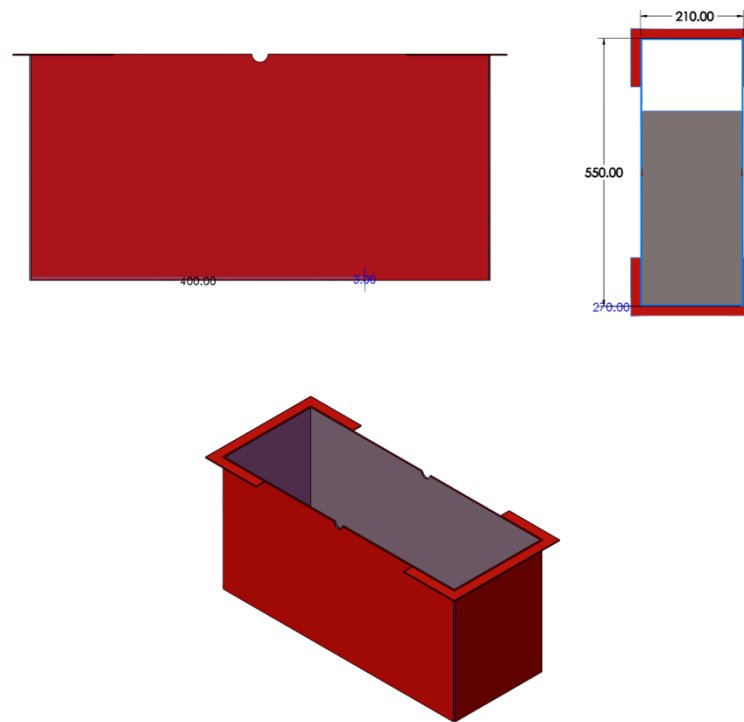
Sistem transmisi menggunakan dua *pulley*, yaitu *pulley* 1 dengan diameter 5,5 inci yang terpasang pada poros roda dan *pulley* 2 dengan diameter 8 inci yang terhubung ke *metering device*. Kedua *pulley* tersebut dihubungkan melalui *belt* dengan panjang efektif 87 inci, seperti pada Gambar 15. Ukuran *pulley* ini dipilih untuk mendapatkan rasio transmisi yang sesuai agar *metering device* dapat beroperasi dengan kecepatan yang optimal seiring dengan pergerakan alat. Dengan perbandingan diameter *pulley* 1 dan *pulley* 2, sistem dapat memastikan bahwa bibit dijatuhkan setiap jarak 80 cm sesuai dengan desain yang diinginkan.



Gambar 15. Rancangan *pulley* dan *belt*

3.4.5 Cover

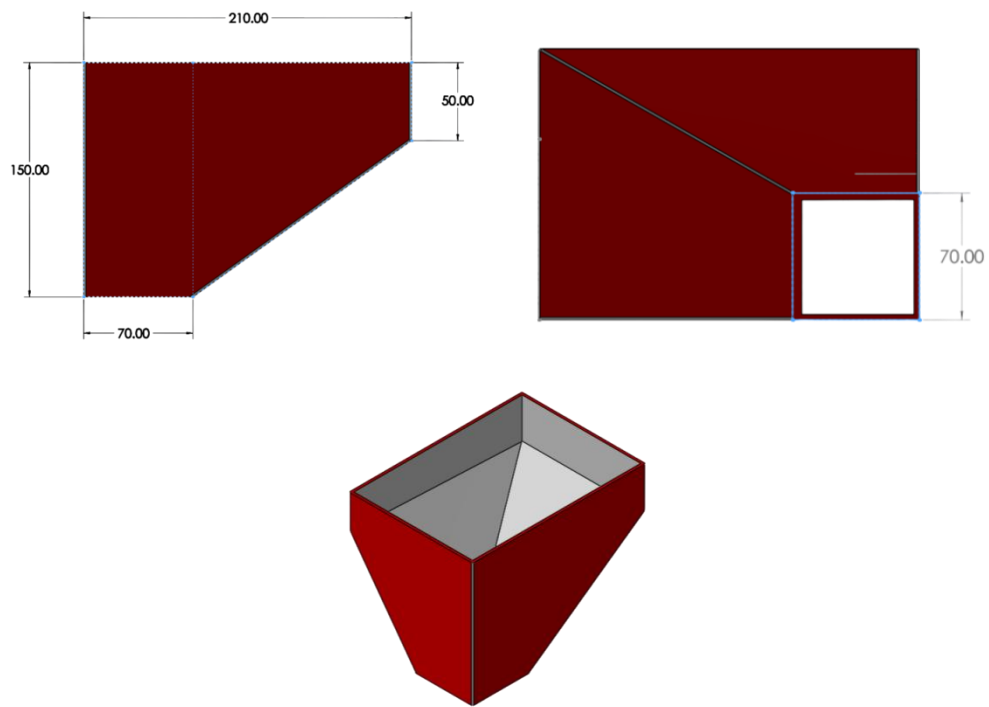
Cover dirancang dengan dimensi panjang 55 cm, lebar 21 cm, dan tinggi 27 cm. Detail bentuk dan posisi saluran penghubung pada *cover* dapat dilihat pada Gambar 16, di mana pada bagian bawahnya terdapat saluran berukuran 15 cm × 21 cm yang berfungsi sebagai penghubung langsung antara komponen internal dengan saluran *output*. Material yang digunakan adalah pelat *mild steel* (baja lunak) dengan ketebalan 1,5 mm yang tahan terhadap korosi dan kondisi lapangan, serta cukup kuat untuk menjaga keamanan bagian dalam alat.



Gambar 16. Rancangan *cover*

3.4.6 Saluran *Output*

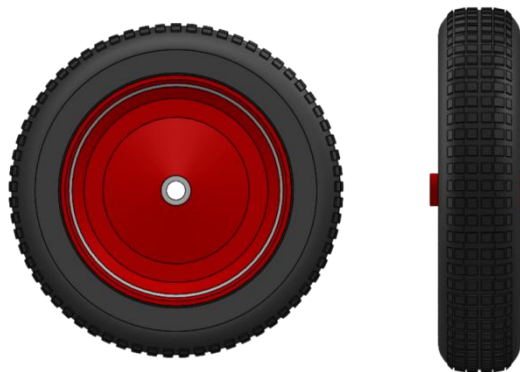
Saluran *output* dirancang sebagai komponen penyalur akhir yang mengarahkan bibit singkong dari sistem penjatuhan menuju tanah secara terarah. Pada Gambar 17 ditunjukkan bahwa saluran ini memiliki tinggi 15 cm dengan bukaan atas 21 cm × 15 cm dan bukaan bawah 7 cm × 7 cm, serta kemiringan 54,46° yang mendukung kelancaran jatuhnya bibit. Perancangan tersebut bertujuan agar bibit yang keluar dari *metering device* tidak mengalami penyimpangan arah dan langsung memasuki jalur tanam sesuai rancangan alat.



Gambar 17. Rancangan saluran *output*

3.4.7 Roda

Roda yang digunakan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 18, memiliki diameter 35 cm dan memanfaatkan roda gerobak sorong yang disesuaikan dengan tinggi guludan agar mampu mencengkeram tanah dan mencegah slip saat digunakan di lahan pertanian. Roda dilengkapi dengan as roda yang terhubung ke rangka utama dan dudukan *bearing*.

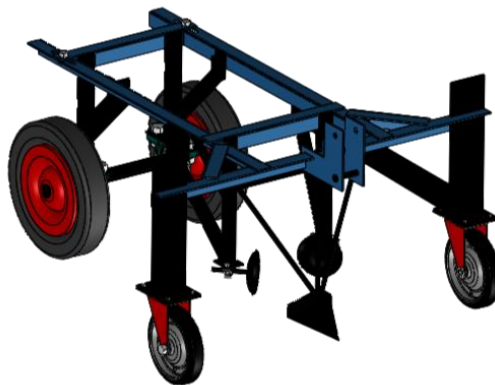


Gambar 18. Rancangan roda

3.4.8 Rangka

Rangka utama dirancang dengan dimensi luar 1200×410 mm dan ditunjukkan pada Gambar 19. Keseluruhan bagian dibuat dari profil besi siku $60 \times 6 \times 60$ mm untuk mendapatkan kombinasi kekakuan dan kemudahan fabrikasi. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan tinggi terhadap beban tarik maupun tekan, serta ketahanan yang baik terhadap getaran dan puntiran.

Pada bagian depan rangka dilengkapi dengan plat dudukan berlubang yang berfungsi sebagai titik sambungan ke *hand tractor* melalui besi penghubung. Desain ini memungkinkan proses pemasangan dan pelepasan lebih mudah serta memberikan fleksibilitas dalam penyetelan posisi kerja alat. Sedangkan pada bagian belakang rangka dilengkapi dengan braket roda yang berfungsi sebagai penopang serta pusat pemasangan roda penggerak.



Gambar 19. Rancangan rangka

3.5 Rancangan Fungsional

Sistem penjatuhan bibit singkong bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen bekerja secara terintegrasi dalam mendukung proses penanaman yang efisien dan akurat. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu *hopper*, *metering device*, as (poros), *pulley* dan *belt*, *cover*, saluran *output*, roda, dan rangka. Setiap komponen memiliki peran spesifik yang saling mendukung untuk mengoptimalkan aliran bibit, pengaturan jarak tanam, serta perlindungan terhadap mekanisme kerja alat.

3.5.1 *Hopper*

Hopper berfungsi sebagai tempat penampungan awal bibit singkong sebelum diproses lebih lanjut oleh sistem penjatuhan. *Hopper* dirancang dengan kapasitas yang cukup untuk menampung bibit dalam jumlah besar sehingga dapat mengurangi frekuensi pengisian ulang selama proses penanaman.

3.5.2 *Metering Device*

Metering device merupakan komponen utama dalam sistem penjatuhan bibit singkong yang berfungsi mengatur interval penjatuhan secara presisi. Alat ini berbentuk tabung silinder dengan dua buah wadah yang terletak pada bagian selimut tabung. Tabung berputar secara vertikal searah dengan arah gerak roda, dan bekerja secara mekanis untuk menjatuhkan bibit pada jarak tanam tetap, yaitu setiap 80 cm. Pergerakan *metering device* dikendalikan melalui sistem transmisi berupa pulley dan belt yang terhubung langsung dengan roda penggerak. Desain ini memastikan distribusi bibit berlangsung secara merata, konsisten, dan sinkron dengan laju gerak alat di lapangan.

3.5.3 As (Poros)

As atau poros memiliki fungsi penting dalam sistem penjatuhan bibit singkong sebagai penghubung langsung antara *pulley* dan *metering device*. Poros ini tidak terhubung ke roda, melainkan berfungsi untuk menerima putaran dari *pulley* yang digerakkan oleh roda, lalu mentransmisikan putaran tersebut ke *metering device*. Dengan diameter 19 mm atau 3/4 inci, poros dirancang untuk menjaga kestabilan dan kesinambungan rotasi pada *metering device*.

As roda merupakan poros utama yang menghubungkan roda kiri dan kanan serta berfungsi sebagai pusat putaran roda pada alat penanaman singkong. Komponen ini memiliki peran penting dalam mentransmisikan gaya putar dari roda ke sistem penjatuhan bibit melalui mekanisme *pulley* dan *belt*

3.5.4 Pulley dan Belt

Pulley dan *belt* merupakan mekanisme transmisi daya yang menghubungkan roda dengan *metering device*. Sistem ini memungkinkan perputaran *metering device* terjadi secara sinkron dengan pergerakan roda, sehingga penjatuhan bibit dapat dilakukan pada jarak yang telah ditentukan.

3.5.5 Cover

Cover merupakan bagian penutup luar dari *metering device* yang berfungsi untuk melindungi mekanisme di dalamnya dari debu, kotoran, dan faktor lingkungan lainnya. Komponen ini dirancang agar mudah dibuka untuk keperluan perawatan atau perbaikan.

3.5.6 Saluran Output

Saluran *output* berfungsi sebagai jalur keluarnya bibit dari *metering device* menuju permukaan tanah.

3.5.7 Roda

Roda merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai penopang dan penggerak utama alat saat bergerak di atas lahan. Dalam sistem penanaman bibit singkong, roda yang digunakan tidak hanya untuk menopang beban alat, tetapi juga berperan dalam menggerakkan sistem penjatuhan bibit melalui transmisi *pulley* dan *belt*.

3.5.8 Rangka

Rangka merupakan struktur utama yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen alat penanaman bibit singkong. Dalam sistem yang dirancang, rangka memiliki fungsi sentral untuk memastikan kestabilan alat selama proses penanaman dan mendukung penyusunan komponen secara ergonomis dan fungsional.

3.6 Parameter Pengujian

Uji kinerja alat dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi sistem penjatuhan bibit singkong yang dirancang. Pengujian dilakukan dalam lingkungan laboratorium dengan parameter utama sebagai berikut:

1. Akurasi Jarak Tanam (%)
2. Akurasi Posisi Jatuh (%)
3. Kecepatan Operasional Alat (m/s)
4. Kapasitas Kerja Teoritis (ha/jam)
5. Kapasitas Kerja Aktual (ha/jam)
6. Efisiensi Lapang (%)

3.6.1 Akurasi Jarak Tanam (A_I , %)

Akurasi jarak tanam dihitung dengan membandingkan jumlah bibit yang jatuh pada jarak yang diinginkan dengan jumlah total bibit yang dijatuhkan.

Perhitungan akurasi menggunakan rumus:

$$A_I = \frac{J_p}{J} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- A_I = Akurasi jarak tanam (%),
 J_p = Jumlah bibit yang jatuh pada jarak sesuai target,
 J = Total bibit yang dijatuhkan.

3.6.2 Akurasi Posisi Jatuh (A_2 , %)

Akurasi posisi jatuh dihitung dengan membandingkan jumlah bibit yang jatuh pada posisi yang sesuai dengan jumlah total bibit yang dijatuhkan selama uji coba.

Perhitungan akurasi dilakukan dengan rumus:

$$A_2 = \frac{P_t}{P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- A_2 = Akurasi posisi jatuh bibit (%),

- P_t = Jumlah bibit dengan posisi yang sesuai (sudut),
 P = Total bibit yang dijatuhkan.

3.6.3 Kecepatan Operasional (V , m/s)

Kecepatan operasional alat diukur berdasarkan jarak yang ditempuh alat dalam satuan waktu. Rumus yang digunakan (Santosa *et al.*, 2017):

$$V = \frac{d}{t} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- V = Kecepatan alat (m/s),
 d = Jarak tempuh alat (m),
 t = Waktu tempuh (s).

3.6.4 Kapasitas Kerja Teoritis (C_t , ha/jam)

Kapasitas kerja teoritis dihitung berdasarkan lebar kerja efektif alat dan kecepatan operasional tanpa mempertimbangkan waktu hilang (non-produktif). Rumus yang digunakan (Purwantoro *et al.*, 2018):

$$C_t = \frac{W \times V}{10} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- C_t = Kapasitas kerja teoritis (ha/jam),
 W = Lebar kerja efektif (m),
 V = Kecepatan kerja (km/jam),
10 = Konstanta konversi (untuk mengubah satuan $m \times km/jam$ menjadi ha/jam).

3.6.5 Kapasitas Kerja Aktual (C_a , ha/jam)

Kapasitas kerja aktual diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan dengan mempertimbangkan waktu efektif dan waktu hilang selama operasi penanaman. Rumus yang digunakan (Purwantoro *et al.*, 2018):

$$C_a = \frac{A}{T} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

C_a = Kapasitas kerja aktual (ha/jam),

A = Luas lahan yang ditanami (ha),

T = Waktu operasi efektif termasuk waktu hilang (jam).

3.6.6 Efisiensi Lapang / *Field Efficiency* (η , %)

Efisiensi alat merupakan perbandingan antara kapasitas kerja aktual dengan kapasitas kerja teoritis. Parameter ini digunakan untuk menilai sejauh mana alat dapat bekerja secara efektif di lapangan dengan mempertimbangkan waktu hilang akibat putaran, penyetelan, ataupun hambatan lain. Nilai efisiensi lapangan dihitung menggunakan persamaan (Purwantoro *et al.*, 2018):

$$\eta = \frac{C_a}{C_t} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

η = Efisiensi alat (%),

C_a = Kapasitas kerja aktual (ha/jam),

C_t = Kapasitas kerja teoritis (ha/jam).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. **Perancangan sistem penjatuhan bibit singkong sederhana dan efisien** telah berhasil dilakukan dengan mengintegrasikan beberapa komponen mekanik yang terdiri dari roda penggerak, sistem transmisi *pulley-belt*, *metering device* berbentuk tabung silinder dengan dua ruang penjatuhan, dan saluran output bibit.
2. **Sistem yang dirancang mampu menghasilkan akurasi jarak tanam yang sesuai dengan rancangan.** Berdasarkan hasil pengujian, jarak tanam yang dihasilkan memiliki nilai rata-rata sebesar 80,79 cm dengan simpangan baku 1,24 cm, sehingga sebagian besar jarak tanam berada pada rentang 79,55–82,03 cm. Rentang tersebut menunjukkan bahwa mekanisme transmisi dan sinkronisasi antara putaran roda penggerak dan *metering device* telah bekerja secara stabil, sehingga sistem mampu mempertahankan keseragaman jarak tanam antar bibit secara konsisten.
3. **Posisi jatuh bibit singkong berada pada kisaran sudut tanam yang ideal.** Berdasarkan hasil pengujian orientasi posisi bibit, diperoleh bahwa 92% bibit jatuh dalam rentang sudut 0° – 15° , dengan rata-rata kemiringan $3,8^{\circ}$. Hal ini menunjukkan bahwa desain saluran penjatuhan dan sistem pelepasan bibit mampu menjaga orientasi bibit mendekati horizontal. Posisi ini sesuai dengan rekomendasi agronomis, di mana kemiringan bibit

kurang dari 45° dapat mendukung pertumbuhan tunas dan akar secara optimal.

4. **Sistem alat tanam semi otomatis yang dirancang menunjukkan kinerja waktu operasi yang sebanding dengan metode penanaman singkong secara manual berbasis tenaga kerja.** Berdasarkan hasil pengujian, alat memiliki kecepatan operasional rata-rata sebesar 0,184 m/s (0,66 km/jam) dengan kapasitas kerja teoritis 0,01657 ha/jam, kapasitas kerja aktual 0,00929 ha/jam, serta efisiensi lapang rata-rata 56,10%. Jika dibandingkan dengan metode penanaman manual yang membutuhkan sekitar 8–10 Hari Orang Kerja (HOK) per hektar, atau setara dengan 64–80 jam kerja manusia per hektar (kapasitas kerja sekitar 0,0125–0,0156 ha/jam), maka waktu operasi alat yang dikembangkan berada pada kisaran yang relatif mendekati.

5.2 Saran

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

1. **Penyempurnaan sistem mekanik *metering device*** untuk menjaga keseimbangan putaran dan memastikan posisi poros tetap senter, misalnya dengan menambahkan *bearing support* atau sistem pemandu vertikal agar rotasi lebih stabil dan tidak terjadi gesekan dengan *cover*.
2. **Sistem tenaga penggerak perlu dikembangkan menjadi model dengan tenaga gerak sendiri (*self-propelled*)**, sehingga alat tidak lagi bergantung pada *hand tractor* sebagai sumber penggerak utama.
3. **Sistem pengatur aliran bibit dari *hopper* ke *metering device*** agar bibit keluar satu per satu secara konsisten. Sistem ini penting untuk menghilangkan kemacetan bibit, mengurangi kasus bibit terlambat jatuh, dan memastikan kontinuitas suplai bibit sehingga jarak tanam tidak melampaui desain akibat keterlambatan aliran.

4. **Peningkatan kapasitas *hopper* dan saluran pengarah bibit** untuk mengurangi waktu jeda pengisian dan meminimalkan waktu tidak produktif selama operasi.
5. **Dimensi *cover* bagian depan diperbesar** agar bibit memiliki ruang jatuh yang lebih bebas setelah keluar dari *metering device*, sehingga mengurangi potensi bibit tersangkut dan meningkatkan kelancaran serta keseragaman penjatuhan bibit.
6. **Optimalisasi rasio transmisi *pulley*** agar jarak tanam dapat diatur sesuai kebutuhan varietas singkong dan kondisi lahan.
7. **Sistem pengatur posisi jatuh** agar setiap stek tertanam sesuai orientasi yang diinginkan.
8. **Analisis ekonomi dan ergonomi alat** perlu dilakukan untuk mengetahui kelayakan penggunaan alat secara komersial serta menyesuaikan desain agar nyaman dioperasikan oleh petani dengan berbagai kondisi fisik dan pengalaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abass, A. B., Towo, E., Mukuka, I., Okechukwu, R., Ranaivoson, R., Tarawali, G., and Kanju, E. (2014). *Growing cassava: a training manual from production to postharvest*. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Adhar, C., Sumarlan, S. H., dan Nugroho, W. A. (2016). Rancang bangun metering device tipe screw conveyor dengan dua arah keluaran untuk pemupukan tanaman tebu. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 4(1), 1-10.
- Aguilera, J., Krewer, B., Ribeiro, N., Zuffo, A., Ratke, R., and Elsayed, A. (2022). Planting position and application of different doses of nitrogen at different times on cassava. *Ciencia e Agrotecnologia*. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202246002722>.
- Ahmad, F. (2021). Pengaruh panjang stek terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.). *Cendekia Eksakta*, 5(2), 67-71.
- Ali, U. (2008). Pengaruh penggunaan onggok dan isirumen sapi dalam pakan komplit terhadap penampilan kambing peranakan etawah. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 9, 1-10.
- 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>.
- Anggraini, N., Harianto., dan Anggraeni, L. (2016). Efisiensi teknis, alokatif dan ekonomi pada usahatani ubikayu di Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 4(1), 43-56. <https://doi.org/10.29244/jai.2016.4.1.43-56>.
- Anwar, M. R., Liu, D. L., Farquharson, R., Macadam, I., Abadi, A., Finlayson, J., Wang, B., dan Ramilan, T. (2015). Climate change impacts on phenology and yields of five broadacre crops at four climatologically distinct locations in Australia. *Agricultural Systems*, 132, 133-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.010>.

- Artiani, P. A., dan Avrelina, Y. R. (2009). Modifikasi cassava starch dengan proses acetylation asam asetat untuk produk pangan. *Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, (024), 1-7.
- Asmara, S., Widyastuti, R. A. D., dan Sanjaya, P. (2022). Pertumbuhan akar stek singkong (*manihot esculenta crantz*) hasil pengeratan dengan menggunakan alat pengerat bibit singkong (rabikong). *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(2), 309-314. <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i2.5969>.
- Badgajar, C. M., Dhingra, H. S., Mannes, G. S., and Khurana, R. (2017). Development and evaluation of inclined plate metering mechanism for soaked okra (*abelmoschus esculentus*) seeds. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 6(12), 3948-3961. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.612.455>.
- Bargumono. (2012). *Budidaya Tanaman Singkong*. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Beningno, E. J. L. S. (2021). Design and development of a prototype implement-type cassava planting machine. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 11(4), 165-170. <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.11.04.2021.p11221>.
- Benti, G., Tadesse, F., Degefa, G., Waqgari, G., and Jafar, M. (2022). Effect of spacing and pruning methods on root yield and yield parameters of cassava (*Mahinot 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.
- Boydas, M. G., and Uygan, F. (2012). Influence of seed physical properties and speed on the external mechanical damage index and in-row spacing uniformity in an automatic potato planter. *Tarim Bilimleri Dergisi-journal of Agricultural Sciences*, 18, 126-136. https://doi.org/10.1501/tarimbil_00000001200.
- Bukhtiarova, A., Hayriyan, A., Chentsov, V., and 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).
- Chalachai, S., Soni, P., Chamsing, A., and Salokhe, V. M. (2013). A critical review of mechanization in cassava harvesting in Thailand. *International Agricultural Engineering Journal*, 22(4), 81-93.
- Cross, N. (2021). *Engineering design methods: strategies for product design, fifth edition*. John Wiley dan Sons Ltd. Hoboken.
- D'Antonio, P., Mehmeti, A., Toscano, F., and 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>.

- Eke-Okoro, O.N., Ekwe, K.C. and Nwosu, K.I. (2005) *Cassava stem and root production. a practical manual*. National Root Crops Research Institute, Umudike, 22-30.
- FAO. (2013). *Cassava farmer field schools: resource material for facilitators in sub-Saharan Africa*. <https://www.fao.org/4/i3447e/i3447e.pdf>.
- FAO. (2013). *Save and grow cassava a guide to sustainable production intensification*. Rome: FAO. <https://www.fao.org/3/i3278e/i3278e.pdf>.
- FiBL. (2011): African Organic Agriculture Training Manual. Version 1.0 June 2011. Edited by Gilles Weidmann and Lukas Kilcher. *Research Institute of Organic Agriculture FiBL*, Frick.
- Furqani, I., Arief, R. K., dan Muchlisinalahuddin. (2022). Analisis kekuatan rangka mesin perontok padi menggunakan *Solidworks* 2019. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(2), 42-49. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i2.1201>.
- Gardjito, M., Djuardi, A., dan Harmayani, E. (2013). *Pangan nusantara karakteristik dan prospek untuk percepatan diversifikasi pangan*. Kencana Prenada Media Group. Jakarta.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing, fourth edition*. Pearson Education, Inc., Boston Columbus Indianapolis New York San Francisco Upper Saddle River Amsterdam Cape Town Dubai London Madrid Milan Munich Paris Montreal Toronto Delhi Mexico City Sao Paulo Sydney Hong Kong Seoul Singapore Taipei Tokyo. ISBN 978-0-13-349961-2.
- Gunawan, L., Dimas, A., Jusuf, A., Dirgantara, T., dan Putra, I. S. (2016). Karakterisasi sifat mekanik *mild steel* ST37 dan *high strength steel* CR420LA pada laju regangan menengah. *Mesin*, 25(2), 90-100. <https://doi.org/10.5614/MESIN.2016.25.2.5>.
- Hartono, A., Sukarno, R., dan Sugita, I. W. (2022). Analisis kekuatan poros dan rodabersirip pada alat penanam padi portabel melalui pendekatan simulasi. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 7(2), 134-145. <https://doi.org/10.21009/JKEM.7.2.8>.
- Hauser, S., Aluko, O. O., Egwakhide, M. I., Dankaro, N., and Enesi, R. O. (2025). Effects of cassava planting stake orientation, size, and age on growth and storage root yield. *J Plant Sci Phytopathol*; 9(1), 011-022. <https://dx.doi.org/10.29328/journal.jpssp.1001148>.
- He, F., Deng, G., Cui, Z., Li, L., and li, G. (2022). Devolpment of a rotary dibble-type cassava planter. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 42(5). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v42n5e20210237/2022>.
- Herawati, H. (2012). Teknologi proses produksi food ingredient dari tapioka termodifikasi. *Litbang Pertanian*, 31(12), 68-76.

- 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.
- Intifada, D., Setiawan, R., dan Ditja, I. (2024). Analisis kekuatan rangka mesin padi menggunakan software *Solidwork* 2022. *JSE*, 9(3), 9810–9818. <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/317>.
- Isa, M., Hot, S., dan Putri, L. A. P. (2015). Pengaruh jumlah ruas dan sudut tanam terhadap pertumbuhan dan produksi beberapa varietas ubi jalar (*Ipomoea batatas* L.) Lamb. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1), 1945-1952.
- Jaji, H., and Bonga, W. G. (2017). The effect of increased electricity tariffs on citrus production in Beitbridge, Zimbabwe. *DRJ-JEF*, 2(6), 20-28. https://Papers.Ssrn.Com/Sol3/Delivery.Cfm/SSRN_ID2995537_Code2149113.Pdf?Abstractid=2995537danMirid=1%0Ahttps://Papers.Ssrn.Com/Sol3/Papers.Cfm?Abstract_Id=2995537%0Ahttps://Www.Ssrn.Com/Abstract=2995537%0Ahttps://Lens.Org/043-321-400-960-930.
- John, K. S., Sreekumar, J., Sheela, M. N., Beegum, S. U. S., More, S. J., and Suja, G. (2020). Pre evaluation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm for genotypic variation in the identification of K efficient genotypes through different statistical tools. *Physiol Mol Biol Plants*, 26(9), 1911–1923. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00867-2>.
- 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>
- Koswara, S. (2009). Teknologi modifikasi pati. *Ebook Pangan*, 1-32. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-731-0.50013-X>.
- Kundy, A. C., Mkamilo, G. S., and Misangu, R. N. (2014). Correlation and path analysis between yield and yield components in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Southern Tanzania. *Journal of Natural Sciences Research*, 4(12), 6-10.
- 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., and Bochkarev, V. (2020). Laboratory field studies of mini potato planter. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700150>.

- Legowo, R. (2019). Rancang bangun paper pot transplanter portable bawang merah (*Allium ascalonicum* L). *Skripsi*. Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Lesmana, I., Nurdiana, D., dan Siswancipto, T. (2018). Pengaruh berbagai zat pengatur tumbuh alami dan asal stek batang terhadap pertumbuhan vegetatif bibit melati putih (*Jasminum sambac* (L.) W. Ait.). *Jurnal Agroteknologi dan Sains*, 2(2), 80-98.
<https://doi.org/10.52434/jagros.v2i2.437>.
- Lesmana, S., Mukhlis., Soim, A., dan Natastya, G. Y. (2021). *From zero to hero: merajut sinergi terapkan inovasi pertanian dari Aceh hingga Papua*. BBP2TP. Bogor.
- Li, K., Zhu, W., Zeng, K., Zhang, Z., Ye, J., Ou, W., Rehman, S., Heuer, B., and Chen, S. (2010). Proteome characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) somatic embryos, plantlets and tuberous roots. *Proteome Sci*, 8(10). <https://doi.org/10.1186/1477-5956-8-10>.
- Ling, L., Xiao, Y., Huang, X., Wu, G., Li, L., Yan, B., and Geng, D. (2024). Design and testing of electric drive system for maize precision seeder. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101778>.
- Liu, Z., Hua, L., Lyu, Z., Hu, J., and 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>.
- Mbise, V. E., Sibuga, K. P., and Mtui, H. D. (2024). Impact of planting techniques and cutting sizes on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) sprouting and subsequent vegetative growth in various nursery environments. *Journal of Current Opinion in Crop Science*, 5(2), 113-124.
<https://doi.org/10.62773/jcocs.v5i2.242>.
- Meyer, D. F. (2019). An assessment of the importance of the agricultural sektor on economic growth and development in South Africa. in proceedings of the 52nd international academic conference, Barcelona (Pp. 240-255). *International Institute of Social and Economic Sciences*.
<https://doi.org/10.20472/Iac.2019.052.041>.
- Miah, M., Rahman, M., Hoque, M., Ibrahim, S., Sultan, M., Shamshiri, R., Ucgul, M., Hasan, M., and Barna, T. (2023). Design and evaluation of a power tiller vegetable seedling transplanter with dibbler and furrow type. *Heliyon*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17827>.
- Muanah., Syuaib, M. F., dan Liyantono. (2019). Pendekatan ekonomi ergonomika untuk perancangan optimal tenaga kerja dan mekanisasi pada produksi beras (studi komparasi padi sawah organik dan konvensional). *Jurnal AGROTEK*, 6(1).

- Mustofa, K. A., dan Suyanto, A. (2011). Kadar kalsium, daya kembang, dan sifat organoleptik kerupuk onggok singkong dengan variasi penambahan tepung cangkang rajungan (*Portunus pelagicus*). *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 2(3).
- Narmilan, A., and Puvintha, S. (2020). The effect of different planting methods on growth and yield of selected of cassava (*Manihot esculenta*) cultivars. *Agricultural Science Digest*, 40(4), 364-369. Doi: 10.18805/ag.D-272.
- Nugraha, H. D., Suryanto, A., dan Nugroho, A. (2015). Kajian potensi produktivitas ubikayu (*Manihot esculenta Crant*) di Kabupaten Pati. *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(8), 673 – 682.
- Oliveira, E. J. de., Oliveira, S. A. S. de., Otto, C., Alicai, T., Freitas, J. P. X. de., Cortes, D. F. M., Pariyo, A., Liri, C., Adiga, G., Balmer, A., Klauser, D., and Robinson, M. (2020) A novel seed treatment-based multiplication approach for cassava planting material. *PLoS ONE*, 15(3): e0229943. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229943>.
- Ospina, B., Cadavid, L. F., Garcia, M. and Alcalde, C. (2007). *Mechanization of cassava production in Colombia*. CIAT.
- Pahl, G., and Beitz, W. (2007). *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science dan Business Media. Darmstadt.
- Pandi, M. D., Asokan, D., Gunasekar, J. J., and Kannan, S. V. (2019). Assessing suitability of fluted roller metering mechanism for cassava setts planter. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 8(05), 1951-1957. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.226>.
- Puspitorini, P., Pitaloka, D., dan Kurniastuti, T. (2016). Hasil ubikayu (*Manihot esculenta Crantz*) varietas UJ5 pada berbagai umur panen. *Journal Viabel Pertanian*, 10(1) 63-70. <https://doi.org/10.35457/viabel.v10i1.114>.
- Purwanto, D., Dianpratiwi, T., dan Markumningsih, S. (2018). Analisis penggunaan alat mesin pertanian berbasis traktor tangan pada kegiatan perawatan budidaya tebu. *Agritech*, 38(3), 313-319. <https://doi.org/10.22146/agritech.28149>.
- Radjit, B. S., dan Prasetiaswati, N. (2011). Potensi hasil umbi dan kadar pati pada beberapa varietas ubi kayu dengan sistim sambung (mukibat). *Buana Sains*, 11(1), 35-44. <https://doi.org/10.33366/bs.v11i1.177>.
- Rahman, F., Santoso, D. T., Gusniar, I. N., dan Sumarjo, J. (2022). Analytical calculation of pulley and v-belt for rice thresher powered by matari mgx-390 gasoline engine. *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering dan Advanced Materials (IJIMEAM)*, 4(3), 92-96. <http://dx.doi.org/10.22441/ijimeam.v4i3.19441>.

- Rathore, F., and Chaturvedi, S. (2018). Development and performance evaluation of manually operated potato planter. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*. <https://doi.org/10.18805/bkap121>.
- Retnowati, D. S., Kumoro, A. C., dan Budiyati, S. (2010). Modifikasi pati ketela pohon secara kimia dengan oleoresin dari minyak jahe. *Rekayasa Proses*, 4(1), 1-6.
- Riyanto. (2012). *Biologi tanaman industri*. Diktat Kuliah Universitas Medan Area. Medan.
- Saleh, N., Taufik, A., Widodo, Y., dan Sundari, T. (2016). Pedoman budi daya ubi kayu di Indonesia. *Indonesian Agency For Agricultural Research And Development (IAARD) Press*.
- Santosa., Fadli, I., dan Lia, A. (2017). Studi terknologi-ekonomi mesin tanam indo jarwo transplanter 2: 1 di Kabupaten Dharmasraya dan Padang Pariaman. *Teknik Pertanian J. Prosiding Seminar Nasional FKPT-TPI*.
- Saputra, D., Rafiq, M., Setyoningrum, N. R., dan Setiawan, H. (2024). Prototipe smart solar tracker system dengan memanfaatkan internet of things dan monitoring berbasis android. *Digital Transformation Technology*, 4(1), 540–549. <https://doi.org/10.47709/digitech.v4i1.4375>.
- Scarfone, A., Picchio, R., Del Giudice, A., Latterini, F., Mattei, P., Santangelo, E., and 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>.
- Setiawan, K., Ardian, A., Utomo, S. D., Yeli, F., Syaifudin, A., Surtono, A., Sungkono, S., Agustiansyah, A., dan Sanjaya, P. (2023). Pengenalan klon ubikayu genjah sebagai alternatif panen muda pada petani dan industri tapioka di Lampung. *Jurnal Pengabdian Fakultas Pertanian Universitas Lampung*, 2(2), 40–48. <https://doi.org/10.23960/jpfp.v2i2.7799>.
- Silva, D. V., Cabral, C. M., Costa, S. S. D. d., Souza, M. d. F., Ferreira, E. A., Braga, R. R., Pereira, G. A. M., and Santos, J. B. d. (2017). Leaf anatomy of cassava (*Manihot esculenta* Crantz. cv. IAC-12) after herbicides application to control weeds in Minas Gerais, Brazil. *Acta Agronómica*, 66(3), 385-390.
- Siregar, S. R., Pramono, E., Kamal, M., dan Hadi, M. S. (2020). Pengaruh sistem pertanaman terhadap pertumbuhan, produktivitas, dan viabilitas benih pasca simpan beberapa genotipe sorgum. *Jurnal Galung Tropika*, 9(2), 124 – 136. <http://dx.doi.org/10.31850/jgt.v9i2.590>.
- Sitorus, A., Hermawan, W., dan Setiawan. R. P. A. (2015). Pengembangan mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah alur. *JTEP*, 3(2), 81-88. Doi:10.19028/jtep.03.2.81-88.

- Sugiyarto., Wahyudiningsih, T. S., Darmawan, E., dan Hidayah, L. (2023). Morphological characteristics and similarity analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Wonosobo, Temanggung, and Magelang Regencies. *Jurnal Biodjati*, 8(2), 273–284. <https://doi.org/10.15575/biodjati.v8i2.25660>.
- Supriyatna, N. (2012). Produksi dekstrin dari ubi jalar asal pontianak secara enzimatis. *Biopropal Industri*, 3(2), 51-56.
- Sutrisno, S., Noerwijati, K., Baliadi, Y., Wahyuningsih, S., dan Taufiq, A. (2023). Perbedaan jumlah mata tunas per stek dan populasi pada pertumbuhan dan produksi bibit setelah panen ubi kayu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(3), 415-422. <https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.415>.
- Tamrai, N., Masarn, B., Kaewkabthong, A., Lapcharoensuk, R., Sangchan, S., and Udompetaikul, U. (2018). Development of an automatic tracking system to determine field efficiency of agricultural machines. *MATEC Web Conf*, 192. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819203059>.
- Thamrin, M., Mardhiyah, A., dan Marpaung, S. E. (2013). Analisis usahatani ubi kayu (*Manihot utilissima*). *Agrium*, 18(1), 57-64. <https://doi.org/10.30596/agrium.v18i1.343>.
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process, Fourth Edition*. McGraw-Hill. New York.
- Utomo, S. D., Fiska, A. M., Jingga, I. N., Edy, a., Setiawan, K., dan Sunyoto. (2020). Produksi 23 klon singkong di Desa Muara Putih, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Tropical Upland Resources*, 2(1), 77-84. <https://doi.org/10.23960/jtur.vol2no1.2020.82>.
- Wahyudi, M., Yelli, F., Surtono, A., Supriatin., dan Afriliyanti, R. (2024). Pengaruh kandungan hara tanah dan klon terhadap kadar pati ubi kayu (*Manihot esculenta* Crantz) di Lampung Tengah yang diukur dengan metode neraca massa. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(4), 935-948. <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v12i4.9973>.
- Wahyurini, E., dan Sugandini, D. (2021). Budidaya dan aneka olahan singkong. *Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta*. Yogyakarta.
- Widowati, S. (2011) Diversifikasi konsumsi pangan berbasis ubi jalar. *Jurnal Pangan*, 20(1), 49-61. <https://doi.org/10.33964/jp.v20i1.12>.
- Wulandari, S., Jupriyadi., dan Fadly, M. (2021). Rancang bangun aplikasi pemasaran penggalangan infaq beras (studi kasus: gerakan infaq), *TELEFORTECH J. Telemat. Inf. Technol*, 2(1), 11-16. <https://doi.org/10.33365/tft.v2i1.1991>.

- Xiangwei, M., Lintao, C., Xu, M. Junxiang , X., and Jinshan X. (2023). Design and experient of spoon chain seed matering mechanism of precutting vibration seed feeding cassava planter. *Nongye Jixie Xuebao*, 54(2).
- Yan, B., Cui, Z., Deng, G., Li, G., Zheng, S., He, F., Li, L., Chen, P., Wang, X., Zhou, S., Dai, Y., Qin, S., and Liu, Z. (2024). Design and validation of a real-time cassava planter seed quality monitoring system based on optical fiber sensors and rotary encoders. *Front. Plant Sci.* 15:1481909. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1481909>.
- Yang, S., Zhai, C., Gao, Y., Dou, H., Zhao, X., He, Y., and 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.
- Yudha, E. P., Salsabila, A., dan Haryati, T. (2023). Analisis daya saing ekspor komoditas ubi kayu Indonesia, Thailand dan Vietnam di pasar dunia. *Jurnal Maneksi*, 12(2). <https://doi.org/10.31959/jm.v12i2.1450>.
- Zeid, I. (2012). *Mastering CAD/CAM*. McGraw-Hill. New York.