



SURAT KETERANGAN

NOMOR: 5067/SM.220/I.10/08/2026

Yang bertanda-tangan di bawah ini,

Nama : Yustin Nesty Citrasari, S.IP.Info., M.I.Kom
NIP : 198706042011012023
Jabatan : Kepala Unit Perpustakaan

dengan ini menerangkan bahwa

Nama : Nadia Nur Apriliyana
NIM : 04.01.22.1206
Prodi : Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan
Jurusan : Pertanian
Judul Tugas Akhir : Pengembangan inovasi Trichokompos diperkaya Nanopartikel ZnO sebagai pupuk organik berkualitas.

Dosen Pembimbing :
1. Dr. Niken Rani Wandansari, SP., MP
2. Drs. Tri Wahyudie, MM

Dinyatakan telah melakukan Uji Plagiasi Tugas Akhir melalui proses deteksi plagiasi menggunakan aplikasi “Itenthicate (Turnitin)” Polbangtan Malang. Nilai prosentase yang dihasilkan dari Hasil Uji Plagiasi tersebut dengan prosentase tingkat kemiripan (similarity) naskah sebesar **12%** (maksimal kemiripan **25%** berdasarkan pedoman penulisan Tugas Akhir Tahun 2025/2026), dan yang bersangkutan dapat melaksanakan tahapan jenjang berikutnya. Surat keterangan ini dapat di pergunakan sebagai salah satu syarat dalam **Mengikuti Ujian Sidang Komprehensif dan Penyelesaian Administrasi Akademik.**

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Malang
Tanggal : 03 Agustus 2026
An. Direktur Polbangtan Malang,
Kepala Unit Perpustakaan



Yustin Nesty Citrasari, S.IP. Info., M.I.Kom
NIP.198706042011012023

Tembusan :

1. Direktur Polbangtan Malang sebagai laporan
2. Wakil Direktur I Bidang Akademik dan Kerja Sama
3. Ketua Jurusan Pertanian
4. Ketua Jurusan Peternakan
5. Ketua Program Studi Penyuluhan Pertanian Berkelanjutan
6. Ketua Program Studi Penyuluhan Peternakan dan Kesejahteraan Hewan
7. Ketua Program Studi Agribisnis Peternakan

NADIA NUR APRILYANA

 Politeknik Pembangunan Pertanian Malang

Document Details

Submission ID

trn:oid:::3618:147200181

Submission Date

Aug 3, 2026, 3:23 PM GMT+7

Download Date

Aug 3, 2026, 3:38 PM GMT+7

File Name

LAPORAN TUGAS AKHIR NADIA.docx

File Size

4.1 MB

116 Pages

25,722 Words

172,218 Characters

12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 7%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review



Hidden Text

2 suspect characters on 1 page

Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

10%  Internet sources
7%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	www.scribd.com	<1%
2	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
3	Internet	pt.scribd.com	<1%
4	Internet	protan.studentjournal.ub.ac.id	<1%
5	Internet	ejournal.urindo.ac.id	<1%
6	Internet	core.ac.uk	<1%
7	Internet	repository.its.ac.id	<1%
8	Internet	repository.uin-suska.ac.id	<1%
9	Internet	eprints.umm.ac.id	<1%
10	Internet	fliphtml5.com	<1%
11	Internet	id.123dok.com	<1%

12	Internet	kikp-pertanian.id	<1%
13	Internet	adoc.pub	<1%
14	Internet	e-jurnal.unisda.ac.id	<1%
15	Internet	repositori.unibos.ac.id	<1%
16	Internet	digilib.uinsa.ac.id	<1%
17	Internet	dspace.uui.ac.id	<1%
18	Internet	text-id.123dok.com	<1%
19	Internet	sipora.polije.ac.id	<1%
20	Internet	123dok.com	<1%
21	Internet	e-book.ghanipress.com	<1%
22	Internet	jurnal.polteq.ac.id	<1%
23	Internet	journal.unhas.ac.id	<1%
24	Internet	jurnal.uns.ac.id	<1%
25	Internet	elib.pnc.ac.id	<1%

26	Publication	Hasmariyanti, Eka Sudartik, Ahmad Zailan. "OPTIMIZATION OF THE USE OF POC J...	<1%
27	Internet	journal.uin-alauddin.ac.id	<1%
28	Internet	e-journal.politanisamarinda.ac.id	<1%
29	Internet	jtam.ulm.ac.id	<1%
30	Publication	Surya Handayani, Jumaria Nasution, Meiliana Friska, Siti Hardianti Wahyuni. "Pen...	<1%
31	Internet	jurnal.ilmubersama.com	<1%
32	Publication	Selviana Anggraini, Rahil Ade Rifqah, Pajri Ananta Yudha, Dini Puspita Yanty, Pop...	<1%
33	Internet	doaj.org	<1%
34	Internet	docplayer.info	<1%
35	Internet	repo.poltekkes-surabaya.ac.id	<1%
36	Internet	jlal.org	<1%
37	Internet	jurnal.unitri.ac.id	<1%
38	Internet	ojs.unr.ac.id	<1%
39	Internet	repository.umi.ac.id	<1%

40	Publication	Renato D. Matosinhos, Fabricio L. Ferreira, Valéria V.C. de Lima, Clara D. Fernande...	<1%
41	Publication	Kharisma Enggar Pradana, Tyas Soemarah K.D, Endang Suprpti, Wiyono Wiyono,...	<1%
42	Internet	langitartaprinthaus.com	<1%
43	Internet	talenta.usu.ac.id	<1%
44	Internet	repositori.unsil.ac.id	<1%
45	Publication	Desvo Saputra, Meli Sasmi. "ANALISIS KOMPARASI TINGKAT PENDAPATAN PETAN...	<1%
46	Internet	es.scribd.com	<1%
47	Internet	jurnal.polinela.ac.id	<1%
48	Internet	repository.unupurwokerto.ac.id	<1%
49	Internet	www.researchgate.net	<1%
50	Internet	jurnalagriepat.wordpress.com	<1%
51	Internet	repository.unair.ac.id	<1%
52	Internet	www.slideshare.net	<1%
53	Publication	Bahrudin Yusuf, Maria Ulfah Riani Riani. "Kelayakan Usaha Perikanan Agrowisat...	<1%

54	Publication	Vina Miftahurrahmah Putri Hadi, Sukardi Sukardi, Vritta Amroini Wahyudi. "Studi ...	<1%
55	Publication	Dominggus De Lima, Lily Joris. "APLIKASI BEBERAPA JENIS PUPUK KANDANG TERH...	<1%
56	Publication	Muchamad Mutiur Rohman, Hudaini Hasbi, Insan Wijaya. "Respon Pertumbuhan ...	<1%
57	Internet	jppik.id	<1%
58	Internet	www.flowdiconsulting.com	<1%
59	Publication	Rahmat Wijaya, Nanik Setyowati, Masdar Masdar. "PENGARUH JENIS KOMPOS DA...	<1%
60	Publication	Yohansen Jair Pangga, Abdul Rahmi, Hery Sutejo, Norhadi Norhadi. "PENGARUH P...	<1%
61	Internet	jurnal.ulb.ac.id	<1%
62	Internet	laakfeb.telkomuniversity.ac.id	<1%
63	Internet	repository.radenintan.ac.id	<1%
64	Internet	repository.unifa.ac.id	<1%
65	Internet	repository.unsoed.ac.id	<1%
66	Internet	www.neliti.com	<1%
67	Publication	MARIANNE REYNELDA MAMONDOL. "ANALISIS KELAYAKAN EKONOMI USAHATAN...	<1%

68	Publication	Syarianah Syarianah. "MONITORING KEGIATAN DISEMINASI HASIL PENELITIAN P...	<1%
69	Internet	brother-quiet.xyz	<1%
70	Internet	kledo.com	<1%
71	Internet	repository.umb.ac.id	<1%
72	Publication	Riawan Riawan, Riyanti Riyanti, Khaira Nova. "PENGARUH PERENDAMAN TELUR ...	<1%
73	Publication	Yunantan Rinaldy, Rezqi Handayani. "Uji Parameter Spesifik Simplisia Umbi Saran...	<1%
74	Internet	cerdika.publikasiindonesia.id	<1%
75	Internet	eprints.uns.ac.id	<1%
76	Internet	journal.unusia.ac.id	<1%
77	Internet	lib.unnes.ac.id	<1%
78	Publication	Churia Camelia Agustin, Winda Rahmawati, Elhamida Rezkia Amien, Siti Suharyat...	<1%
79	Publication	Gunawan Wiradharma, Melisa Arisanty, Dede Mahmudah. "The Infography of Ind...	<1%
80	Publication	Yondra Saputra, Anne Nurbaity, Oviyanti Muryani. "PENGARUH MACAM AMELIOR...	<1%
81	Internet	digilib.unimed.ac.id	<1%

82	Internet	jbioua.fmipa.unand.ac.id	<1%
83	Internet	journal.ipb.ac.id	<1%
84	Internet	jurnal.ugn.ac.id	<1%
85	Internet	nonoisecoco.blogspot.com	<1%
86	Internet	www.ruangkerja.id	<1%
87	Publication	Cecep dimas afriansyah, Eddy Silamat, Dwita Prisdinawati, Mira Yanuarti. "Analisi...	<1%
88	Publication	Dwi Wahyu Purwiningsih, Susan Arba. "UJI KUALITAS FISIK DAN KIMIA KOMPOS P...	<1%
89	Publication	Eliakim Purba. "PENGARUH PUPUK DAUN DAN ZPT TERHADAP PERTUMBUHAN DA...	<1%
90	Publication	Yusriani Nasution, Pardi Tammin T. "PENGARUH MEDIA TANAM SABUT KELAPA (C...	<1%
91	Internet	cybex.pertanian.go.id	<1%
92	Internet	ejournal.uin-suska.ac.id	<1%
93	Internet	semirata2017.mipa.unja.ac.id	<1%
94	Internet	www.trubus-online.co.id	<1%
95	Internet	10beritaterpilih.blogspot.com	<1%

96	Publication	Adi Irfan, Mohammad Arief Aziz, Fitriah Suryani Jamin. "PENGARUH BEBERAPA PG...	<1%
97	Publication	Apolinarius Banu, Anna Tefa. "Pengaruh Penggunaan Kombinasi Kompos Teh da...	<1%
98	Publication	Dyfa Saubea, Tria Apriyanto, Fenty Fauziah. "Sosialisasi Pembuatan Pupuk Biocha...	<1%
99	Publication	Nuni Gofar, Bakri Bakri, Aditya Surya Wardhana, Tri Putri Nur. "Aplikasi Biostim...	<1%
100	Publication	Saiful Rohman, Dwi Astuti. "Pengaruh Effective Microorganisme (EM-4) Terhadap P...	<1%
101	Internet	eshaflora.blogspot.com	<1%
102	Internet	garuda.ristekbrin.go.id	<1%
103	Internet	gurumuda.net	<1%
104	Internet	jasn.asnjournals.org	<1%
105	Internet	jurnal.ugj.ac.id	<1%
106	Internet	jurnal.usi.ac.id	<1%
107	Internet	ml.scribd.com	<1%
108	Internet	otomatic.id	<1%
109	Internet	polbangtan-bogor.ac.id	<1%

110	Internet	swasembadaberas.blogspot.com	<1%
111	Publication	Ahmad Syaifudin, Siti Nur Qomariyah. "Analisis pendapatan usaha jenang salak (..."	<1%
112	Publication	Ereminas Nirigi, Sucahyo Sucahyo, Jacob La Oktulseja. "Efek Penambahan Probiot..."	<1%
113	Publication	Evi Dwi Ani. "PEMANFAATAN LIMBAH TOMAT SEBAGAI AGEN DEKOMPOSER PEMB..."	<1%
114	Publication	Evi Julianita Harahap, Mawaddah Putri Arisma Siregar, Juldi Saputra, Amitalia T...	<1%
115	Publication	Johannes Simbolon, Bilman Wilman Simanihuruk, Bambang Gonggo Murcitra, He...	<1%
116	Publication	Lara Sukma Sadewi, Mohammad Agung Nugraha, Irma Akhrianti. "Konsentrasi D..."	<1%
117	Publication	Ls Hari Candra Simanjuntak, P. Harsono, Hasanudin Hasanudin. "Kajian Pertumb..."	<1%
118	Publication	Mahrus Ali, Fauziatun Nisak, Yeni Ika Pratiwi. "PEMANFAATAN LIMBAH CAIR IKAN..."	<1%
119	Publication	Muhammad Noor Ariefin, Elfrida Knaofmone, Rizki Adiputra Taopan, Nella Angeli...	<1%
120	Publication	Nailul Afifah, Shinfi Wazna Auvaria, Sulistiya Nengse, Teguh Taruna Utama, Yusri...	<1%
121	Publication	Niko Kareth, Rafael M. Osok, A. Marthin Kalay, Abraham Talahaturuson. "Karakte..."	<1%
122	Publication	Obel Obel, Nugraha Ramadhan, Firsta Ninda Rosadi. "Respon Pertumbuhan Bung..."	<1%
123	Publication	Paskalis Robinson, Muh. Affan Mu'in, Irba Unggul Warsono. "Pengaruh kepadata..."	<1%

124	Internet	blogkaret.blogspot.com	<1%
125	Internet	docobook.com	<1%
126	Internet	eprints.iain-surakarta.ac.id	<1%
127	Internet	eprints.ung.ac.id	<1%
128	Internet	faperta.unri.ac.id	<1%
129	Internet	idoc.pub	<1%
130	Internet	mesinpertanian.id	<1%
131	Internet	proceedings.polije.ac.id	<1%
132	Internet	repository.ar-raniry.ac.id	<1%
133	Internet	repository.dinamika.ac.id	<1%
134	Internet	repository.ulb.ac.id	<1%
135	Internet	riset.unisma.ac.id	<1%
136	Internet	www.jamsi.jurnal-id.com	<1%
137	Internet	www.repository.uinjkt.ac.id	<1%

138	Publication	Mahardiki Graha Brilyan, Fitri Dwirani, Ade Ariesmayana. "PRODUKSI KOMPOS M...	<1%
139	Publication	Ratri Yulianingsih, Markus Sinaga, Herlina Kurniawati, Jumanto Jumanto. "PENIN...	<1%
140	Publication	Santi Santi, Setyawan Setyawan, Siti Hauriyah. "OPTIMASI DOSIS TRICHOKOMPOS...	<1%
141	Publication	Sri Astria Amanda Syifa, Nurmayulis Nurmayulis, Endang Sulistyorini, Andree Sayl...	<1%
142	Publication	Artika Rindiani, Gita Syahri Ramadhani, Jeki Sidabutar, Najwa Liliana et al. "Efekti...	<1%
143	Publication	Bayu Syahputra, Abdul Rahman, Gusmeizal Gusmeizal, Raudha Anggraini Tarig...	<1%
144	Publication	Debby Agsari, Muhajir Utomo, Kuswanta F Hidayat, Ainin Niswati. "Respon Serap...	<1%
145	Publication	Hidayat Hidayat, Tusy Triwahyuni Triwahyuni, Mala Kurniati, Chintia Florentina. "...	<1%
146	Publication	Restua Mahardday Situmorang, Kus Hendarto, Yohannes Cahya Ginting, R.A. Dia...	<1%
147	Publication	Savira Laily Hendriatiningsih, Shaila Insyirah Medina, Ina Hafidah Affan, Sekar Ra...	<1%
148	Publication	Suci Husna Isnaini, Sri Yusnaini Sri Yusnaini, Suskandini Ratih Dirmawati, Sumard...	<1%
149	Publication	Yakob Robert Noach, Marthen Yunus. "EFFECT OF KATUK LEAVES MEAL (Sauropus ...	<1%
150	Internet	aguskrisnoblog.wordpress.com	<1%
151	Internet	ragilendika.blogspot.com	<1%

LAPORAN TUGAS AKHIR**PENGEMBANGAN INOVASI TRICHOKOMPOS DIPERKAYA
NANOPARTIKEL ZnO SEBAGAI PUPUK ORGANIK
BERKUALITAS****PROGRAM STUDI PENYULUHAN PERTANIAN BERKELANJUTAN****NADIA NUR APRILIYANA****NIRM. 04.01.22.1206**

12

**POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN MALANG
BADAN PENYULUHAN DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN****2026**

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGEMBANGAN INOVASI TRICHOKOMPOS DIPERKAYA NANOPARTIKEL ZnO SEBAGAI PUPUK ORGANIK BERKUALITAS

12

Diajukan sebagai syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (S.Tr.P)

PROGRAM STUDI PENYULUHAN PERTANIAN BERKELANJUTAN

NADIA NUR APRILIYANA

04.01.22.1206



POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN MALANG
BADAN PENYULUHAN DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2026

RINGKASAN

Nadia Nur Apriliyana, NIRM. 04.01.22.1206. Pengembangan Inovasi Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO Sebagai Pupuk Organik Berkualitas. Komisi Pembimbing (Dr. Niken Rani Wandansari, SP., M.Si dan Drs. Tri Wahyudie, M.Si)

Penelitian ini bertujuan mengembangkan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO sebagai pupuk organik berkualitas yang mampu meningkatkan mutu kompos, pertumbuhan dan produksi tanaman, serta memiliki nilai ekonomi. Pengembangan inovasi dilakukan sebagai alternatif penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dengan memanfaatkan kotoran kambing sebagai bahan baku, *Trichoderma* sp. sebagai agen dekomposer, dan nanopartikel ZnO sebagai sumber unsur hara mikro. Penelitian juga mencakup analisis kelayakan usaha serta diseminasi inovasi produk melalui media sosial YouTube.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dosis nanopartikel ZnO (P0, P1, P2, dan P3). Parameter yang diamati meliputi kualitas kompos, pertumbuhan, dan produksi cabai rawit varietas Juwita 25 F1, analisis kelayakan finansial usaha, serta respons masyarakat terhadap diseminasi inovasi produk melalui media sosial YouTube. Data dianalisis menggunakan ANOVA yang dilanjutkan uji DMRT taraf 5% dan analisis deskriptif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada parameter C-Organik, Nitrogen, Fosfor, dan Kalium memenuhi persyaratan mutu pupuk organik berdasarkan SNI 19-7030-2004. Perlakuan P2 dan P3 memberikan hasil terbaik terhadap parameter tanaman meliputi tinggi tanaman, lebar daun, diameter batang, kerapatan stomata, dan bobot buah segar. Analisis finansial menunjukkan usaha layak dikembangkan dengan R/C Ratio 1,33 dan ROI 33%. Hasil respon Responden diseminasi inovasi produk melalui media sosial YouTube memperoleh nilai rata-rata 3,79 dengan tingkat pencapaian 75,8%, yang menunjukkan respons masyarakat dalam kategori positif. Hasil penelitian membuktikan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO berpotensi menjadi pupuk organik inovatif yang mendukung produktivitas tanaman, pertanian berkelanjutan, serta pengembangan usaha pupuk organik.

Kata kunci: analisis finansial usaha, cabai rawit, diseminasi inovasi, nanopartikel ZnO, pertanian berkelanjutan, pupuk organik, *Trichoderma* sp., trichokompos

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan produktivitas pertanian tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan unsur hara, tetapi juga kemampuan mempertahankan kualitas tanah sebagai media tumbuh tanaman. Ketersediaan bahan organik di dalam tanah menjadi salah satu faktor penentu karena berperan penting dalam memperbaiki kualitas tanah serta mendukung penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman (Fateha *et al.*, 2020). Meskipun demikian, produktivitas pertanian di Indonesia selama beberapa dekade terakhir masih banyak ditopang oleh penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus tanpa memperhatikan aspek ekologi. Apabila pupuk kimia digunakan secara berlebihan dan terus-menerus, kondisi tersebut dapat menurunkan produktivitas lahan, mengganggu keseimbangan dan aktivitas mikroorganisme tanah, memicu degradasi tanah dan pencemaran lingkungan, serta berdampak buruk terhadap kesehatan manusia (Bahari *et al.*, 2024). Oleh karena itu, diperlukan strategi pemupukan alternatif yang tidak hanya mampu menyediakan hara bagi tanaman, tetapi juga memperbaiki kesehatan tanah secara berkelanjutan.

Salah satu upaya yang banyak direkomendasikan untuk menjawab persoalan tersebut adalah optimalisasi fungsi lahan melalui pemanfaatan bahan organik berupa kompos. Kompos dinilai mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah secara alami sehingga menjadi alternatif pupuk yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pupuk kimia. Bahkan, pemanfaatan kompos secara tepat dilaporkan mampu menekan kebutuhan petani terhadap pupuk kimia hingga 75%, sekaligus memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air, mendorong aktivitas mikroorganisme tanah, serta menjadi sumber nutrisi bagi tanaman (Devi *et al.*, 2023). Dengan demikian, penggunaan kompos menjadi komponen penting dalam menggantikan cadangan bahan organik tanah yang terus berkurang akibat kebutuhan petani terhadap pupuk kimia dalam budidaya.

Di antara berbagai sumber bahan organik yang tersedia, kotoran kambing merupakan salah satu bahan baku yang potensial untuk dijadikan kompos. Kotoran kambing memiliki kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa jenis kotoran ternak lainnya seperti sapi dan kerbau, terutama karena bentuknya yang lebih padat, konsentrat pakan yang dikonsumsi, serta kotoran kambing relatif sehingga berpotensi menghasilkan kompos berkualitas. Selain itu, ketersediaannya cukup melimpah pada sentra peternakan rakyat sehingga dapat menjadi solusi pengelolaan limbah ternak sekaligus meningkatkan nilai tambah bagi peternak. Akan tetapi, pemanfaatan langsung kotoran kambing masih terkendala oleh nilai rasio C/N yang relatif tinggi, yaitu di atas 30, serta kandungan lignoselulosa yang cukup besar sehingga memerlukan proses pengomposan terlebih dahulu untuk menurunkan nilai rasio C/N bahan organik hingga mendekati nilai rasio C/N tanah, yaitu di bawah 20 (Trivana & Pradhana, 2017).

Permasalahan utama dalam produksi kompos berbahan baku kotoran kambing adalah lamanya waktu pengomposan, yang umumnya berlangsung lebih dari satu hingga dua bulan, serta sulitnya suhu tumpukan kompos mencapai fase termofilik akibat rendahnya populasi mikroorganisme pengurai (Ratnawati *et al.*, 2023). Selain itu, adanya campuran serat kasar dari sisa pakan turut meningkatkan kadar lignoselulosa pada kotoran kambing sehingga bahan tersebut semakin sulit terurai dan waktu pengomposan menjadi semakin panjang.

Dari sisi pemasaran, kompos sebagai pupuk organik juga dituntut memenuhi persyaratan mutu tertentu. Pada saat produksi, mutu kompos yang dihasilkan sering kali belum memenuhi standar SNI 19-7030-2004 karena variasi komposisi bahan baku yang digunakan sehingga konsistensi mutu produk sulit dijamin. Kompos yang belum matang berisiko menimbulkan dampak negatif terhadap tanaman maupun tanah karena proses pengomposannya belum sempurna, di antaranya kandungan senyawa fitotoksik seperti amonia dan asam organik yang dapat meracuni akar dan menghambat pertumbuhan tanaman (Miftah *et al.*, 2023). Aktivitas mikroorganisme yang masih aktif pada kompos yang belum matang juga cenderung menyerap nitrogen dari tanah sehingga tanaman mengalami defisiensi hara, di samping berpotensi menurunkan pH tanah dan menimbulkan bau menyengat akibat aktivitas mikroorganisme anaerob (Miftah *et al.*, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya upaya penjaminan mutu kompos melalui

penambahan mikroorganisme yang berperan sebagai agen dekomposer, salah satunya *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. berperan penting dalam proses pengomposan sebagai agen dekomposer karena kemampuannya menghasilkan berbagai enzim hidrolitik, seperti selulase, hemiselulase, dan lignase, yang efektif menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga mempersingkat lama pengomposan. Penurunan kandungan bahan organik serta bobot kering yang terjadi selama proses tersebut, sebagai akibat degradasi senyawa organik dan pelepasan karbon dalam bentuk gas maupun penguapan air, dapat dijadikan indikator penting untuk menilai laju pengomposan, efisiensi pengomposan, dan tingkat kematangan kompos yang diperkaya *Trichoderma* sp. (Jaelani *et al.*, 2015). Perpaduan antara kompos dan *Trichoderma* sp. ini kemudian dikenal sebagai trichokompos, yang tidak hanya berfungsi menyediakan unsur hara bagi tanaman, tetapi juga berperan sebagai agen hayati yang mampu menekan pertumbuhan patogen tanah melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi, mikoparasitisme, serta produksi senyawa antibiotik yang bersifat toksik bagi patogen (Ratnawati *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, pengembangan trichokompos masih menyisakan tantangan dalam meningkatkan kandungan hara, efisiensi pemupukan, dan nilai ekonomi produk agar mampu bersaing di pasar. Hal ini penting mengingat pupuk organik tidak hanya dimanfaatkan untuk kebutuhan budidaya, tetapi juga berpeluang dikembangkan sebagai produk komersial yang harus memenuhi standar mutu sekaligus memberikan nilai tambah bagi petani maupun pelaku usaha.

Salah satu inovasi teknologi yang berpotensi menjawab tantangan tersebut adalah pengayaan trichokompos menggunakan nanopartikel ZnO. Ukurannya yang sangat kecil dan luas permukaan yang tinggi menjadikan nanopartikel ZnO sebagai teknologi penghantar hara yang lebih efisien, mampu meningkatkan ketersediaan serta penyerapan nutrisi oleh akar dan daun tanaman. Pemanfaatannya sebagai nanofertilizer memungkinkan pelepasan unsur hara secara bertahap (*slow release*), sehingga mengurangi kehilangan hara akibat pencucian dan meningkatkan efisiensi pemupukan (Thathsarani, 2021). Nanopartikel ZnO juga bekerja dengan meningkatkan penyerapan dan translokasi unsur seng (Zn) dalam jaringan tanaman, yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim metabolisme seperti enzim antioksidan (SOD, katalase, dan

peroksidase), sehingga mampu menekan pembentukan radikal bebas, memperkuat sistem pertahanan sel, serta meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, salinitas, dan stres oksidatif (Thathsarani, 2021). Di dalam tanah, keberadaan nanopartikel ZnO turut mendukung siklus hara dan interaksi dengan mikroorganisme tanah sehingga kesehatan tanah tetap terjaga (Thathsarani, 2021). Selain berperan langsung bagi tanaman dan tanah, nanopartikel ZnO juga dilaporkan mampu meningkatkan efektivitas kerja *Trichoderma* sp. sebagai mikroorganisme fungsional yang berperan sebagai biofungisida sekaligus stimulator pertumbuhan tanaman (Milyana *et al.*, 2019).

Berbagai penelitian terdahulu telah melaporkan manfaat penggunaan *Trichoderma* sp. dalam mempercepat pengomposan maupun efektivitas nanopartikel ZnO sebagai nanofertilizer secara terpisah. Namun, penelitian yang mengintegrasikan kotoran kambing sebagai bahan baku, *Trichoderma* sp. sebagai aktivator sekaligus agen hayati, dan nanopartikel ZnO sebagai pengaya kualitas pupuk organik masih sangat terbatas. Kajian yang mengevaluasi inovasi tersebut secara komprehensif, mulai dari kualitas kimia trichokompos, efektivitas terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman, kelayakan finansial usaha pupuk organik, hingga respons masyarakat terhadap diseminasi informasinya melalui media sosial, juga belum banyak dilaporkan. Dengan demikian, trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO diharapkan tidak hanya meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi kompos, tetapi juga mendukung pertumbuhan tanaman, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, menjaga kesehatan tanah, serta mendukung sistem pertanian yang efisien, berdaya saing, dan berwawasan lingkungan. Atas dasar itulah penelitian mengenai pengembangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO ini dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan nanopartikel ZnO terhadap kualitas kimia trichokompos?

2. Bagaimana efektivitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit?
3. Bagaimana hasil analisis kelayakan finansial usaha pupuk organik?
4. Bagaimana respons khalayak umum terhadap konten diseminasi tentang inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO yang disajikan melalui media sosial YouTube?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui kualitas kimia trichokompos dengan penambahan nanopartikel ZnO.
2. Mengetahui efektivitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit.
3. Mengetahui hasil analisis kelayakan finansial usaha pupuk organik.
4. Mengetahui respons khalayak umum terhadap konten diseminasi tentang inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO yang disajikan melalui media sosial YouTube.

1.4 Manfaat

1. Bagi Mahasiswa
Sebagai syarat kelulusan pendidikan Diploma IV di Politeknik Pembangunan Pertanian Malang. Selain itu, penelitian ini juga melatih kemampuan berpikir kritis dan inovatif dalam memanfaatkan limbah pertanian menjadi produk yang bernilai guna.
2. Bagi Instansi Politeknik Pembangunan Pertanian Malang
Hasil penelitian ini dapat mendukung Polbangtan Malang dalam mengembangkan riset terapan dan inovasi teknologi ramah lingkungan. Selain itu, hasil penelitian dapat menjadi sumber referensi serta bahan ajar dalam kegiatan pendidikan, pelatihan, dan pengabdian kepada masyarakat.

3. Bagi Petani dan Peternak

Penelitian ini memberikan manfaat berupa teknologi pengomposan yang lebih efisien melalui penggunaan *Trichoderma* sp. serta pengembangan inovasi menggunakan nanopartikel ZnO dalam meningkatkan kualitas pupuk organik. Dengan demikian, petani dan peternak dapat menghasilkan pupuk organik berkualitas tinggi, mengurangi limbah ternak, menekan biaya total produksi, serta meningkatkan hasil tanaman.

4. Bagi pemangku kepentingan

Bagi pemangku kepentingan seperti pemerintah, penyuluh, dan pelaku usaha, penelitian ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan kebijakan pertanian berkelanjutan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat memperkuat program penyuluhan mengenai inovasi pupuk organik, serta membuka peluang kerja sama dan pengembangan industri pupuk organik lokal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang trichokompos dan pengembangan inovasi nanopartikel ZnO untuk memperkuat dasar teori dan menentukan arah pengembangan penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti. Berikut disajikan dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis dan Tahun Penulisan	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Ismil Arum Fitri Asih, Ahmad Ilham Tanzil, Ummi Sholikhah, & Wildan Muhlison (2025).	Pengaruh pemberian <i>Trichoderma</i> sp. Sebagai Dekomposer Berbagai Kotoran Ternak Terhadap lama Pengomposan dan Kualitas Kompos yang Dihasilkan.	Berdasarkan mutu fisik dan kimia, kompos terbaik dihasilkan dari kotoran kambing dengan penambahan <i>Trichoderma</i> sp., karena memenuhi standar SNI dan Permentan pada parameter kandungan N, P, K, dan C-organik, sehingga dinilai memiliki kualitas kompos paling baik dibandingkan perlakuan lainnya.
2	Mohammad Salman Haydar, Monica Yorlady Alzate Zuluaga, Stefania Astolfi, Stefano Cesco, & Youry Pii (2025).	<i>From synthesis to soil: transformations and impacts of nanoparticles in agroecosystems.</i>	Menunjukkan bahwa nanopartikel dapat mengalami berbagai perubahan di dalam tanah, seperti menggumpal, larut, atau bereaksi dengan mikroorganisme tanah. Perubahan ini dapat memengaruhi kesuburan tanah, aktivitas mikroorganisme, serta proses siklus unsur hara. Nanopartikel memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pupuk dan produktivitas tanaman, tetapi jika digunakan tanpa pengelolaan yang tepat, juga

No	Penulis dan Tahun Penulisan	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan tanah.
3	Ramírez Valdespino & Orrantia Borunda (2021).	<i>Trichoderma and Nanotechnology in Sustainable Agriculture: A Review.</i>	Menunjukkan bahwa <i>Trichoderma</i> sp. mampu mensintesis berbagai jenis nanopartikel, seperti nanopartikel perak (AgNPs), seng oksida (ZnONPs), emas (AuNPs), tembaga (CuNPs), dan selenium (SeNPs), melalui proses biosintesis yang ramah lingkungan. Nanopartikel hasil biosintesis ini memiliki aktivitas antimikroba terhadap berbagai patogen tanaman, sehingga berpotensi mengurangi penggunaan pestisida kimia. Selain itu, <i>Trichoderma</i> sp. juga memiliki mekanisme toleransi terhadap nanopartikel, antara lain melalui biosorpsi, bioakumulasi, dan peningkatan aktivitas enzim antioksidan.
4	Mousa A. Alghuthaymi, Kamel A. Abd-El salam, Hussien M. AboDahm, Farah K. Ahmed, Mythili Ravichandran, Anu Kalia, & Mahendra Rai (2022).	<i>Trichoderma: An Eco-Friendly Source of Nanomaterials for Sustainable Agroecosystems.</i>	Menunjukkan bahwa sumber hayati mampu menghasilkan nanomaterial secara efektif dengan biaya relatif rendah dan dampak lingkungan yang minimal. Nanomaterial hasil sintesis ramah lingkungan memiliki sifat fisik dan kimia yang stabil serta berpotensi diaplikasikan di berbagai bidang, termasuk pertanian, kesehatan, dan lingkungan. Dalam konteks pertanian, nanomaterial ramah lingkungan berpotensi digunakan untuk meningkatkan efisiensi pupuk, pengendalian patogen tanaman, serta memperbaiki kualitas tanah

No	Penulis dan Tahun Penulisan	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan.
5	Nurhidayati, Abdul Basit, Sama' Iradat Tito, & Anita Qur'ania (2024).	<i>Effect of ZnO Nanoparticles Enhanced Compost with Different Application Methods on Nutrient Uptake and Grain Yield of Rice (Oryza sativa) Var. Inpari</i> 32.	Menunjukkan bahwa aplikasi kompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, khususnya pada konsentrasi 100–150 mg kg ⁻¹ dengan metode aplikasi semprot daun, mampu meningkatkan serapan hara P, dan K secara signifikan dibandingkan pupuk anorganik, serta menghasilkan serapan N yang setara dengan pupuk anorganik. Perlakuan tersebut juga menghasilkan hasil gabah dan kualitas gabah yang setara atau lebih baik dibandingkan penggunaan 100% pupuk kimia, ditunjukkan oleh rendahnya persentase gabah hampa dan kadar air gabah.

Berdasarkan penelitian terdahulu, diketahui bahwa *Trichoderma sp.* berperan dalam meningkatkan kualitas kompos melalui proses pengomposan sehingga menghasilkan pupuk organik yang memenuhi standar mutu, sedangkan nanopartikel ZnO terbukti mampu meningkatkan efisiensi serapan hara dan produktivitas tanaman. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih dilakukan secara terpisah, yaitu berfokus pada pemanfaatan *Trichoderma sp.* sebagai dekomposer kompos atau penggunaan nanopartikel ZnO sebagai sumber unsur mikro melalui metode aplikasi penyemprotan daun. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa pengembangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO yang mengombinasikan *Trichoderma sp.* dan nanopartikel ZnO dalam satu formulasi pupuk organik. Dosis nanopartikel ZnO yang digunakan mengacu pada penelitian Nurhidayati *et al.* (2024), dengan penyesuaian berdasarkan SNI 19-7030-2004 batas maksimum penggunaan unsur Zn, yaitu tidak melebihi 500 mg kg⁻¹ kompos. Selain itu, metode aplikasi yang digunakan berbeda dari penelitian sebelumnya, yaitu nanopartikel ZnO dicampurkan secara langsung ke dalam trichokompos dan diaplikasikan dengan cara ditaburkan serta

dicampurkan ke dalam media tanah, bukan melalui penyemprotan daun, sehingga diharapkan terjadi interaksi yang lebih optimal antara *Trichoderma sp.*, nanopartikel ZnO, bahan organik, dan lingkungan perakaran tanaman. Penelitian ini juga melakukan pengamatan parameter kualitas kimia trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO berupa pH, C-organik, N-total, rasio C/N, P, dan K, serta menggunakan tanaman cabai rawit sebagai tanaman uji dengan parameter pengamatan yang lebih komprehensif yaitu pertumbuhan dan produksi tanaman yang mencakup tinggi tanaman, diameter batang, lebar daun, kerapatan stomata, bobot buah segar, dan susut buah. Dengan demikian, kebaruan penelitian ini tidak hanya terletak pada kombinasi *Trichoderma sp.* dan nanopartikel ZnO dalam satu formulasi trichokompos, tetapi juga pada penyesuaian dosis ZnO sesuai batas aman penggunaan unsur Zn, penerapan metode aplikasi melalui tanah, serta evaluasi yang mengintegrasikan kualitas kimia pupuk dengan pertumbuhan dan produksi cabai rawit, sehingga diharapkan dapat menghasilkan pupuk organik inovatif yang lebih efektif dan berkelanjutan.

2.2 Tinjauan Teori

Tinjauan teori merupakan landasan ilmiah yang digunakan sebagai dasar dalam memahami konsep, prinsip, dan hubungan antar variabel yang dikaji pada penelitian ini. Uraian teori disusun berdasarkan hasil penelitian terdahulu, buku referensi, standar nasional, serta literatur ilmiah yang relevan untuk mendukung pelaksanaan penelitian. Teori-teori yang dibahas meliputi konsep kompos, proses pengomposan, kualitas kompos, kotoran kambing sebagai bahan baku, peran *Trichoderma sp.* dalam pengomposan, pemanfaatan nanopartikel ZnO sebagai pengaya pupuk organik, serta karakteristik tanaman cabai rawit sebagai tanaman uji. Keseluruhan teori tersebut menjadi dasar dalam menjelaskan mekanisme kerja inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO serta mendukung analisis terhadap hasil penelitian.

2.2.1 Kompos

Kompos adalah pupuk organik yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik seperti sisa tanaman, limbah dapur, kotoran hewan, atau limbah pertanian, melalui aktivitas mikroorganisme secara alami (Aisah *et al.*, 2017). Proses pengomposan bertujuan mengubah bahan organik yang masih segar dan belum stabil menjadi bahan yang lebih stabil, sehingga menghasilkan material yang kaya akan unsur hara, mampu memperbaiki struktur tanah, dan

meningkatkan kesuburan tanah secara alami tanpa pupuk kimia. Kompos yang berkualitas adalah kompos yang telah mengalami pelapukan ditandai dengan perubahan warna dari bahan asalnya, tidak mengeluarkan bau, memiliki kadar air yang rendah, dan sesuai suhu lingkungan.

Kompos mampu memperbaiki sifat fisik tanah dengan meningkatkan agregasi partikel tanah, memperbaiki struktur, serta meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan air. Selain memperbaiki sifat fisik tanah, kompos juga berkontribusi terhadap peningkatan sifat kimia dan biologi tanah. Dari sisi kimia, kompos merupakan sumber unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta unsur mikro yang dilepaskan secara bertahap sehingga lebih efisien bagi tanaman (Muhammad *et al.*, 2017). Kandungan bahan organik dalam kompos juga berperan dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah, sehingga kemampuan tanah dalam mengikat dan menyediakan unsur hara menjadi lebih baik. Kualitas kompos ditentukan oleh beberapa parameter utama, antara lain rasio C/N, pH, kadar air, dan tingkat kematangan kompos. Rasio C/N yang rendah menunjukkan bahwa bahan organik telah terdekomposisi dengan baik dan kompos siap diaplikasikan ke lahan tanpa menimbulkan gangguan terhadap pertumbuhan tanaman (Wijaksono *et al.*, 2016).

2.2.2 Pengomposan

Pengomposan adalah proses penguraian bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, limbah pertanian, dan kotoran hewan melalui aktivitas mikroorganisme hingga terbentuk kompos yang stabil dan menyerupai humus. Proses ini berlangsung secara biologis dengan dukungan kondisi lingkungan tertentu, seperti ketersediaan oksigen, suhu, kelembapan, dan pH yang sesuai. Prinsip dasar pengomposan adalah menurunkan rasio C/N pada bahan organik hingga mendekati rasio C/N tanah. Jika rasio C/N bahan organik tinggi, maka proses pengomposan bahan akan berlangsung lebih lama (Wijaksono *et al.*, 2016). Secara alami, proses pengomposan ini dapat melalui pengomposan secara aerob (menggunakan oksigen) maupun anaerob (tanpa oksigen). Menurut Abdillah *et al.* (2023), tahapan pengomposan secara aerob maupun anaerob berlangsung sebagai berikut:

A. Pengomposan Aerob

Pengomposan aerob merupakan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme yang membutuhkan oksigen. Dalam proses ini, sekitar dua pertiga karbon (C) dilepaskan sebagai CO₂, sedangkan sepertiga nya berikatan

dengan nitrogen dalam sel mikroorganisme. Selama pengomposan berlangsung, terjadi reaksi eksotermik yang menghasilkan panas akibat pelepasan energi. Kenaikan temperatur pada tumpukan bahan organik menciptakan kondisi ideal bagi mikroorganisme mesofilik. Namun, ketika suhu mencapai lebih dari 65-70°C, aktivitas mikroorganisme menurun karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kematian mikroorganisme tersebut sehingga pengomposan terganggu.

B. Pengomposan Anaerob

Pengomposan anaerob adalah proses penguraian bahan organik yang berlangsung tanpa adanya oksigen. Pada tahap awal, bakteri fakultatif penghasil asam memecah bahan organik menjadi asam lemak, aldehida, dan senyawa lainnya. Selanjutnya, kelompok bakteri lain akan mengonversi asam lemak tersebut menjadi gas metana, amonia, karbon dioksida, dan hidrogen. Dalam proses anaerob, energi yang dihasilkan hanya sekitar 25 unit per mol glukosa, sedangkan pada proses aerob energi yang dilepaskan jauh lebih besar.

C. Proses Pengomposan

Proses pengomposan melewati beberapa tahapan suhu yang menunjukkan aktivitas mikroorganisme di dalam tumpukan bahan organik. Suhu menjadi indikator utama keberhasilan proses pengomposan (Asih *et al.*, 2025).

1. Tahap Mesofilik (20-40°C)
Terjadi pada awal proses (1-5 hari). Mikroorganisme mulai menguraikan bahan organik sederhana.
2. Tahap Termofilik (45-65°C)
Merupakan tahap utama dengan suhu optimal 45-65°C. Mikroorganisme termofilik menguraikan bahan kompleks seperti selulosa.
3. Tahap Pendinginan (40-30°C)
Aktivitas mikroorganisme menurun, bahan mulai stabil.
4. Tahap Pematangan (<30°C)
Suhu mendekati suhu lingkungan (sekitar 25-30°C). kompos sudah matang, berwarna coklat kehitaman, tidak berbau, dan siap digunakan.

D. Keberhasilan Pengomposan

Keberhasilan pengomposan sangat dipengaruhi oleh faktor utama, antara lain:

1. Jenis dan jumlah mikroorganisme

Mikroorganisme pengurai berperan dalam mempercepat pengomposan bahan organik. Penambahan aktivator atau inokulum mikroorganisme dapat meningkatkan aktivitas penguraian sehingga proses pengomposan berlangsung lebih efektif (Trivana & Pradhana, 2017).

2. Komposisi bahan rasio C/N

Komposisi bahan penyusun kompos, terutama keseimbangan karbon dan nitrogen (rasio C/N), memengaruhi aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. Rasio C/N yang sesuai akan mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan mempercepat proses pengomposan. Rasio yang terlalu tinggi memperlambat penguraian, sedangkan rasio terlalu rendah dapat menyebabkan bau tidak sedap (Trivana & Pradhana, 2017).

3. Suhu

Suhu merupakan indikator aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. Perubahan suhu menunjukkan berlangsungnya proses pengomposan bahan organik dan menjadi salah satu parameter untuk mengevaluasi kematangan kompos (Suyanto *et al.*, 2015).

4. Kadar air

Kadar air yang ideal berkisar 50%, diperlukan untuk menunjang aktivitas mikroorganisme. Kadar air yang terlalu rendah dapat menghambat proses pengomposan, sedangkan kadar air yang terlalu tinggi dapat mengurangi ketersediaan oksigen di dalam tumpukan kompos (Trivana & Pradhana, 2017).

5. Aerasi

Aerasi yang baik menjaga ketersediaan oksigen bagi mikroorganisme aerob sehingga proses penguraian bahan organik berlangsung secara optimal. Aerasi dapat dipertahankan melalui pembalikan tumpukan kompos secara berkala (Suyanto *et al.*, 2015).

6. pH

Nilai pH memengaruhi aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. Perubahan pH terjadi seiring berlangsungnya pengomposan bahan organik dan dapat digunakan sebagai salah satu indikator perkembangan proses pengomposan (Asih *et al.*, 2025).

Dengan pengelolaan faktor-faktor tersebut secara tepat, proses pengomposan dalam pembuatan kompos dapat berlangsung optimal sehingga menghasilkan kompos yang matang, stabil, tidak berbau, serta aman dan bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman.

2.2.3 Kualitas Kompos

Kualitas kompos merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan pemanfaatan kompos sebagai pupuk organik. Kompos yang berkualitas tidak hanya mampu menyediakan unsur hara bagi tanaman, tetapi juga berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Menurut SNI 19-7030-2004, kualitas kompos ditentukan berdasarkan karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang memenuhi persyaratan mutu sehingga aman dan efektif digunakan sebagai pembenah tanah maupun sumber hara bagi tanaman.

A. Kompos Matang secara Fisik

Berikut merupakan uraian mengenai kualitas fisik kompos beserta persyaratan teknis minimal yang tercantum dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik.

a. Suhu

Semakin tinggi suhu, semakin besar pula konsumsi oksigen yang terjadi, sehingga proses pengomposan berlangsung lebih cepat. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, suhu maksimum yang dianjurkan untuk kompos adalah setara dengan suhu lingkungan, yaitu sekitar 25-30°C.

b. Tekstur

Setelah pengomposan kompos mengalami perubahan bentuk dan ukuran partikel dibandingkan pada awal pengomposan dikarenakan adanya aktivitas mikroorganisme dalam kompos. Kompos matang memiliki tekstur tekstur remah, tidak menggumpal, dan berbeda dengan bahan asalnya.

c. Bau/Aroma

Proses pengomposan dapat menghasilkan berbagai macam bau/aroma, tergantung pada jenis bahan yang digunakan serta aktivitas mikroorganisme yang berlangsung. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kompos yang baik memiliki aroma seperti aroma tanah segar (humus) dan tidak berbau menyengat.

d. Warna

Perubahan warna pada kompos terjadi akibat aktivitas mikroorganisme dengan dukungan ketersediaan oksigen yang memadai. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kompos yang baik memiliki warna coklat tua hingga kehitaman.

B. Mutu Kompos

Berikut ini merupakan mutu kompos meliputi pH dan kandungan unsur hara C-organik, N, P, dan K pada kompos beserta persyaratan teknis minimal menurut SNI 19-7030-2004.

a. pH

Menurut Maula (2023), pH merupakan indikator tingkat keasaman atau kebasaan suatu bahan yang sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan. pH kompos bekerja dengan mengendalikan laju pengomposan bahan organik, karena mikroorganisme pengurai umumnya tumbuh optimal pada kondisi pH netral hingga agak asam. Pada fase awal pengomposan, pH cenderung menurun akibat pembentukan asam organik, kemudian meningkat kembali seiring dengan berlangsungnya proses pengomposan dan pembentukan senyawa stabil. Nilai pH yang sesuai juga berperan penting dalam meningkatkan

ketersediaan unsur hara bagi tanaman serta menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, pH kompos yang memenuhi standar mutu berada pada kisaran 6,8–7,49, yang menunjukkan kondisi ideal bagi kualitas kompos dan keamanan aplikasinya pada tanah.

b. C-organik

Menurut Maula (2023), C-organik merupakan komponen utama bahan organik yang berfungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme selama proses pengomposan. Kandungan C-organik yang tinggi menunjukkan ketersediaan substrat karbon yang cukup untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Selama proses pengomposan, sebagian karbon akan dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk CO₂, sehingga kadar C-organik mengalami penurunan. Penurunan C-organik ini menyebabkan perubahan nilai rasio C/N, yang menjadi indikator tingkat kematangan kompos. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, nilai rasio C/N kompos yang matang berkisar antara 10–20, yang menandakan bahwa proses pengomposan telah berlangsung optimal dan unsur hara telah tersedia bagi tanaman.

c. Nitrogen (N)

Menurut Maula (2023), nitrogen (N) merupakan unsur hara makro esensial yang sangat dibutuhkan tanaman untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan, terutama pada fase vegetatif. Sebagai komponen utama penyusun asam amino, protein, dan asam nukleat, nitrogen berfungsi penting dalam pembentukan sel, aktivitas enzimatis, serta biosintesis klorofil dan berbagai metabolit tanaman. Asam amino yang dihasilkan menjadi bahan dasar pembentukan protein dan senyawa metabolik lainnya. Ketersediaan nitrogen juga sangat menentukan pembentukan klorofil yang berperan langsung dalam proses fotosintesis (Despita *et al.*, 2025).

Ketersediaan nitrogen yang cukup dapat meningkatkan pertumbuhan daun, mempercepat pembentukan biomassa, serta memberikan warna hijau yang lebih intens pada tanaman. Dalam proses pengomposan, nitrogen mengalami transformasi melalui aktivitas mikroorganisme, sehingga sebagian dapat hilang melalui volatilisasi amonia atau dimobilisasi dalam biomassa mikroorganisme. Oleh karena itu, keseimbangan nitrogen dalam kompos menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas pupuk organik. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kadar minimal N-total dalam kompos adalah 0,40%, yang menunjukkan bahwa kompos tersebut telah memenuhi standar mutu sebagai sumber hara bagi tanaman.

d. Fosfor (P)

Menurut Maula (2023), fosfor (P) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam proses transfer energi dan metabolisme tanaman. Fosfor berfungsi sebagai komponen utama senyawa berenergi tinggi seperti ATP (Adenosin Trifosfat) dalam sel, serta berperan dalam pembelahan sel, pembentukan akar, dan perkembangan jaringan tanaman. Ketersediaan fosfor yang cukup dapat merangsang pertumbuhan akar, mempercepat pembungaan, serta meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara lainnya. Dalam proses pengomposan, fosfor dilepaskan secara bertahap melalui aktivitas mikroorganisme, sehingga meningkatkan ketersediaannya dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kadar minimal P_2O_5 dalam kompos adalah 0,10%, yang menunjukkan bahwa kompos telah memenuhi standar mutu sebagai sumber fosfor bagi tanaman.

e. Kalium (K)

Menurut Maula (2023), kalium (K) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam pengaturan berbagai proses fisiologis

tanaman. Kalium berfungsi dalam aktivasi enzim, pengaturan tekanan osmotik sel, serta pengendalian buka-tutup stomata yang berpengaruh terhadap efisiensi fotosintesis dan transpirasi. Ketersediaan kalium yang cukup dapat meningkatkan kekuatan jaringan tanaman, memperbaiki kualitas hasil, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik. Dalam proses pengomposan, kalium relatif mudah tersedia karena tidak terikat dalam senyawa organik kompleks, sehingga cepat dilepaskan dan siap diserap oleh tanaman. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kadar minimal K_2O dalam kompos adalah 0,20%, yang menunjukkan bahwa kompos telah memenuhi standar mutu sebagai sumber kalium bagi tanaman.

Tabel 2. Acuan/Standar Kompos SNI 19-7030-2004

No.	parameter	Satuan	minimum	Maksimum
1	Kadar air	%	-	50
2	Temperatur	°C	-	Suhu air tanah
3	Warna			Kehitaman
4	Bau			Berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
Unsur Makro				
9	Bahan Organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Fosfor (P ₂ O ₅)	%	0,10	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K ₂ O)	%	0,20	*
Unsur Mikro				
15	Arsen (As)	mg/kg	*	13
16	Cadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobalt (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	75
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
Unsur lain				
25	Kalsium (Ca)	%	*	25,50
26	Magnesium (Mg)	%	*	0,60
27	Besi (Fe)	%	*	2,00
28	Aluminium (Al)	%	*	2,20
29	Mangan (Mn)	%	*	0,10
Bakteri				
30	<i>Fecal coli</i>	MPN/gr		1000
31	<i>Salmonella</i> sp.	MPN/ 4gr		3

(Sumber: BSN 2004)

2.2.4 Kotoran Kambing

Kotoran kambing merupakan hasil buangan metabolisme dari kambing yang dikeluarkan dalam bentuk feses dan memiliki ciri berupa butiran kecil, kadar air rendah, serta aroma khas. Kotoran kambing yang masih segar bersifat panas karena memiliki kandungan amonia yang cukup tinggi (Maula, 2023). Oleh sebab itu, kotoran kambing tidak dapat langsung digunakan sebagai pupuk karena dapat menyebabkan tanaman terbakar. Kotoran kambing baru dapat dimanfaatkan setelah melalui proses pengomposan agar unsur hara menjadi lebih mudah diserap oleh tanaman. Kotoran kambing memiliki potensi yang besar sebagai bahan baku pembuatan pupuk kompos karena kandungan unsur haranya yang cukup tinggi dan teksturnya yang mendukung proses pengomposan (Maula, 2023).

Kotoran kambing memiliki kandungan N 1,50%, P 0,30%, dan K 1,80% dan rasio C/N lebih dari 30, yaitu 47,34, sehingga kotoran kambing harus dikomposkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai pupuk pada tanaman (Trivana & Pradhana, 2017). Tekstur kotoran kambing yang kering dan tidak mudah menggumpal membantu meningkatkan aerasi selama proses pengomposan, sehingga aktivitas mikroorganisme pengurai berlangsung optimal. Selain itu, kotoran kambing umumnya mengandung sisa pakan dan urine yang memperkaya bahan organik serta mempercepat proses pengomposan (Maula, 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan kotoran kambing sebagai bahan dasar kompos tidak hanya dapat meningkatkan kesuburan tanah dan efisiensi produksi pertanian, tetapi juga berperan penting dalam pengelolaan limbah peternakan secara berkelanjutan.

2.2.5 *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. merupakan salah satu mikroorganisme yang menguntungkan bagi manusia. Menurut Pelealu & Baideng (2018), salah satu manfaat *Trichoderma* sp. adalah sebagai “starter” dalam proses pembuatan pupuk kompos. Secara fisiologis, *Trichoderma* sp. dapat menghasilkan beragam enzim hidrolitik seperti selulase, kitinase, dan ligninase yang berfungsi menguraikan bahan organik kompleks maupun dinding sel patogen. Kemampuan ini menjadikan *Trichoderma* sp. berperan signifikan dalam proses pengomposan saat pembuatan kompos, karena mampu mempercepat perombakan lignoselulosa, jerami, serasah, kulit kayu, serta limbah ternak. Penambahan *Trichoderma* sp. ke dalam kompos selain dapat mempercepat proses

pengomposan, *Trichoderma* sp. juga mampu dalam meningkatkan suhu tumpukan kompos, meningkatkan kandungan unsur hara pada kompos, dan memperbaiki mutu kompos melalui peningkatan kandungan humus serta stabilitas bahan organik.

24 Trichokompos merupakan pupuk organik yang terbuat dari bahan-bahan organik dan mengandung cendawan antagonis *Trichoderma* sp. Cendawan ini merupakan salah satu jenis mikroorganisme penghuni tanah yang dapat diisolasi dari perakaran tanaman lapang (Ainiya *et al.*, 2019). Pemanfaatan trichokompos membantu tanaman menjaga kualitas tanah dengan menyediakan unsur hara untuk tanaman. Selain itu, trichokompos berfungsi sebagai biokontrol (pengendali hayati) dan mampu meminimalisir patogen penyebab penyakit. Trichokompos memiliki banyak fungsi termasuk mencegah sumber penyakit berkembang biak, membangun koloni dan tumbuh di dalam tanah, serta melindungi akar tanaman (Dungga *et al.*, 2024). Keberadaan *Trichoderma* sp. dalam trichokompos juga berfungsi sebagai agen hayati karena menghasilkan metabolit sekunder seperti peptaibols, gliotoksin, viridin, dan harzianolide yang bersifat antimikroba sehingga mampu menekan patogen tular tanah melalui mekanisme kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme, sehingga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit (Hasan *et al.*, 2024). Kemampuan *Trichoderma* sp. dalam menghasilkan hormon pertumbuhan seperti asam indolasetat (IAA), giberelin, dan sitokinin turut berperan dalam merangsang pertumbuhan akar dan meningkatkan vigor tanaman.

Selain itu, *Trichoderma* sp. mampu berkolonisasi pada daerah akar (rizosfer) dan menginduksi ketahanan sistemik tanaman terhadap stres biotik dan abiotik. Kombinasi aktivitas enzimatis, metabolit antimikroba, hormon pertumbuhan, dan kemampuan kolonisasi akar menjadikan *Trichoderma* sp. berperan multifungsi sebagai dekomposer, agen hayati, dan biofertilizer. Berbagai penelitian melaporkan bahwa aplikasi trichokompos pada tanaman pangan dan hortikultura, seperti padi, jagung, dan sayuran, mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman serta mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia, sehingga mendukung sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Usman *et al.*, 2024).

2.2.6 Nanopartikel ZnO

Nanopartikel seng oksida (nanopartikel ZnO) berasal dari senyawa seng oksida (ZnO), yaitu senyawa anorganik yang terbentuk dari ikatan antara unsur seng (Zn) dan oksigen (O). Seng yang digunakan sebagai bahan baku ZnO diperoleh melalui pengolahan bijih seng, terutama mineral sfalerit (ZnS), kemudian dioksidasi hingga menghasilkan serbuk ZnO. Selanjutnya, ZnO diproses menggunakan berbagai metode sintesis, baik secara fisik, kimia, maupun biologis, sehingga diperoleh partikel berukuran kurang dari 100 nm. Metode fisik dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel menggunakan energi mekanik atau teknik deposisi, seperti *high-energy ball milling*, sehingga partikel berukuran mikrometer berubah menjadi nanometer. Metode kimia dilakukan melalui reaksi kimia, seperti sol-gel, presipitasi, atau hidrotermal, yang memungkinkan pembentukan nanopartikel dengan ukuran dan bentuk yang lebih seragam. Sementara itu, metode biologis (*green synthesis*) memanfaatkan mikroorganisme atau ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil sehingga menghasilkan nanopartikel yang lebih ramah lingkungan. Seng (Zn) sendiri merupakan unsur hara mikro esensial bagi tanaman yang berperan dalam aktivasi enzim, sintesis protein, serta regulasi hormon pertumbuhan. Oleh karena itu, nanopartikel ZnO banyak dikembangkan dalam bidang pertanian sebagai sumber hara mikro yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Alghuthaymi *et al.*, 2022).

Penerapan nanopartikel ZnO dalam sistem pemupukan, khususnya melalui pengayaan trichokompos, berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemberian nanopartikel ZnO dalam dosis rendah mampu meningkatkan tinggi tanaman, luas daun, aktivitas fotosintesis, dan hasil panen, yang berkaitan dengan peran Zn dalam metabolisme karbohidrat dan sintesis hormon auksin. Dalam produktivitas pertanian berkelanjutan, penggunaan nanopartikel ZnO yang terintegrasi dengan pupuk organik dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia, menekan pencemaran lingkungan, serta menjaga keseimbangan dan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemanfaatan nanopartikel ZnO dalam kompos merupakan inovasi yang sejalan dengan prinsip pertanian ramah lingkungan dan berkelanjutan (Nurhidayati *et al.*, 2024).

2.2.7 Tanaman Cabai Rawit

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura dari famili Solanaceae yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Tanaman ini dimanfaatkan sebagai bahan pangan karena memiliki cita rasa pedas yang khas akibat kandungan kapsaisin, serta mengandung berbagai nutrisi seperti vitamin A, vitamin C, mineral, dan senyawa antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan. Tingginya permintaan cabai rawit di masyarakat menyebabkan komoditas ini memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan, sehingga peningkatan produktivitas melalui penggunaan varietas unggul dan penerapan teknik budidaya yang tepat menjadi hal yang penting. Menurut Dungga *et al.* (2024), menyatakan bahwa cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis dengan nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat, sehingga diperlukan penerapan teknologi budidaya yang sesuai untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil.

Pada penelitian ini digunakan cabai rawit varietas Juwita 25 F1, yaitu varietas hibrida yang memiliki pertumbuhan seragam, produktivitas tinggi, serta kualitas buah yang baik. Varietas ini dipilih karena memiliki potensi hasil yang tinggi, ukuran buah seragam, dan mampu beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan budidaya sehingga banyak digunakan oleh petani dalam budidaya komersial. Penggunaan varietas unggul diketahui mampu meningkatkan hasil produksi dibandingkan varietas biasa, sebagaimana dilaporkan oleh Marleen *et al.* (2018), menyatakan bahwa penggunaan varietas hibrida memberikan pertumbuhan dan hasil yang lebih baik karena memiliki potensi genetik yang lebih tinggi serta tingkat keseragaman tanaman yang lebih baik.

Selain memiliki nilai ekonomi yang tinggi, cabai rawit dipilih sebagai tanaman uji karena merupakan tanaman hortikultura yang memiliki kebutuhan unsur hara makro maupun mikro yang cukup tinggi sehingga sangat responsif terhadap perbaikan kesuburan tanah melalui pemberian pupuk organik. Unsur mikro Zn diketahui berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, seperti aktivasi enzim, sintesis klorofil, pembentukan hormon auksin, proses fotosintesis, serta perkembangan bunga dan buah. Oleh karena itu, penggunaan trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO diharapkan mampu meningkatkan ketersediaan dan serapan unsur hara, sehingga memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap pertumbuhan dan produksi cabai rawit. Selain itu, cabai rawit memiliki siklus pertumbuhan yang relatif singkat dan menunjukkan respons yang

cepat terhadap perubahan kondisi hara di dalam tanah, sehingga sesuai digunakan sebagai tanaman indikator untuk mengevaluasi efektivitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO.

Keberhasilan budidaya cabai rawit tidak hanya dipengaruhi oleh penggunaan varietas unggul, tetapi juga ditentukan oleh karakteristik tanaman dan kesesuaian kondisi lingkungan tempat tumbuhnya. Pemahaman mengenai taksonomi, morfologi, dan syarat tumbuh tanaman Cabai Rawit menjadi dasar dalam penerapan teknik budidaya yang tepat, karena setiap karakter tanaman berkaitan erat dengan kemampuan tanaman dalam beradaptasi, menyerap unsur hara, serta menghasilkan pertumbuhan dan produksi yang optimal. Menurut Dan *et al.* (2018), menyatakan bahwa pertumbuhan dan produktivitas tanaman cabai dipengaruhi oleh interaksi antara faktor genetik varietas dan kondisi lingkungan tumbuh, sehingga pemahaman terhadap karakteristik tanaman menjadi dasar dalam penerapan teknik budidaya yang sesuai.

A. Taksonomi Tanaman Cabai Rawit

Menurut Alunia *et al.* (2021), klasifikasi tanaman cabai rawit sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisio : Magnoliophyta
Classis : Magnoliopsida
Ordo : Solanales
Familia : Solanaceae
Genus : *Capsicum* L.
Spesies : *Capsicum frutescens* L.

B. Morfologi Tanaman Cabai Rawit

Cabai rawit adalah tanaman yang memiliki morfologi terperinci, terdiri atas beberapa bagian utama yaitu: akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Setiap bagian memiliki fungsi penting dalam menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman secara keseluruhan (Jostefin *et al.*, 2020). Morfologi tanaman cabai rawit dengan varietas Juwita 25 F1 sebagai berikut.

a. Akar

Akar tanaman cabai rawit Juwita 25 F1 memiliki sistem perakaran tunggang dengan banyak cabang akar lateral dan akar serabut halus. Akar mampu

menembus tanah hingga kedalaman sekitar 30–60 cm, bergantung pada kondisi media tanam. Akar berfungsi menyerap air dan unsur hara dari tanah serta menopang tanaman agar tetap tegak. Struktur perakarannya cukup kuat, namun sensitif terhadap genangan air yang dapat menyebabkan pembusukan akar.

Perkembangan sistem perakaran dipengaruhi oleh kondisi fisik tanah, seperti porositas, aerasi, dan drainase. Tanah yang gembur dan memiliki drainase baik akan mendukung pertumbuhan akar sehingga penyerapan air dan unsur hara berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, genangan air dapat menghambat respirasi akar dan menurunkan pertumbuhan tanaman cabai rawit (Saptiningsih & Haryanti, 2021).

b. Batang

Batang tanaman cabai rawit Juwita 25 F1 berbentuk silindris, tegak, berkayu pada bagian pangkal ketika semakin tua, dan memiliki banyak percabangan. Batang berwarna hijau hingga hijau kecokelatan, terutama pada tanaman muda, kemudian berubah menjadi kecokelatan seiring bertambahnya umur tanaman. Permukaan batang halus hingga sedikit berbulu halus dengan percabangan yang menyebar sehingga membentuk tajuk yang rimbun. Tinggi tanaman cabai rawit Juwita 25 F1 umunya berkisar 60–90 cm, sedangkan pada budidaya di polibag atau lahan dengan tingkat kesuburan sedang berkisar antara 60–75 cm.

Batang berfungsi sebagai penopang tanaman sekaligus sebagai jalur transportasi air, unsur hara, dan hasil fotosintesis antara akar, daun, bunga, dan buah. Pertumbuhan batang dipengaruhi oleh faktor genetik, ketersediaan unsur hara, serta kondisi lingkungan. Batang yang tumbuh kokoh dengan percabangan yang baik akan mendukung pembentukan tajuk, meningkatkan jumlah daun, serta menunjang pertumbuhan bunga dan buah sehingga berkontribusi terhadap produktivitas tanaman cabai rawit (Dungga *et al.*, 2024).

c. Daun

Daun cabai rawit Juwita 25 F1 termasuk daun tunggal, bertangkai, dengan bentuk helaian lonjong hingga oval dan ujung meruncing. Permukaan daun licin, berwarna hijau tua mengilap pada bagian atas dan hijau muda pada bagian bawah dengan tekstur relatif tipis. Panjang daun berkisar 4–8 cm dan lebar 1,5–3 cm, memiliki tepi daun rata, tulang daun menyirip, serta tersusun berseling pada batang dan cabang.

Daun merupakan organ utama fotosintesis yang menghasilkan fotosintat sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pada permukaan daun terdapat stomata yang berfungsi sebagai tempat pertukaran gas, yaitu masuknya karbon dioksida (CO_2) untuk proses fotosintesis serta keluarnya oksigen (O_2) dan uap air melalui proses transpirasi. Jumlah dan bukaan stomata dipengaruhi oleh faktor genetik serta kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya, suhu, dan ketersediaan air. Daun yang sehat dengan kandungan klorofil tinggi dan fungsi stomata yang optimal akan meningkatkan efisiensi fotosintesis sehingga mendukung pertumbuhan serta produktivitas tanaman cabai rawit (Wigati *et al.*, 2023).

d. Bunga

Bunga cabai rawit Juwita 25 F1 merupakan bunga sempurna (hermafrodit) karena memiliki organ jantan (benang sari) dan organ betina (putik) dalam satu bunga. Bunga muncul pada ketiak daun dan umumnya tumbuh soliter (satu bunga pada setiap ruas). Mahkota bunga berwarna putih hingga putih kekuningan, berbentuk bintang dengan lima helai mahkota, sedangkan kelopak bunga berwarna hijau. Pembungaan umumnya dimulai pada umur sekitar 25–35 hari setelah tanam, bergantung pada varietas dan kondisi lingkungan.

Bunga berperan sebagai organ reproduksi generatif yang menentukan keberhasilan pembentukan buah dan biji. Penyerbukan pada cabai rawit umumnya berlangsung secara menyerbuk sendiri (*autogami*), meskipun penyerbukan silang

dapat terjadi dengan bantuan serangga maupun angin. Karakter morfologi bunga, seperti posisi bunga, warna mahkota, jumlah mahkota, serta bentuk kelopak, menjadi salah satu karakter penting dalam identifikasi dan karakterisasi tanaman cabai rawit (Wigati *et al.*, 2023).

e. Buah

Buah cabai rawit Juwita 25 F1 berbentuk lonjong memanjang dengan ujung meruncing dan permukaan licin mengilap. Panjang buah berkisar 2-4 cm dengan diameter sekitar 0,7 cm. Buah muda berwarna hijau, kemudian berubah menjadi merah cerah saat mencapai masak fisiologis. Kulit buah relatif tipis tetapi padat, sedangkan daging buah mengandung senyawa kapsaisin yang memberikan rasa pedas khas. Varietas Juwita 25 F1 dikenal menghasilkan buah yang seragam, padat, dan tidak mudah rontok saat matang.

Buah merupakan organ hasil perkembangan ovarium setelah proses penyerbukan dan pembuahan. Karakter morfologi buah, seperti bentuk, ukuran, warna, dan bobot segar, dipengaruhi oleh faktor genetik, lingkungan, serta teknik budidaya. Bobot segar buah mencerminkan akumulasi air dan hasil fotosintesis yang tersimpan dalam jaringan buah sehingga sering digunakan sebagai indikator produktivitas tanaman. Setelah panen, buah cabai mengalami susut bobot akibat kehilangan air melalui proses transpirasi dan respirasi. Semakin rendah susut bobot selama penyimpanan, semakin baik kualitas dan daya simpan buah karena kesegaran, tekstur, dan penampilannya lebih mampu dipertahankan (Nisa & Ambarawati, 2022).

f. Biji

Biji cabai rawit Juwita 25 F1 berbentuk pipih bulat kecil, berwarna kekuningan, dan bertekstur keras. Biji tersusun di dalam ruang buah yang menempel pada plasenta di bagian tengah. Satu buah cabai rawit Juwita 25 F1 berisi 30-80 biji, tergantung ukuran buah. Karena varietas ini adalah hibrida F1,

bijinya dihasilkan melalui penyerbukan buatan dari dua tetua unggul. Perbanyak biji cabai rawit Juwita 25 F1 secara teknis bisa dilakukan, tetapi tidak disarankan karena jika menanam kembali biji dari buah cabai Juwita 25 F1, maka tanaman yang tumbuh adalah generasi F2. Pada generasi F2, sifat-sifat unggul (seperti hasil tinggi, ukuran seragam, dan ketahanan penyakit) akan tersegregasi atau terpisah-pisah, sehingga hasilnya tidak lagi seragam dan cenderung menurun kualitasnya.

Varietas Juwita 25 F1 merupakan benih hibrida hasil persilangan dua tetua unggul sehingga memiliki sifat heterosis, seperti pertumbuhan yang seragam, produktivitas tinggi, dan ketahanan yang lebih baik. Benih yang dihasilkan dari buah Juwita 25 F1 secara teknis dapat ditanam kembali, namun akan menghasilkan generasi F2 yang mengalami segregasi genetik sehingga sifat-sifat unggulnya tidak dapat dipertahankan secara seragam. Oleh karena itu, penggunaan benih F1 baru lebih dianjurkan untuk memperoleh pertumbuhan dan hasil yang optimal (Marleen *et al.*, 2018).

C. Syarat Tumbuh Cabai Rawit

Cabai rawit merupakan tanaman asli daerah tropis yang tumbuh subur di wilayah beriklim hangat hingga lembap. Tanaman ini dapat beradaptasi dengan baik pada berbagai kondisi lingkungan, namun untuk memperoleh hasil produksi optimal, perlu diperhatikan beberapa faktor lingkungan seperti iklim, tanah, dan ketinggian tempat. Penambahan kompos sebagai bahan organik pada media tanam terbukti dapat meningkatkan kesuburan tanah dan hasil produksi cabai rawit (Jostefin *et al.*, 2020). Syarat tumbuh cabai rawit varietas Juwita 25 F1 sebagai berikut.

a. Iklim

Cabai rawit Juwita 25 F1 tumbuh optimal di daerah beriklim tropis dengan suhu udara antara 24-32°C. suhu yang terlalu rendah di bawah 20°C atau terlalu tinggi di atas 35°C dapat menghambat pertumbuhan dan pembentukan buah. Kelembapan udara yang ideal untuk pertumbuhan cabai rawit Juwita 25 F1 berkisar antara 60-80%, dengan penyinaran matahari penuh minimal 6-8 jam per hari agar pertumbuhan optimal dan buah lebih pedas. Curah hujan yang sesuai berkisar antara 800-1.200 mm per tahun, namun tanaman ini tidak tahan terhadap genangan air yang berlebihan karena dapat menyebabkan layu dan kerusakan akar (Prastya *et al.*, 2019).

b. Tanah

Tanaman cabai rawit Juwita 25 F1 memiliki sistem perakaran yang sensitif terhadap kesuburan tanah, sehingga memerlukan tanah gembur, subur, kaya bahan organik, dengan drainase yang baik, seperti tanah lempung berpasir atau lempung berdebu, derajat keasaman (pH) tanah yang sesuai untuk pertumbuhannya berada pada kisaran 5,5-6,8, atau kondisi tanah mendekati netral. Tanah yang terlalu asam (<5,0) dapat menghambat penyerapan unsur hara penting seperti fosfor, sementara tanah yang terlalu basa (>7,5) dapat menyebabkan defisiensi mikronutrien seperti besi dan seng (Jostefin *et al.*, 2020). Tanah dengan solum yang dalam dan kandungan hara tinggi juga akan mendukung perkembangan akar serta pertumbuhan tanaman secara maksimal.

Dalam budidaya tanaman cabai rawit menggunakan media tanam campuran, kompos memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Kompos meningkatkan kandungan unsur hara makro (N, P, K) serta mikro (Fe, Zn, Mn) yang dibutuhkan tanaman. Selain itu, kompos memperbaiki struktur tanah sehingga menjadi lebih gembur dan mampu menahan air serta udara dalam jumlah seimbang. Penggunaan kompos dari bahan organik seperti daun kering, jerami, kotoran ternak, atau sisa tanaman mampu

mempercepat pertumbuhan vegetatif dan meningkatkan kualitas buah cabai, karena nutrisi tersedia lebih stabil dan alami (Jostefin *et al.*, 2020).

Penggunaan trichokompos memiliki keunggulan dibandingkan kompos konvensional karena mengandung *Trichoderma* sp. yang berfungsi sebagai dekomposer sekaligus agen hayati (*biocontrol agent*) dan mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman (*plant growth-promoting fungi*). *Trichoderma* sp. menghasilkan enzim ekstraseluler yang mempercepat pengomposan sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Irna *et al.*, 2023). Selain itu, *Trichoderma* sp. mampu menekan perkembangan patogen tular tanah melalui mekanisme mikoparasitisme, kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, serta menginduksi ketahanan sistemik tanaman terhadap infeksi patogen (Ariyanta, 2024). Keberadaan *Trichoderma* sp. juga meningkatkan perkembangan sistem perakaran, efisiensi penyerapan unsur hara, dan kesehatan tanah sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan (Hizbillah *et al.*, 2024).

Keunggulan tersebut sangat penting pada budidaya cabai rawit karena tanaman ini rentan terserang berbagai penyakit tular tanah, seperti layu fusarium (*Fusarium oxysporum*), rebah semai oleh *Pythium* spp. dan *Rhizoctonia solani*, serta busuk akar. Aplikasi trichokompos yang mengandung *Trichoderma* sp. dapat membantu menekan perkembangan patogen tersebut sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produktivitas cabai rawit (Prastya *et al.*, 2019).

c. Ketinggian Tempat

Cabai rawit dapat tumbuh baik dari dataran rendah hingga dataran menengah, pada kisaran 0-800 meter di atas permukaan laut (mdpl), di mana suhu udara stabil dan sinar matahari cukup. Pada daerah tinggi, pertumbuhan tanaman cenderung lambat dan hasil buah menurun karena suhu yang lebih rendah. Namun, hasil terbaik biasanya diperoleh pada ketinggian 100–600 mdpl.

Secara karakteristik varietas cabai rawit Juwita 25 F1 dikenal memiliki daya adaptasi yang tinggi, mampu tumbuh di berbagai kondisi lahan, serta tahan terhadap beberapa penyakit utama tanaman cabai. Namun demikian, varietas ini tidak tahan terhadap genangan air sehingga perlu pengaturan air yang baik selama masa tanam. Penggunaan media tanam dengan tambahan kompos di daerah tinggi membantu meningkatkan suhu mikro di sekitar perakaran, menjaga kelembapan tanah, dan mempercepat penyerapan unsur hara sehingga tanaman tetap tumbuh optimal meskipun suhu udara lebih rendah dari daerah dataran rendah.

2.3 Analisis Kelayakan Finansial Usaha

Analisis kelayakan finansial usaha merupakan suatu kegiatan yang bertujuan untuk menilai sejauh mana suatu usaha layak dijalankan dari aspek keuangan (Amaliyanti & Hastari, 2018). Dalam usaha pupuk organik, biaya yang diperhitungkan meliputi biaya investasi awal dan biaya operasional. Biaya investasi awal mencakup pengadaan peralatan produksi, sarana pengomposan, serta alat penunjang lainnya, sedangkan biaya operasional meliputi biaya bahan baku, bahan tambahan seperti aktivator mikroorganisme, tenaga kerja, air, listrik, pengemasan, dan distribusi produk. Pendapatan usaha diperoleh dari hasil penjualan pupuk organik yang diproduksi, yang dihitung berdasarkan jumlah produksi dan harga jual per satuan. Selisih antara total pendapatan dan total Biaya Total Produksi menunjukkan keuntungan atau laba usaha. Apabila pendapatan lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan, maka usaha pupuk organik dapat dikatakan memberikan keuntungan secara finansial. Untuk menilai tingkat kelayakan usaha, digunakan beberapa indikator finansial seperti:

A. Biaya Total Produksi

Biaya Total Produksi atau *Total Cost* (TC) adalah seluruh biaya yang dikeluarkan oleh produsen untuk menghasilkan suatu barang atau jasa dalam satu periode produksi. Biaya ini mencakup biaya tetap (*Fixed Cost*), yaitu biaya yang jumlahnya tidak berubah meskipun volume produksi berubah, dan biaya variabel (*Variable Cost*), yaitu biaya yang besarnya berubah seiring dengan jumlah

produksi. Dengan demikian, Biaya Total Produksi dapat diartikan sebagai total keseluruhan pengeluaran yang digunakan dalam satu siklus kegiatan produksi untuk memperoleh hasil produksi tertentu.

Dalam kegiatan usahatani maupun agroindustri, analisis biaya total produksi digunakan untuk mengetahui besarnya modal yang dikeluarkan selama proses produksi sehingga dapat menjadi dasar dalam menghitung harga pokok produksi, pendapatan, dan keuntungan usaha. Semakin efisien penggunaan biaya tetap dan biaya variabel, semakin tinggi peluang usaha memperoleh keuntungan yang optimal (Kurniati *et al.*, 2021).

B. Penerimaan (*Total Revenue*)

Penerimaan adalah total jumlah uang yang diperoleh dari hasil penjualan barang atau jasa dalam satu periode produksi. Penerimaan mencerminkan hasil kotor yang didapat sebelum dikurangi biaya total produksi atau pengeluaran lainnya. Dalam konteks usaha atau produksi, penerimaan menunjukkan seberapa besar nilai penjualan yang berhasil dicapai dan menjadi dasar untuk menghitung keuntungan.

Dalam analisis usahatani dan agroindustri, penerimaan digunakan sebagai indikator untuk mengetahui nilai hasil penjualan yang diperoleh produsen. Nilai penerimaan menjadi dasar dalam menghitung pendapatan, keuntungan, dan kelayakan usaha karena akan dibandingkan dengan total biaya produksi yang telah dikeluarkan. Semakin tinggi jumlah produksi dan harga jual, maka semakin besar penerimaan yang diperoleh pelaku usaha (Fattah & Mardiyati, 2022).

C. Pendapatan (*Income*)

Pendapatan (*Income*) merupakan selisih antara total penerimaan (*Total Revenue*) dengan total biaya produksi (*Total Cost*) yang dikeluarkan dalam satu periode usaha. Pendapatan menunjukkan hasil bersih yang diperoleh produsen setelah seluruh biaya tetap dan biaya variabel diperhitungkan. Dalam analisis

58 usahatani dan agroindustri, pendapatan digunakan untuk mengukur tingkat keuntungan yang diperoleh dari suatu kegiatan usaha. Besarnya pendapatan dipengaruhi oleh jumlah produksi, harga jual, serta efisiensi penggunaan biaya produksi. Semakin tinggi penerimaan dan semakin efisien biaya yang dikeluarkan, maka semakin besar pendapatan yang diperoleh sehingga usaha dinilai lebih menguntungkan dan layak untuk dikembangkan (Amaliyanti & Hastari, 2018).

42 D. **Break Even Point (BEP)**

Break Even Point (BEP) atau titik impas merupakan kondisi ketika total penerimaan (*Total Revenue*) sama dengan total biaya (*Total Cost*), sehingga usaha tidak memperoleh keuntungan maupun mengalami kerugian. Pada kondisi ini seluruh biaya tetap (*Fixed Cost*) dan biaya variabel (*Variable Cost*) telah tertutupi oleh hasil penjualan. Analisis BEP digunakan untuk menentukan jumlah minimum produk yang harus diproduksi atau dijual agar usaha mencapai titik impas (Pertanian *et al.*, 2021).

38 Dalam analisis kelayakan usaha, BEP menjadi salah satu indikator penting untuk mengevaluasi efisiensi dan risiko suatu usaha. Semakin rendah nilai BEP, semakin cepat usaha mencapai titik impas sehingga peluang memperoleh keuntungan menjadi lebih besar. Oleh karena itu, analisis BEP banyak digunakan dalam usaha agribisnis dan agroindustri sebagai dasar pengambilan keputusan terkait volume produksi, penetapan harga jual, dan perencanaan usaha (Kurniati *et al.*, 2021).

19 E. **Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)**

Revenue Cost Ratio (R/C Ratio) merupakan perbandingan antara total penerimaan (*Total Revenue*) dengan total biaya produksi (*Total Cost*) yang dikeluarkan dalam suatu kegiatan usaha. Analisis ini digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi dan kelayakan finansial suatu usaha. Nilai R/C Ratio diperoleh dengan membandingkan total penerimaan terhadap total biaya produksi, sehingga

semakin besar nilai R/C Ratio menunjukkan semakin efisien usaha yang dijalankan.

R/C Ratio menjadi salah satu indikator dalam analisis kelayakan usaha. Usaha dinyatakan layak dan menguntungkan apabila nilai $R/C > 1$, karena penerimaan lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan. Sebaliknya, apabila $R/C < 1$ usaha mengalami kerugian, sedangkan $R/C = 1$ menunjukkan kondisi impas atau tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Oleh karena itu, analisis R/C Ratio banyak digunakan untuk menilai efisiensi usaha pada sektor pertanian dan agroindustri (Fattah & Mardiyati, 2022).

F. **Return on Investment (ROI)**

Return on Investment (ROI) merupakan rasio yang digunakan untuk mengukur tingkat pengembalian investasi melalui perbandingan antara laba bersih yang diperoleh dengan total investasi atau modal yang dikeluarkan. Analisis ROI digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan modal dalam menghasilkan keuntungan, sehingga semakin tinggi nilai ROI menunjukkan semakin baik kemampuan suatu usaha dalam memberikan pengembalian atas investasi yang ditanamkan (Amaliyanti & Hastari, 2018).

Dalam analisis kelayakan usaha, ROI menjadi salah satu indikator penting untuk menilai tingkat profitabilitas suatu usaha. Nilai ROI yang tinggi menunjukkan bahwa investasi mampu menghasilkan keuntungan yang optimal, sedangkan nilai ROI yang rendah mengindikasikan bahwa pengembalian modal belum efisien. Oleh karena itu, analisis ROI banyak digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan investasi dan pengembangan usaha di bidang agribisnis maupun agroindustri.

G. **Payback Period**

Payback Period (PP) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur jangka waktu yang diperlukan agar investasi atau modal yang dikeluarkan dapat

kembali melalui arus kas atau keuntungan yang dihasilkan dari suatu usaha. Analisis ini memberikan gambaran mengenai kecepatan pengembalian modal sehingga sering digunakan sebagai salah satu indikator dalam penilaian kelayakan investasi. Semakin singkat periode pengembalian, semakin cepat modal investor atau pelaku usaha dapat kembali dan usaha dianggap lebih efisien serta berisiko lebih rendah.

Dalam analisis kelayakan usaha, semakin singkat nilai *Payback Period*, semakin cepat investasi dapat kembali sehingga tingkat risiko usaha relatif lebih rendah. Sebaliknya, periode pengembalian yang lebih lama menunjukkan bahwa modal membutuhkan waktu lebih panjang untuk kembali. Oleh karena itu, analisis *Payback Period* banyak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan investasi karena mudah diterapkan dan memberikan informasi mengenai tingkat pengembalian modal suatu usaha (Tasya & Novitasari, 2020).

Berdasarkan hasil analisis tersebut, usaha pupuk organik dinyatakan layak secara finansial apabila mampu menghasilkan keuntungan, memiliki nilai R/C Ratio lebih dari satu, serta dapat mengembalikan modal dalam waktu yang relatif singkat. Selain itu, ketersediaan bahan baku yang melimpah, biaya total produksi yang relatif rendah, dan meningkatnya permintaan terhadap pupuk organik menjadi faktor pendukung yang memperkuat kelayakan finansial usaha pupuk organik untuk dikembangkan secara berkelanjutan.

2.3.1 *Business Plan*

Business plan atau rencana bisnis merupakan dokumen tertulis yang berisi gambaran menyeluruh mengenai suatu usaha, mencakup visi, misi, tujuan, strategi, analisis pasar, rencana operasional, serta proyeksi keuangan yang berfungsi sebagai panduan strategis bagi wirausahawan dalam mengelola dan mengembangkan usahanya secara terarah (Amaliyanti & Hastari, 2018). Dalam konteks kewirausahaan, *business plan* tidak hanya menjadi alat administratif, tetapi juga berperan sebagai peta jalan (*roadmap*) yang menjelaskan bagaimana ide bisnis dapat diwujudkan menjadi entitas usaha yang berkelanjutan (Turrahmah *et al.*, 2023).

6

Salah satu pendekatan modern dalam penyusunan *business plan* adalah penggunaan *Business Model Canvas* (BMC), menurut (Etika Sari & Aulia, 2024), yaitu alat visual strategis yang terdiri dari sembilan elemen utama yaitu: *Customer Segments*, *Value Proposition*, *Channels*, *Customer Relationships*, *Revenue Streams*, *Key Resources*, *Key Activities*, *Key Partnerships*, dan *Cost Structure* yang secara komprehensif menggambarkan bagaimana suatu bisnis menciptakan, menyampaikan, dan menangkap nilai. *Customer Segments* adalah kelompok pelanggan yang menjadi target utama bisnis. *Value Proposition* adalah nilai atau manfaat yang ditawarkan kepada pelanggan melalui produk/jasa. *Channels* adalah saluran distribusi dan komunikasi untuk menjangkau pelanggan. *Customer Relationships* adalah jenis hubungan yang dibangun dengan pelanggan (personal, otomatis, komunitas, dsb). *Revenue Streams* adalah sumber pendapatan yang dihasilkan dari tiap segmen pelanggan. *Key Resources* adalah aset utama yang diperlukan agar model bisnis dapat berjalan (SDM, modal, teknologi, dsb). *Key Activities* adalah aktivitas utama yang dilakukan untuk menciptakan dan menyampaikan nilai. *Key Partnerships* adalah pihak eksternal yang berperan penting dalam mendukung operasi bisnis. *Cost Structure* adalah biaya-biaya utama yang timbul dari aktivitas operasional bisnis (Mashuri & Nurjannah, 2020).

Model ini bersifat praktis dan fleksibel sehingga membantu wirausahawan memetakan ide bisnis secara sistematis sebelum dituangkan ke dalam rencana bisnis yang lebih rinci mencakup aspek pemasaran, operasional, dan keuangan (Elfin Efendi, 2016). Dengan demikian, integrasi antara *Business Model Canvas* dan *business plan* menciptakan pendekatan yang seimbang antara konsep strategis dan implementasi operasional, sehingga mampu meningkatkan efektivitas perencanaan serta keberlanjutan usaha (Hartini, 2022).

Selain penggunaan *Business Model Canvas* (BMC), penyusunan *business plan* juga perlu didukung dengan analisis lingkungan bisnis melalui pendekatan *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats* (SWOT). Analisis SWOT merupakan metode strategis yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang memengaruhi keberlangsungan suatu usaha. Faktor internal meliputi kekuatan (*strengths*) dan kelemahan (*weaknesses*) yang berasal dari sumber daya serta kemampuan internal perusahaan, sedangkan faktor eksternal mencakup peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*) yang berasal dari kondisi pasar, persaingan, perubahan perilaku konsumen, maupun lingkungan bisnis (Turrahmah *et al.*, 2023). Melalui analisis SWOT, pelaku usaha dapat

menentukan strategi yang sesuai dengan kondisi bisnis sehingga mampu memanfaatkan potensi yang dimiliki serta meminimalkan risiko yang mungkin terjadi.

Dalam aspek pemasaran, analisis SWOT berperan sebagai dasar dalam merancang strategi pemasaran yang efektif karena membantu perusahaan memahami posisi bisnis di tengah persaingan pasar. Informasi mengenai kekuatan dan kelemahan internal dapat digunakan untuk menentukan keunggulan produk serta melakukan perbaikan terhadap aspek yang masih kurang, sedangkan peluang dan ancaman eksternal menjadi pertimbangan dalam menentukan strategi pengembangan pasar, penetapan target konsumen, promosi, dan diferensiasi produk. Dengan demikian, analisis SWOT tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai instrumen pengambilan keputusan dalam menyusun strategi pemasaran yang adaptif dan berkelanjutan.

Penerapan analisis SWOT dalam penyusunan *business plan* telah banyak digunakan dalam berbagai pengembangan usaha karena mampu memberikan gambaran strategis mengenai kelayakan dan arah pengembangan bisnis. Penelitian yang dilakukan oleh Amaliyanti & Hastari (2018), menunjukkan bahwa analisis SWOT dapat membantu pelaku usaha dalam merumuskan strategi pemasaran dengan memanfaatkan kekuatan internal dan peluang eksternal untuk meningkatkan daya saing produk. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa strategi yang dihasilkan melalui matriks SWOT mampu menjadi dasar dalam menentukan prioritas pengembangan usaha, khususnya pada aspek pemasaran dan perluasan pasar. Selain itu, menurut Hartini (2022), menjelaskan bahwa integrasi antara *Business Model Canvas* dan analisis SWOT dapat memberikan pemetaan bisnis yang lebih komprehensif karena BMC menggambarkan struktur penciptaan nilai dalam bisnis, sedangkan SWOT membantu mengevaluasi faktor internal dan eksternal yang memengaruhi keberhasilan implementasi strategi tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *Business Model Canvas* yang dikombinasikan dengan analisis SWOT dalam penyusunan *business plan* dapat memberikan pendekatan perencanaan usaha yang lebih sistematis. *Business Model Canvas* berperan dalam menggambarkan mekanisme bisnis secara menyeluruh, sedangkan analisis SWOT membantu menentukan strategi yang tepat berdasarkan kondisi nyata usaha dan lingkungan pasar. Kombinasi kedua pendekatan tersebut memungkinkan suatu bisnis memiliki arah pengembangan

yang lebih jelas, mampu meningkatkan daya saing, serta mendukung keberlanjutan usaha dalam jangka panjang.

2.3.2 Sertifikat Mutu Produk Kompos

Sertifikat mutu produk kompos adalah dokumen resmi yang menyatakan bahwa suatu produk kompos telah memenuhi standar kualitas, keamanan, dan kelayakan penggunaan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Sertifikat ini diterbitkan setelah kompos melalui proses pengujian laboratorium dan evaluasi oleh lembaga berwenang.

Secara umum, sertifikat mutu kompos bertujuan untuk menjamin bahwa kompos aman bagi tanaman, tanah, manusia, dan lingkungan, serta memiliki kandungan hara dan tingkat kematangan yang sesuai (Supadma *et al.*, 2019). Dengan adanya sertifikat mutu, konsumen memperoleh kepastian bahwa kompos tidak mengandung bahan berbahaya seperti patogen dan logam berat melebihi ambang batas, serta telah mengalami proses pengomposan yang sempurna.

Penilaian dalam sertifikasi mutu kompos mencakup beberapa aspek utama, yaitu sifat fisik, kimia, dan biologis. Sifat fisik meliputi suhu yang mendekati suhu lingkungan, tekstur, bau/aroma, dan warna kompos. Sifat kimia mencakup pH, kandungan C-organik, unsur hara (N, P, K), rasio C/N, logam berat, keberadaan mikroorganisme patogen, dan mikroorganisme menguntungkan. Penjelasan mengenai parameter utama dalam sertifikasi mutu sebagai berikut.

Parameter utama dalam sertifikasi kompos meliputi:

- a. Sifat Fisik
 1. Warna coklat kehitaman
 2. Aroma seperti tanah (humus)
 3. Tekstur remah
 4. Suhu mendekati suhu lingkungan
- b. Sifat Kimia
 1. C-organik ($\geq 15\%$)
 2. Rasio C/N (10-20)
 3. pH (6-8)
 4. kandungan unsur hara (N, P, K)
 5. logam Berat (Pb, Cd, Hg) di bawah ambang batas
- c. Sifat Biologi
 1. Bebas patogen berbahaya (misalnya *E. coli* dan *Salmonella*)

2. Aktivitas mikroorganisme menguntungkan (jika kompos diperkaya, misalnya *Trichoderma* sp.).

Di Indonesia, sertifikat mutu produk kompos umumnya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7030-2004 dan Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang pupuk organik, pupuk hayati, dan pembenah tanah. Sertifikat ini menjadi salah satu syarat legal dalam peredaran dan pemasaran pupuk organik, baik dalam skala lokal maupun komersial.

2.4 Diseminasi Inovasi Produk

Diseminasi adalah proses penyebaran informasi, pengetahuan, teknologi, atau hasil penelitian kepada pihak-pihak yang membutuhkan seperti masyarakat, petani, pelaku usaha, akademisi, maupun instansi pemerintah dengan tujuan agar mereka memperoleh informasi, sehingga timbul kesadaran, menerima, dan akhirnya memanfaatkan informasi tersebut (Djaffar, 2017). Kegiatan diseminasi berperan sebagai jembatan antara hasil penelitian atau inovasi dengan pengguna akhir sehingga manfaat inovasi dapat dirasakan secara lebih luas oleh masyarakat.

Tujuan utama diseminasi adalah meningkatkan akses masyarakat terhadap informasi dan inovasi yang dihasilkan melalui kegiatan penelitian. Melalui proses diseminasi, hasil penelitian tidak hanya dikenal oleh masyarakat, tetapi juga dipahami dan berpotensi untuk diterapkan dalam kegiatan praktis sesuai kebutuhan pengguna. Dengan demikian, diseminasi menjadi salah satu tahapan penting dalam pemanfaatan hasil penelitian agar memberikan dampak yang lebih luas. Kegiatan diseminasi dapat dilakukan melalui berbagai metode, antara lain seminar, lokakarya, pelatihan, demonstrasi lapang, publikasi ilmiah, publikasi populer, pameran teknologi, serta pemanfaatan media digital. Perkembangan teknologi informasi telah mendorong penggunaan media digital sebagai sarana diseminasi karena mampu menjangkau audiens yang lebih luas secara cepat dan efisien.

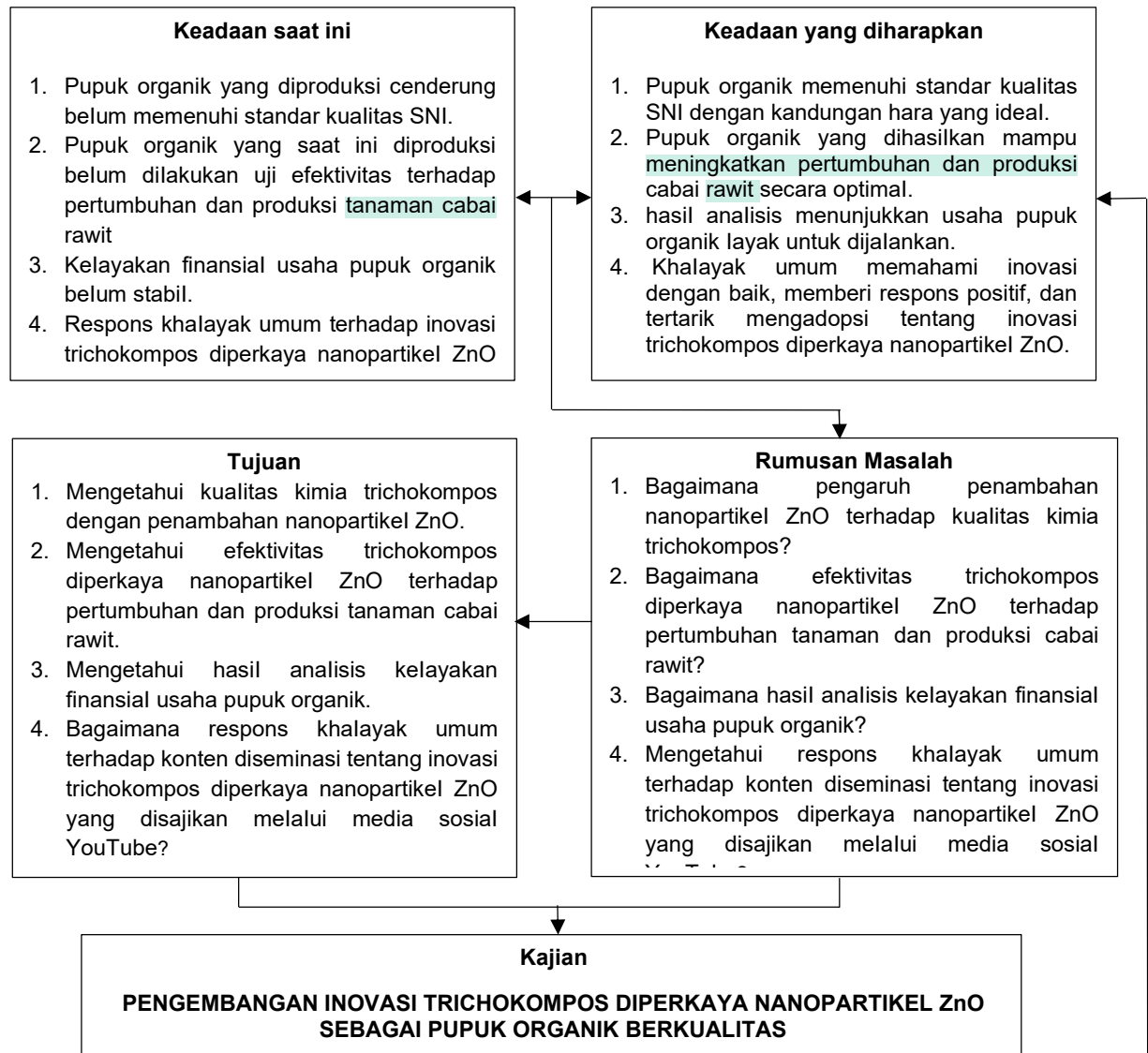
Media sosial merupakan salah satu media digital yang banyak digunakan dalam kegiatan diseminasi informasi, sehingga dipandang sangat efektif dalam menyebarkan informasi suatu inovasi teknologi. Penggunaan media sosial memungkinkan informasi disebarkan kepada masyarakat tanpa dibatasi oleh ruang dan waktu. Selain itu, media sosial memiliki kemampuan untuk

mempercepat penyebaran informasi melalui interaksi pengguna, sehingga pesan yang disampaikan dapat menjangkau lebih banyak audiens dalam waktu yang relatif singkat.

Salah satu platform media sosial yang banyak dimanfaatkan untuk kegiatan diseminasi adalah YouTube. Menurut Dzulfian Syafrian (2025), perkembangan internet dan media sosial, khususnya YouTube, telah membuka ruang baru dalam penyebaran pengetahuan yang sebelumnya lebih banyak dilakukan secara tatap muka. Data APJII (2025) menunjukkan bahwa Indonesia memiliki lebih dari 229 juta pengguna internet, dengan YouTube sebagai salah satu platform yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Tingginya jumlah pengguna tersebut menunjukkan bahwa YouTube tidak hanya berfungsi sebagai media hiburan, tetapi juga sebagai sarana edukasi dan penyebaran informasi kepada berbagai kalangan.

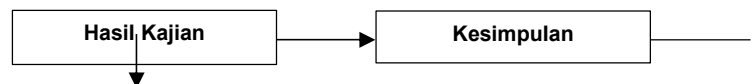
YouTube memiliki karakteristik yang mendukung penyampaian informasi secara audiovisual melalui kombinasi gambar, suara, teks, dan demonstrasi. Karakteristik tersebut memungkinkan informasi disampaikan secara lebih jelas dan terstruktur dibandingkan media yang hanya mengandalkan teks atau gambar. Selain itu, YouTube menyediakan durasi penyajian yang lebih fleksibel sehingga materi dapat dijelaskan secara lebih lengkap dan mendalam. Berbeda dengan beberapa platform media sosial yang umumnya berorientasi pada video berdurasi pendek, YouTube memberikan ruang yang lebih luas bagi kreator untuk menyampaikan informasi secara rinci sesuai tujuan yang ingin dicapai. Dalam kegiatan diseminasi inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, YouTube dipilih sebagai media penyampaian informasi karena mampu menyajikan proses pembuatan dan aplikasi teknologi secara audio-visual. Penyajian dalam bentuk video melalui media sosial YouTube sebagai sarana penyampaian informasi mengenai proses pembuatan, keunggulan, dan cara penggunaan produk kepada masyarakat, khususnya petani. Untuk mengetahui potensi penerimaan inovasi tersebut, dilakukan penyebaran kuesioner kepada responden sebagai alat ukur dalam mengevaluasi strategi pemasaran produk. Kuesioner ini bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai minat, persepsi, dan kesediaan petani dalam menggunakan inovasi produk yang ditawarkan setelah memperoleh informasi melalui media YouTube. Dengan demikian, hasil kuesioner dapat menjadi dasar dalam menilai peluang penerimaan produk di kalangan petani sekaligus sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan strategi pemasaran yang lebih efektif.

2.5 Kerangka Alur Pikir Penelitian



Metode Kajian				
Metode	Variabel	Parameter	Analisis data	Ekonomi
Menggunakan Rancangan Acak lengkap (RAL)	Independen (x) Dosis nanopartikel ZnO Dependen (y) 1. pH dan Kandungan hara. 2. Pertumbuhan dan produksi	- Kadar pH dan unsur hara (C-organik, N, rasio C/N, P, dan K) - Tinggi tanaman (cm) - lebar daun tanaman (cm) - Diameter batang tanaman (mm) - Kerapatan stomata daun (mm ⁻²) - Bobot buah segar cabai rawit	- uji (ANOVA). Dilanjutkan uji DMRT 5%. - Deskriptif	Biaya Total Produksi, Penerimaan, Pendapatan, (BEP), (R/C Ratio), (ROI), dan Payback Period (PP).

	tanaman cabai rawit	- Susut bobot buah cabai rawit.		
--	---------------------	---------------------------------	--	--



Gambar 1. Kerangka Pikir

2.6 Hipotesis

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh antara variabel X terhadap variabel Y, yaitu pengaruh berbagai dosis nanopartikel ZnO terhadap pH dan kandungan unsur hara C-organik, N, rasio C/N, P, dan K trichokompos, serta pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit.

H0: tidak berpengaruh signifikan pemberian berbagai dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos terhadap kualitas kimia trichokompos (pH, C-organik, N, rasio C/N, P, dan K) maupun terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit.

H1: berpengaruh signifikan pemberian berbagai dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos terhadap kualitas kimia trichokompos (pH, C-organik, N, rasio C/N, P, dan K) maupun terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit.

12

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan kajian dalam pembuatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dilaksanakan di laboratorium limbah dan tempat Alat Mesin Pertanian (Alsintan) Kampus Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Malang. Pelaksanaan kajian aplikasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada tanaman cabai rawit dilaksanakan di lahan Praktik laboratorium limbah Pertanian Kampus Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Malang. Pelaksanaan uji laboratorium trichokompos dilaksanakan di UPT Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura Dau-Malang, Jawa Timur dan di laboratorium Tanah dan Kultur Jaringan Kampus Politeknik Pembangunan Pertanian (Polbangtan) Malang untuk pengujian pH kompos, pengukuran kerapatan stomata daun dan *Trichoderma* sp. Pelaksanaan kajian dilakukan dari bulan Februari-Juli 2026. Selanjutnya pelaksanaan diseminasi inovasi produk pada bulan Juli 2026.

3.2 Metode Kajian

Metode kajian merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh informasi dan referensi yang berkaitan dengan pengembangan inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Kajian dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, buku, standar, dan sumber ilmiah lainnya yang relevan. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam memahami konsep, proses pembuatan, manfaat, serta penerapan inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO sehingga dapat mendukung pelaksanaan penelitian.

3.2.1 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif yaitu data yang berbentuk angka dan dapat dianalisis secara statistik. Dalam penelitian ini, sumber data dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Penjelasan data primer dan data sekunder sebagai berikut.

1. Data primer adalah data asli yang dikumpulkan langsung oleh peneliti dari sumber pertama (responden, objek, atau, lokasi penelitian) untuk tujuan tertentu. Data ini diperoleh melalui kegiatan seperti wawancara, observasi, kuesioner, eksperimen, atau survei lapangan. Data yang diambil mencakup

2

44

6

18

data yang berhubungan dengan kualitas trichokompos dan inovasi nanopartikel ZnO.

2. Data sekunder adalah data yang sudah tersedia dan dikumpulkan oleh pihak lain, kemudian digunakan kembali oleh peneliti untuk kepentingan penelitiannya. Data ini diperoleh melalui buku, jurnal ilmiah, laporan penelitian, publikasi resmi pemerintah, artikel, atau data statistik yang membahas mengenai kualitas trichokompos diperkaya dengan nanopartikel ZnO. Data ini akan digunakan sebagai penguat terhadap pernyataan yang dinyatakan oleh peneliti.

3.2.2 Rancangan Kajian

Metode yang digunakan untuk aplikasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO adalah metode eksperimen dengan Rancangan Acak lengkap (RAI). Rancangan Acak lengkap digunakan ketika percobaan dilakukan pada seluruh unit percobaan yang bersifat homogen dan setiap perlakuan diacak penempatannya secara penuh pada seluruh unit percobaan. Terdapat 4 perlakuan dan 6 kali ulangan, menghasilkan 24 unit percobaan. Perlakuan yang diterapkan adalah trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO pada dosis penambahan yang berbeda, yaitu: P0 (tanpa tambahan dosis nanopartikel ZnO), P1 (dosis tambahan 100 mg nanopartikel ZnO), P2 (dosis tambahan 200 mg nanopartikel ZnO), dan P3 (dosis tambahan 300 mg nanopartikel ZnO). Sebagai catatan, nanopartikel ZnO ditambahkan ke dalam trichokompos setelah proses pengomposan selesai. Perlakuan rancangan kajian dosis nanopartikel ZnO terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perlakuan Dosis Nanopartikel ZnO

Kode Perlakuan	Keterangan
P0	5 kg trichokompos + Tanpa nanopartikel ZnO
P1	5 kg trichokompos + 100 mg nanopartikel ZnO
P2	5 kg trichokompos + 200 mg nanopartikel ZnO
P3	5 kg trichokompos + 300 mg nanopartikel ZnO

Penelitian ini menggunakan dosis penambahan nanopartikel ZnO ke dalam trichokompos mengacu pada modifikasi hasil penelitian Nurhidayati *et al.* (2024),

yaitu: P0 (5 kg trichokompos tanpa nanopartikel ZnO), P1 (5 kg trichokompos + 100 mg nanopartikel ZnO), P2 (5 kg trichokompos + 200 mg nanopartikel ZnO), dan P3 (5 kg trichokompos + 300 mg nanopartikel ZnO). Atau jika dikonversi berdasarkan berat trichokompos, dosis tersebut setara dengan 20 mg kg⁻¹, 40 mg kg⁻¹, dan 60 mg kg⁻¹. lebih lanjut disebutkan dari hasil penelitian (Nurhidayati et al., 2024), aplikasi kompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, 50 mg kg⁻¹ dengan metode aplikasi langsung ke tanah, mampu meningkatkan hasil panen seperti perlakuan pupuk kimia pada tanaman padi. Penetapan dosis menggunakan modifikasi dari penelitian Iede et al. (2018) dan Prastya et al. (2019). Iede et al. (2018) menggunakan media tanam berupa polibag berukuran 40 × 40 cm, sedangkan Prastya et al. (2019) menggunakan dosis trichokompos 150 gram/polibag. Penambahan dosis tersebut mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah melalui peningkatan aktivitas mikroorganisme, perbaikan struktur tanah, serta peningkatan ketersediaan unsur hara secara bertahap. Sedangkan dosis trichokompos yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 75 gram/polibag pada polibag berukuran 40 × 20 cm (setelah disesuaikan dengan ukuran polibag yang digunakan). Selanjutnya, trichokompos pada masing-masing perlakuan diaplikasikan ke tanaman cabai rawit dengan takaran 75 gram/polibag.

3.2.3 Metode Pengacakan

Penelitian ini memerlukan pengulangan pada setiap perlakuan dengan tujuan meminimalkan potensi kesalahan serta meningkatkan keakuratan hasil penelitian. Penentuan jumlah ulangan pada setiap kombinasi perlakuan dilakukan berdasarkan rumus Rancangan Acak lengkap (RAI), dengan rumus $(t-1)(r-1) \geq 15$, yang digunakan dalam penelitian trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dan pertumbuhan serta produksi tanaman cabai rawit. Dalam rumus tersebut t menyatakan jumlah kombinasi perlakuan, sedangkan n menyatakan jumlah ulangan. Jumlah ulangan pada masing-masing kombinasi perlakuan disajikan sebagai berikut:

$$(t-1)(r-1) \geq 15$$

$$(4-1)(r-1) \geq 15$$

$$3(r-1) \geq 15$$

$$3r-3 \geq 15$$

$$3r \geq 18$$

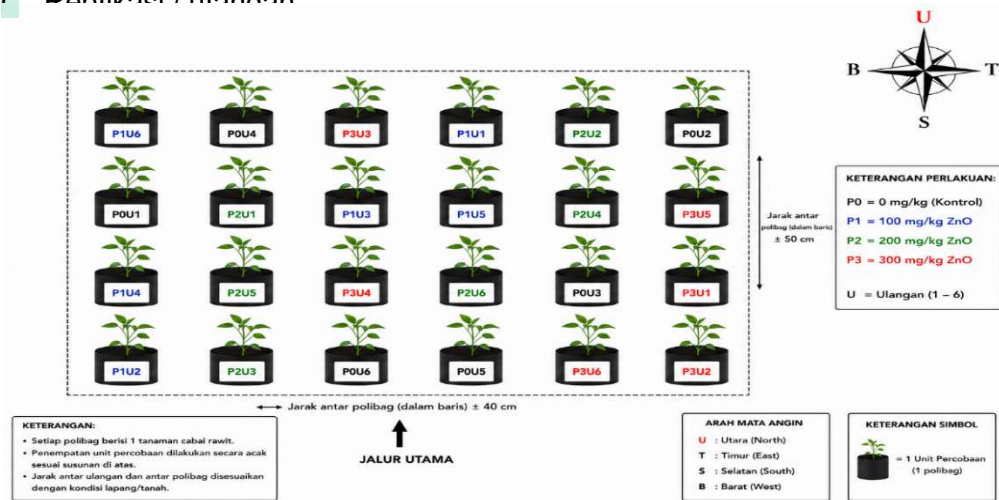
$$r \geq 18/3$$

$$r \geq 6$$

keterangan:

t = Treatment / perlakuan

r = Repikasi / ulangan



Gambar 2. Denah Percobaan

3.2.4 Pelaksanaan Kajian

Pelaksanaan kajian dilakukan secara bertahap untuk memperoleh data yang sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan kajian meliputi prosedur pembuatan trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, analisis kualitas trichokompos melalui pengukuran pH dan kandungan unsur hara trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, serta pengujian efektivitasnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit. Setiap tahapan dilaksanakan berdasarkan prosedur kerja yang telah ditetapkan sehingga data yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO terhadap kualitas pupuk organik dan respons tanaman cabai rawit.

A. Pembuatan Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berikut tahapan dalam pembuatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO:

1. Persiapan alat dan bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi cangkul, sekop, timbangan, garu, drum plastik, ayakan, mesin chopper, mesin penepung, gembor, label perlakuan, dan karung. Bahan yang digunakan meliputi kotoran kambing, bubuk isolat *Trichoderma* sp., nanopartikel ZnO, arang sekam, dedak halus, molasses, EM4, air secukupnya.

2. Aktivasi *Trichoderma* sp.

lakukan aktivasi bakteri dekomposer terlebih dahulu dengan melarutkan isolat bubuk *Trichoderma* sp., EM4, dan molasses ke dalam 18 liter air di dalam drum plastik, difermentasi selama 7 hari.

3. Pengeringan dan penggilingan bahan baku

Kotoran kambing dikeringanginkan terlebih dahulu sebelum dihaluskan menggunakan mesin chopper. Setelah dichopper, kotoran kambing diayak untuk menghasilkan ukuran butir material relatif seragam.

4. Pengomposan

Kotoran kambing yang telah dihaluskan ditimbang dan dicampur dengan bahan tambahan (arang sekam dan dedak halus). Setelah itu, aktivator *Trichoderma* sp. disiram ke permukaan bahan kompos secara merata sebanyak 5 liter dengan diencerkan terlebih dahulu menggunakan air.

5. lama pengomposan

Masukkan bahan kompos ke dalam karung dan lakukan pengomposan selama 2 minggu. lakukan pembalikan kompos setiap 2 hari sekali.

6. Pengilingan lanjutan

Setelah trichokompos matang, dilanjutkan pengeringanginan kompos. Setelah kering, lakukan penggilingan menggunakan mesin penepung.

7. Perlakuan dosis nanopartikel ZnO

Tambahkan nanopartikel ZnO pada trichokompos dengan perlakuan dosis yang berbeda, diantaranya yaitu kontrol (tanpa tambahan nanopartikel ZnO), 100 mg, 200 mg, dan 300 mg pada masing-masing perlakuan. lalu aduk hingga merata.

8. Uji kualitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO

Trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO yang telah siap digunakan, lalu dianalisis di laboratorium dan pertumbuhan serta produksi tanaman cabai rawit untuk melihat kualitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO

B. Analisis pH dan Kandungan Unsur Hara C-organik, N, rasio C/N, P, dan K trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO

Pengujian dilakukan setelah trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO matang dengan mengukur pH, kandungan C-organik, nitrogen (N), rasio C/N, fosfor (P), dan kalium (K), serta pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit. Analisis pH kompos dilakukan menggunakan perangkat uji PUPO dengan metode pencocokan warna kompos dengan bagan warna pH (PUPO). Analisis dilakukan di laboratorium Tanah & Kultur Jaringan Kampus Politeknik Pembangunan Pertanian Malang, sedangkan analisis kandungan unsur hara kompos lainnya di uji di laboratorium UPT Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura, Dau-Malang, Jawa Timur. Unsur hara yang dianalisis meliputi C-organik menggunakan metode *Walkley and Black* (Oksidasi Basah), nitrogen (N) menggunakan metode *Kjeldahl*, rasio C/N diperoleh dari perbandingan kandungan C-organik dan nitrogen total hasil analisis laboratorium, fosfor (P) menggunakan metode *Spektrofotometri UV-Vis*, dan kalium (K) menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) sebagai unsur hara makro utama yang berperan penting dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Pengujian dilakukan terhadap sampel kompos matang yang telah memenuhi indikator fisik kematangan. Selanjutnya pengukuran kepadatan *Trichoderma* sp. dilaksanakan di laboratorium Tanah & Kultur Jaringan Kampus Politeknik Pembangunan Pertanian Malang. Hasil analisis pH dan kandungan unsur hara C-organik, N, rasio C/N, P, dan K kompos selanjutnya dibandingkan dengan standar mutu kompos pupuk organik yaitu standar SNI 19-7030-2004 untuk mengetahui tingkat kelayakan kompos sebagai pupuk organik. Sedangkan pengamatan pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit menggunakan metode pengukuran langsung (observasi kuantitatif).

C. Budidaya Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

Budidaya tanaman cabai rawit dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi polibag berukuran 40 × 20 cm, tray semai, cangkul, ajir, gembor, dan alat tulis. Bahan yang digunakan terdiri atas benih cabai rawit varietas Juwita 25 F1, media semai, media tanam dengan tambahan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, serta air untuk penyiraman.

2. Persemaian Benih

Benih direndam dalam air hangat bersuhu sekitar 45-50°C selama 2-4 jam untuk memecah masa dormansi dan merangsang perkecambahan. Benih yang tenggelam dipilih karena bernas dan umumnya memiliki daya tumbuh lebih baik, sedangkan benih yang mengapung dibuang dikarenakan benih hampa. Penyemaian dilakukan untuk menumbuhkan benih menjadi tanaman yang kuat sebelum dipindahkan ke polibag besar. Penyemaian benih dilakukan menggunakan tray semai yang telah diisi media semai dari campuran tanah halus dan arang sekam dengan perbandingan 1:1. Media ini bersifat gembur, mampu menyimpan air, dan memiliki aerasi yang baik. Benih ditanam pada lubang tanam sedalam ±0,5-1 cm, kemudian ditutup tipis dengan media dan disiram menggunakan gembor hingga lembap tanpa menyebabkan genangan. Benih diletakkan di tempat yang teduh terlindung dari hujan dan sinar matahari langsung. Penyiraman dilakukan secara rutin untuk menjaga kelembapan media. Benih siap dipindahkan setelah berumur ±14 hari atau telah memiliki 2-3 helai daun sejati dan batang tampak kokoh.

3. Persiapan Media Tanam Polibag

Media tanam berfungsi sebagai tempat tumbuh dan sumber nutrisi bagi tanaman. Polibag yang digunakan berukuran 40 × 20 cm, media tanam terdiri dari tanah, arang sekam 1:1, lalu ditambah dengan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO sesuai perlakuan dengan dosis yang sama pada setiap unit percobaan yaitu 75 gr/polibag. Media diaduk hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam polibag dan biarkan selama 5 hari agar proses adaptasi media berlangsung dengan baik.

4. Penanaman

Penanaman dilakukan dengan memindahkan benih yang sehat dari tempat semai ke polibag. Lubang tanam dibuat di tengah media sesuai ukuran akar benih.

Benih dipindahkan secara hati-hati untuk menghindari kerusakan akar. Cabai rawit ditanam hingga batas leher akar, kemudian media dipadatkan secara perlahan agar tanaman berdiri tegak. Setelah penanaman, tanaman disiram secukupnya untuk menjaga kelembapan dan mengurangi stress akibat pemindahan.

5. Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, pemupukan, penyiangan dan pembumbunan, pemasangan ajir dan label perlakuan, terakhir dilakukan pengamatan pertumbuhan tanaman yang dijelaskan sebagai berikut:

a. Penyiraman

Penyiraman dilakukan 1-2 kali sehari pada pagi dan sore hari, tergantung kondisi cuaca. Air diberikan secukupnya hingga media lembap, namun tidak tergenang. Kelebihan air dapat menyebabkan busuk akar dan menghambat pertumbuhan tanaman.

b. Pemupukan

Pemupukan susulan dilakukan secara berkala untuk memenuhi kebutuhan unsur hara tanaman. Pada fase vegetatif, tanaman membutuhkan unsur nitrogen untuk pertumbuhan daun dan batang. Pemupukan dengan menggunakan trichokompos dengan dosis 75 gr/polibag dilakukan di awal sebagai pupuk dasar dan pemupukan susulan NPK (16:16:16) dengan dosis 10 gram/polibag dilakukan pada 15 HST, 30 HST, 45 HST, dan 60 HST. Menurut Wandansari *et al.* (2024), aplikasi kedua jenis pupuk organik dan anorganik secara sinergis dapat meningkatkan aktivitas enzim di sekitar perakaran tanaman dan memberikan kecukupan hara yang berperan dalam biosintesis klorofil yang memengaruhi proses fotosintesis.

c. Penyiangan dan Pembumbunan

Penyiangan dilakukan untuk membersihkan gulma yang tumbuh di dalam atau sekitar polibag karena gulma dapat bersaing dalam menyerap air dan unsur hara pada tanaman utama yang dibudidayakan. Pembumbunan dilakukan dengan menambahkan atau mengatur kembali media tanam di sekitar pangkal batang tanaman untuk memperkuat perakaran, mencegah tanaman rebah, serta meningkatkan aerasi dan drainase media tanam.

d. Pemasangan Ajir dan label Perlakuan

Ajir atau penyangga dipasang saat tanaman mulai beradaptasi dan tumbuh tinggi sekitar umur 7 HST. Ajir berfungsi menopang tanaman agar tidak roboh akibat beban buah atau terpaan angin. Tanaman diikat longgar pada ajir menggunakan tali rafia agar tidak melukai batang. label perlakuan ditancapkan pada bagian atas media tanam sebagai penanda perlakuan agar memudahkan dalam pengamatan pertumbuhan tanaman cabai rawit.

6. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan tanaman pada fase vegetatif diawali dari umur 7 HST sampai dengan 35 HST, sedangkan pada fase generatif dilakukan pada saat panen pertama tanaman cabai rawit umur 80 HST.

3.2.5 Parameter Pengamatan

Tabel 4. Parameter Pengamatan

No	Parameter Pengamatan	Alat Ukur	keterangan
----	----------------------	-----------	------------

128 16	1	pH dan Kadar unsur hara (C-organik, N, C/N, P, dan K) pada trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO	pH meter, <i>Walkley and Black, Kjeldahl, spektrofotometer UV-Vis, flame photometer</i>	Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter. Kadar C-organik dianalisis menggunakan metode <i>Walkley and Black</i> , kadar N-total menggunakan metode <i>Kjeldahl</i> , kadar P menggunakan <i>spektrofotometer UV-Vis</i> , sedangkan kadar K dianalisis menggunakan <i>flame photometer</i> . Nilai rasio C/N diperoleh dari perbandingan kadar C-organik dan N-total untuk mengetahui tingkat kematangan dan kualitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO.
129	2	Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp.	Mikroskop	Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. diamati menggunakan mikroskop dengan menghitung jumlah konidia atau spora pada sampel trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO untuk mengetahui tingkat perkembangan <i>Trichoderma</i> sp.
4 9	3	Tinggi tanaman cabai rawit	Penggaris	Pengukuran tinggi tanaman cabai rawit diukur menggunakan penggaris. Pengukuran dilakukan dari pangkal batang hingga titik tumbuh atau pucuk tertinggi tanaman.
18	4	lebar daun tanaman cabai rawit	Penggaris	Pengukuran lebar daun tanaman cabai rawit diukur dilakukan menggunakan penggaris pada daun terlebar yang telah berkembang optimal, bukan daun yang masih muda maupun daun yang sudah tua.
78	5	Diameter batang tanaman cabai rawit	Jangka sorong	Pengukuran diameter batang tanaman cabai rawit dilakukan menggunakan jangka sorong pada bagian pangkal batang sekitar 2–3 cm di atas permukaan media tanam.

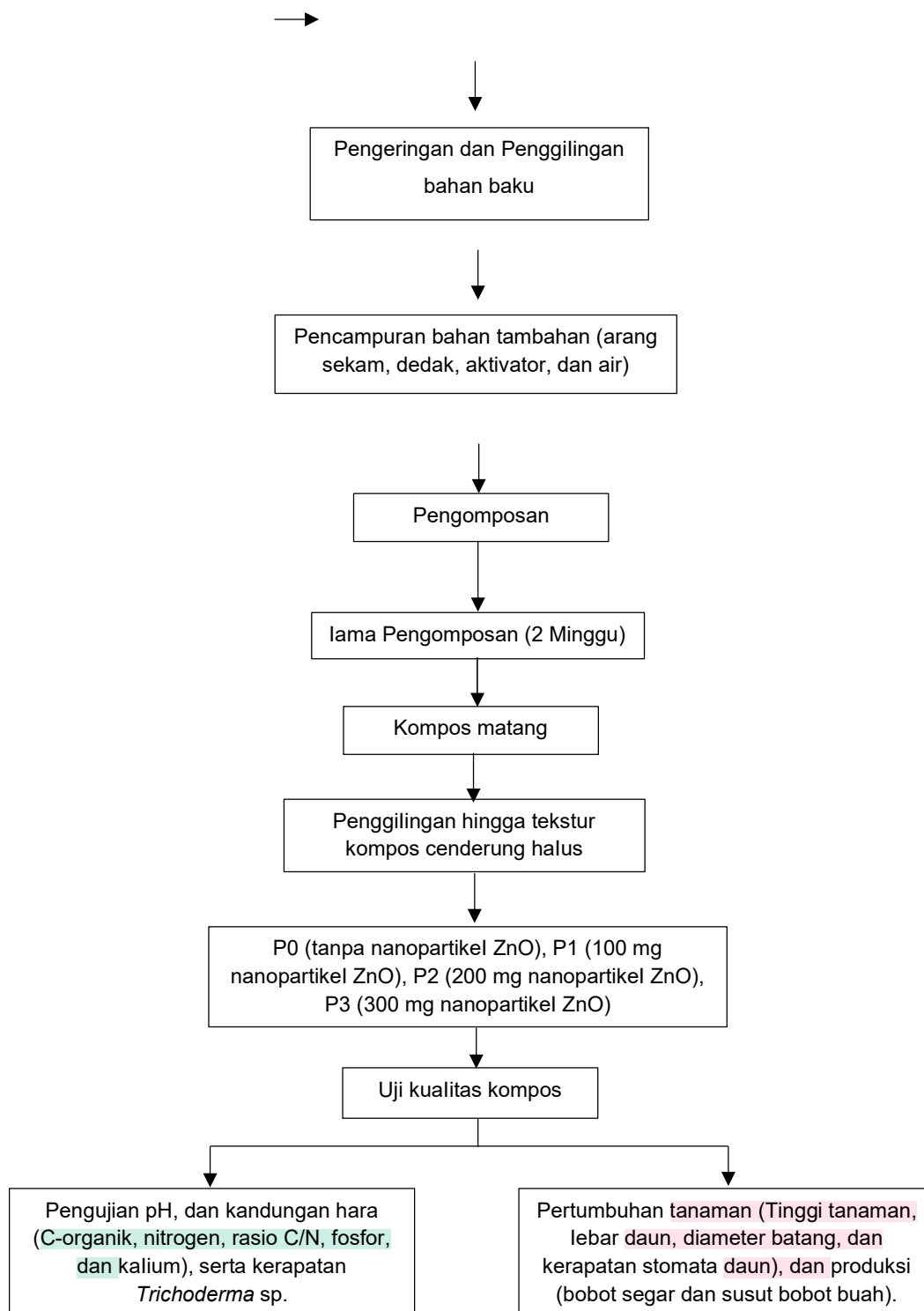
6	Kerapatan stomata daun	Mikroskop	Pengamatan kerapatan stomata dilakukan menggunakan mikroskop untuk menghitung jumlah stomata pada sampel daun tanaman cabai rawit. Sampel diambil dari permukaan bawah daun yang telah berkembang optimal (bukan daun muda).
7	Bobot segar cabai rawit	Timbangan Analitik	Bobot buah segar diukur menggunakan timbangan analitik segera setelah panen pada setiap ulangan perlakuan untuk memperoleh data bobot segar hasil panen tanaman cabai rawit.
8	Susut bobot buah cabai rawit	Timbangan Analitik	Susut bobot diamati dengan menyimpan buah cabai rawit pada suhu ruang selama 3 hari setelah panen. Penimbangan dilakukan setiap 1 hari sekali untuk mengetahui perubahan bobot selama penyimpanan. Susut bobot dihitung berdasarkan selisih bobot awal dan bobot selama penyimpanan, kemudian dinyatakan dalam persentase sebagai indikator ketahanan simpan buah.

3.2.6 Teknik Analisis Data

Hasil data parameter pengamatan pH dan kadar unsur hara (C-organik, N, C/N, P, dan K) trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, pertumbuhan tanaman, kerapatan stomata daun, serta bobot segar buah cabai rawit dianalisis menggunakan SPSS pada taraf nyata 5% ($\alpha = 0,05$). Sebelum dilakukan analisis, data diuji normalitas menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dan homogenitas menggunakan uji *Levene*. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan *varian satu arah (One-Way) ANOVA* untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Jika hasil ANOVA menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$), maka dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* taraf 5%. Sedangkan untuk hasil data parameter pengamatan kerapatan *Trichoderma* sp. dan susut bobot buah cabai rawit menggunakan analisis deskriptif.

3.2.7 Kerangka Operasional





Gambar 3. Kerangka Operasional

3.3 Analisis Kelayakan Finansial Usaha

Analisis kelayakan finansial usaha dilakukan untuk menilai tingkat keuntungan dan kelayakan ekonomi dari usaha produksi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Analisis ini meliputi perhitungan biaya total produksi, penerimaan, dan pendapatan sebagai dasar dalam mengetahui hasil usaha yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan analisis *Break Even Point* (BEP), *Revenue Cost Ratio* (R/C Ratio), *Return on Investment* (ROI), dan *Payback Period* (PP) untuk mengevaluasi efisiensi usaha, tingkat keuntungan, serta jangka waktu pengembalian modal, sehingga dapat diketahui kelayakan usaha untuk dijalankan dan dikembangkan.

A. Biaya Total Produksi (*Total Cost*)

Biaya Total Produksi merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan selama proses produksi pupuk organik dalam satu siklus produksi. Total biaya terdiri atas biaya tetap (*Fixed Cost* atau FC) dan biaya variabel (*Variable Cost* atau VC).

a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

Biaya tetap adalah biaya yang relatif tidak berubah meskipun jumlah produksi berbeda. Biaya tetap meliputi penyusutan alat, sewa tempat, dan biaya peralatan penunjang produksi.

b. Biaya variabel (*Variable Cost*)

Biaya variabel adalah biaya yang besarnya berubah sesuai dengan volume produksi. Biaya ini meliputi bahan baku (kotoran kambing, bahan tambahan, dekomposer), tenaga kerja, air, dan biaya operasional lainnya.

Secara matematis, Biaya Total Produksi total dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Total Biaya (TC)} = \text{Biaya Tetap (FC)} + \text{Biaya Variabel (VC)}$$

B. Penerimaan (*Revenue*)

Penerimaan adalah seluruh nilai uang yang diperoleh dari hasil penjualan produk atau jasa dalam suatu periode tertentu sebelum dikurangi biaya produksi. Penerimaan menggambarkan total hasil penjualan kotor yang diterima usaha.

Dalam usaha produksi pupuk organik, penerimaan dihitung dari jumlah pupuk yang terjual dikalikan dengan harga jual per satuan produk. Secara matematis, penerimaan dirumuskan sebagai:

$$\text{Total Penerimaan (TR)} = \text{Harga Jual (P)} \times \text{Jumlah Produksi (Q)}$$

C. Pendapatan (*Income*)

Pendapatan adalah selisih antara total penerimaan dengan total biaya produksi yang dikeluarkan. Pendapatan menunjukkan keuntungan bersih yang benar-benar diperoleh pelaku usaha setelah semua biaya, baik biaya tetap maupun biaya variabel, dikurangkan. Secara matematis, pendapatan dirumuskan sebagai:

$$\text{Pendapatan } (\pi) = \text{Total Penerimaan (TR)} - \text{Total Biaya Produksi (TC)}$$

D. Break Even Point (BEP)

Break Even Point (BEP) merupakan titik di mana total biaya produksi sama dengan total penerimaan, sehingga usaha tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. BEP dapat dihitung dalam bentuk unit produk maupun nilai rupiah.

1. BEP Produksi (Unit)

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{\text{Total Biaya Tetap (FC)}}{\text{Harga Jual (P)} - \text{Biaya Variabel (VC)}}$$

2. BEP Harga (Rupiah)

$$\text{BEP (Rp)} = \frac{\text{Total Biaya Tetap (FC)}}{\text{Jumlah Produksi (Q)}} + \text{Biaya Variabel (VC)}$$

BEP digunakan untuk mengetahui jumlah minimal produksi pupuk organik yang harus dijual agar usaha tidak mengalami kerugian.

E. Revenue Cost Ratio (R/C Ratio)

Revenue Cost Ratio (R/C Ratio) digunakan untuk menilai tingkat efisiensi usaha dengan membandingkan total penerimaan terhadap total biaya produksi. Nilai R/C Ratio menunjukkan apakah usaha pupuk organik yang dijalankan menghasilkan keuntungan, impas, atau mengalami kerugian.

Rumus (R/C Ratio):

$$(R/C \text{ Ratio}) = \frac{\text{Total Penerimaan (Revenue)}}{\text{Total Biaya (Cost)}}$$

Komponen Utama:

- Total biaya (*Cost*): biaya tetap dan biaya variabel.
- Total penerimaan (*Revenue*): hasil penjualan produk dalam satu periode.
- Nilai perbandingan (R/C) sebagai penentu kelayakan:
 - $R/C > 1 \rightarrow$ usaha layak
 - $R/C = 1 \rightarrow$ impas
 - $R/C < 1 \rightarrow$ tidak layak

F. **Return on Investment (ROI)**

Return on Investment (ROI) digunakan untuk mengetahui tingkat keuntungan yang diperoleh dibandingkan dengan total modal atau biaya yang dikeluarkan. ROI menunjukkan efisiensi penggunaan modal dalam usaha pupuk organik.

Rumus ROI:

$$ROI (\%) = \frac{\text{Pendapatan } (\pi)}{\text{Total Biaya Produksi (TC)}} \times 100\%$$

Semakin besar nilai ROI, maka semakin tinggi tingkat keuntungan usaha pupuk organik yang dijalankan.

G. **Payback Period (PP)**

Payback Period (PP) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan seluruh investasi awal dari keuntungan yang diperoleh. Analisis ini digunakan untuk mengetahui seberapa cepat modal usaha pupuk organik dapat kembali.

Rumus Payback Period:

$$PP = \frac{\text{Total Investasi Awal}}{\text{Keuntungan Bersih per Periode}}$$

Kriteria Penilaian:

- *Payback Period* lebih singkat menunjukkan usaha lebih cepat mengembalikan modal.
- *Payback Period* lebih panjang menunjukkan usaha membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai titik pengembalian modal.

3.4 Diseminasi Inovasi Produk

Diseminasi inovasi produk dilakukan menggunakan analisis deskriptif untuk mengukur respon petani terhadap penyampaian informasi mengenai inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO melalui media sosial YouTube. Analisis deskriptif dipilih karena penelitian ini bertujuan menggambarkan tingkat penerimaan responden terhadap materi diseminasi berdasarkan data numerik yang diperoleh dari kuesioner, tanpa melakukan pengujian hubungan maupun pengaruh antarvariabel.

Konten diseminasi yang digunakan terdiri atas dua video yang saling berkaitan. Video pertama menjelaskan proses pembuatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, sedangkan video kedua menampilkan aplikasi trichokompos pada tanaman cabai rawit. Kedua video tersebut diunggah melalui platform YouTube sebagai media penyampaian informasi kepada responden.

Pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner secara langsung kepada petani yang menjadi responden penelitian, serta link tautan video diseminasi inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dicantumkan pada lembar kuesioner. Responden diminta untuk menyaksikan video tersebut secara mandiri sebelum mengisi kuesioner. Selanjutnya, responden memberikan penilaian berdasarkan informasi yang diperoleh dari video diseminasi.

Instrumen penelitian menggunakan skala likert lima tingkat, yaitu Sangat Tidak Setuju (STS), Tidak Setuju (TS), Netral (N), Setuju (S), dan Sangat Setuju

(SS). Pernyataan dalam kuesioner disusun untuk mengukur respon petani terhadap inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO yang meliputi pengetahuan mengenai inovasi produk, pemahaman terhadap peran *Trichoderma* sp. dan fungsi nanopartikel ZnO, pemahaman mengenai proses pembuatan dan cara penggunaan produk, kepercayaan terhadap proses produksi, persepsi mengenai potensi penerapan inovasi dalam usaha tani, ketertarikan untuk mencoba produk, serta kesediaan merekomendasikan informasi mengenai inovasi kepada petani lain.

Data hasil kuesioner dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dengan menghitung skor setiap pernyataan, nilai rata-rata, dan persentase capaian responden pada masing-masing indikator. Persentase capaian responden diperoleh dari perbandingan antara jumlah skor yang diperoleh dengan skor maksimum, kemudian dikonversi ke dalam bentuk persentase menggunakan rumus sebagai berikut (Akhyar *et al.*, 2026).

$$DP (\%) = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

PCR = Persentase capaian responden (%)

n = Jumlah skor yang diperoleh dari seluruh responden

N = Jumlah skor maksimum (skor tertinggi × jumlah responden)

Pada penelitian ini, jumlah responden sebanyak 10 orang dengan instrumen berupa 10 butir pernyataan menggunakan skala likert 1–5. Oleh karena itu, skor maksimum untuk setiap pernyataan adalah:

$$10 \text{ responden} \times 5 = 50$$

sedangkan skor minimum adalah:

$$10 \text{ responden} \times 1 = 10$$

Selanjutnya dilakukan penentuan interval kategori penilaian dengan perhitungan sebagai berikut:

- Skor maksimum = $10 \times 5 = 50$
- Skor minimum = $10 \times 1 = 10$

- Persentase maksimum = $(50/50) \times 100\% = 100\%$
- Persentase minimum = $(10/50) \times 100\% = 20\%$
- Rentangan = $100\% - 20\% = 80\%$
- Interval persentase = $80\% / 5 = 16\%$

Berdasarkan hasil tersebut, kriteria persentase capaian responden disajikan pada Tabel 5 .

Tabel 5. Kategori Responden

Interval Persentase	Kriteria
81,25%–100%	Sangat Tinggi
62,50%–81,24%	Tinggi
43,75%–62,49%	Cukup Tinggi
25,00%–43,74%	Rendah

Sumber: (Akhyar *et al.*, 2026)

Nilai yang diperoleh digunakan untuk menggambarkan tingkat respon petani terhadap inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Semakin tinggi nilai rata-rata dan persentase yang diperoleh, semakin positif respon petani terhadap inovasi yang diperkenalkan, yang ditunjukkan melalui tingkat pengetahuan, pemahaman, kepercayaan terhadap proses produksi, persepsi mengenai potensi penerapan inovasi, ketertarikan untuk mencoba produk, serta kesediaan merekomendasikan informasi mengenai inovasi kepada petani lain. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi respon petani terhadap inovasi sekaligus sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan strategi pemasaran produk trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO.

3.5 Batas Istilah

1. Trichokompos adalah pupuk organik yang memanfaatkan *Trichoderma* sp. sebagai dekomposer untuk mempercepat penguraian bahan kompos dan meningkatkan ketersediaan unsur hara.
2. *Trichoderma* sp. adalah jenis cendawan yang sangat bermanfaat dalam pertanian ekologis.
3. Nanopartikel ZnO adalah partikel seng oksida berukuran nanometer yang memiliki sifat antibakteri, katalitik, dan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman serta efisiensi pupuk dalam pertanian.

4. Bioaktivator dekomposer adalah kumpulan mikroorganisme aktif (bakteri/cendawan) yang berfungsi mempercepat penguraian bahan organik menjadi kompos, pupuk cair, atau unsur hara tanah.
5. Agen hayati adalah organisme hidup seperti cendawan, bakteri, virus, atau predator alami yang digunakan untuk menekan hama dan penyakit tanaman secara biologis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem.
6. Pengomposan adalah suatu proses penguraian bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana secara metabolik dengan bantuan mikroorganisme.

137

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kajian

Kualitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO perlu dievaluasi untuk memastikan bahwa kompos yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai sebagai pupuk organik. Hasil kajian disajikan untuk mengevaluasi kualitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO berdasarkan beberapa aspek pengujian. Penilaian kualitas dilakukan melalui pengamatan sifat fisik, biologi, kimia trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, serta efektivitasnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit.

8

4.1.1 Kualitas Fisik & Biologi Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Kualitas fisik & biologi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dilakukan berdasarkan karakteristik kematangan kompos yang meliputi warna, bau/aroma, tekstur, dan suhu, serta kerapatan *Trichoderma* sp. Adapun kualitas fisik & biologi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dijelaskan sebagai berikut:

A. Suhu

Suhu merupakan bagian parameter fisik yang digunakan untuk menilai tingkat kematangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan memiliki suhu mendekati suhu lingkungan $< 30^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan SNI 19-7030-2004, suhu kompos yang sudah matang adalah sesuai dengan suhu lingkungan, yaitu sekitar $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$. Selama proses pengomposan, suhu kompos mengalami perubahan yang mencerminkan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan kompos. Pada fase awal, suhu kompos umumnya meningkat dari sekitar 30°C hingga mencapai $45\text{--}65^{\circ}\text{C}$ sebagai akibat tingginya aktivitas mikroorganisme termofilik dalam proses pengomposan bahan organik. Selanjutnya, suhu berangsur menurun hingga mendekati suhu lingkungan atau suhu air tanah $< 30^{\circ}\text{C}$. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas mikroorganisme mulai menurun dan kompos telah mencapai tingkat

7

kematangan (Kurniawati *et al.*, 2021). Menurut Khoiriyah *et al.* (2025), mikroorganisme pengurai, dapat bekerja secara efektif pada kisaran suhu optimum sekitar 22–30°C sehingga proses pengomposan berlangsung secara efisien. Suhu yang telah stabil tersebut menunjukkan bahwa proses pengomposan telah berlangsung dengan baik, aktivitas pengomposan telah menurun, dan kompos telah mencapai kondisi matang sehingga aman untuk diaplikasikan pada tanaman. Oleh karena itu, suhu yang mendekati suhu lingkungan merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan kematangan kompos.

B. Tekstur

1 1 Tekstur merupakan bagian parameter fisik yang digunakan untuk menilai tingkat kematangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan memiliki tekstur yang remah cenderung halus. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan SNI 19-7030-2004, kompos yang memenuhi standar mutu memiliki tekstur remah atau sangat halus. Terbentuknya tekstur remah cenderung halus selain dikarenakan proses pengomposan bahan organik oleh mikroorganisme selama pengomposan dan proses giling. Seiring berlangsungnya proses penguraian, senyawa organik kompleks dirombak menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga ukuran partikel bahan semakin kecil, struktur kompos menjadi lebih gembur, dan teksturnya berubah menjadi remah. Pernyataan ini sejalan dengan hasil penelitian Asih *et al.* (2025), yang menyatakan bahwa aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan menyebabkan bahan organik mengalami pengomposan sehingga menghasilkan kompos dengan tekstur yang lebih halus dan mudah hancur.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Asih *et al.* (2025), yang melaporkan bahwa kompos yang telah matang umumnya memiliki tekstur remah, gembur, dan mudah dihancurkan karena sebagian besar bahan organik telah

terdekomposisi oleh aktivitas mikroorganisme. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Wijaksono *et al.* (2016), yang menyatakan bahwa peningkatan aktivitas mikroorganisme selama proses pengomposan menyebabkan ukuran partikel bahan organik semakin halus sehingga menghasilkan tekstur kompos yang lebih remah dan homogen sebagai indikator kematangan kompos.

Mikroorganisme memiliki peran utama dalam mempercepat proses perombakan bahan organik, sehingga perubahan tekstur dari kasar menjadi remah dapat berlangsung lebih cepat. Semakin tinggi aktivitas mikroorganisme, semakin intensif proses pengomposan yang terjadi sehingga kompos akan lebih cepat mencapai tingkat kematangan. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Supadma *et al.* (2019), menjelaskan bahwa aktivitas mikroorganisme merupakan faktor utama yang menentukan kecepatan pengomposan bahan organik dan pembentukan tekstur kompos yang remah.

C. Bau/Aroma

Bau/aroma merupakan bagian parameter fisik yang digunakan untuk menilai tingkat kematangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan memiliki aroma yang menyerupai aroma tanah. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan SNI 19-7030-2004, yang menyatakan bahwa kompos yang telah matang umumnya memiliki aroma seperti tanah atau humus. Aroma tersebut mengindikasikan bahwa proses pengomposan bahan organik telah berlangsung secara optimal dan telah mencapai tahap stabil. Hal ini juga sejalan dengan pendapat Trivana & Pradhana (2017), yang menyatakan bahwa kompos yang beraroma seperti tanah menunjukkan bahwa proses pengomposan atau bokashi telah selesai dan kompos telah siap digunakan. Selain itu, Tallo & Sio (2019), menjelaskan bahwa kompos yang telah matang memiliki aroma seperti humus, sedangkan kompos yang masih berbau busuk menunjukkan bahwa proses

penguraian belum sepenuhnya selesai dan aktivitas pengomposan masih berlangsung. Bau atau aroma pada kompos juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan selama proses pengomposan, khususnya suhu dan kelembapan.

D. Warna

Warna merupakan bagian parameter fisik yang digunakan untuk menilai tingkat kematangan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan memiliki warna yang sama yaitu coklat kehitaman. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan SNI 19-7030-2004, menyatakan bahwa kompos yang baik yaitu berwarna coklat kehitaman. Menurut Tallo & Sio (2019), kompos yang siap panen (matang), akan berwarna coklat tua hingga kehitam-hitaman. Hasil penelitian didukung juga oleh penelitian Asih *et al.*, (2025), menyatakan bahwa pengomposan kotoran ternak dengan beberapa spesies *Trichoderma* sp. menghasilkan warna coklat, coklat kehitaman, dan hitam. Perubahan warna diakibatkan karena adanya proses penguraian yang dilakukan oleh mikroorganisme, Muhammad *et al.* (2017), menyatakan bahwa perubahan warna kompos disebabkan oleh berlangsungnya proses pengomposan yang menyebabkan terjadinya perombakan bahan organik dan perubahan kandungan nitrogen.

E. Kerapatan *Trichoderma* sp.

Kerapatan *Trichoderma* sp. merupakan salah satu parameter biologis yang menunjukkan jumlah propagul hidup (*viable propagule*) dalam kompos. Parameter ini digunakan untuk mengetahui kemampuan *Trichoderma* sp. bertahan hidup selama proses pengomposan hingga kompos mencapai tingkat kematangan. Semakin tinggi kerapatan *Trichoderma* sp., semakin besar peluang

mikroorganisme tersebut tetap aktif setelah kompos diaplikasikan ke tanah sehingga dapat berfungsi sebagai dekomposer sekaligus agen hayati yang mendukung pertumbuhan tanaman.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO memiliki kerapatan *Trichoderma* sp. sebesar $2,54 \times 10^8$ spora ml^{-1} . Nilai tersebut menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. masih viabel pada kompos yang telah matang. Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah, Pupuk Hayati yang mengandung mikroorganisme fungsional harus memiliki populasi mikroba hidup minimal 10^7 CFU g^{-1} (atau satuan setara sesuai jenis formulasi). Dengan demikian, kerapatan *Trichoderma* sp. pada penelitian ini telah memenuhi bahkan melebihi persyaratan minimal tersebut, sehingga menunjukkan bahwa produk trichokompos masih memiliki kandungan mikroorganisme yang layak dan berpotensi memberikan fungsi biologis setelah diaplikasikan.

Selama proses pengomposan, *Trichoderma* sp. berperan sebagai mikroorganisme dekomposer yang menghasilkan enzim ekstraseluler, seperti selulase, hemiselulase, dan ligninase. Enzim-enzim tersebut mampu menguraikan selulosa, hemiselulosa, dan sebagian lignin menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga mempercepat pengomposan bahan kompos dan pembentukan senyawa humat (Khoiriyah et al., 2025). Aktivitas enzimatik tersebut menyebabkan ukuran partikel bahan kompos menjadi lebih halus dan menghasilkan tekstur kompos yang remah sebagai salah satu indikator kematangan kompos.

Keberadaan *Trichoderma* sp. dengan kerapatan yang tinggi juga menunjukkan bahwa proses pengomposan berlangsung dengan baik. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan suhu kompos hingga mendekati suhu

lingkungan tidak menyebabkan hilangnya viabilitas *Trichoderma* sp., sehingga kompos yang dihasilkan tetap mengandung mikroorganisme fungsional. Hasil penelitian ini sejalan dengan Asih *et al.* (2025), yang menyatakan bahwa suhu kompos yang telah matang akan menurun mendekati suhu lingkungan sebagai indikator berakhirnya fase pengomposan aktif. Milyana *et al.* (2019), juga menjelaskan bahwa stabilnya suhu kompos menunjukkan aktivitas mikroorganisme mulai menurun karena sebagian besar bahan organik yang mudah terdegradasi telah habis dimanfaatkan.

Selain berperan sebagai dekomposer, *Trichoderma* sp. memiliki berbagai manfaat setelah kompos diaplikasikan ke lahan. Mikroorganisme ini mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui proses mineralisasi bahan organik, menghasilkan zat pengatur tumbuh seperti *indole-3-acetic acid* (IAA), meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan sistem perakaran tanaman, serta membantu meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. *Trichoderma* sp. juga dikenal sebagai agen pengendali hayati yang mampu menekan perkembangan patogen tular tanah melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi, antibiosis, mikoparasitisme, serta menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit. Dengan demikian, keberadaan *Trichoderma* sp. yang masih viabel dalam trichokompos tidak hanya berperan selama proses pengomposan, tetapi juga memberikan nilai tambah terhadap kualitas pupuk sebagai sumber hara sekaligus pupuk hayati yang mampu mendukung pertumbuhan, produksi, dan kesehatan tanaman.

Selain itu, aktivitas *Trichoderma* sp. selama proses pengomposan berlangsung secara aerob sehingga membantu menekan pembentukan senyawa penyebab bau tidak sedap, seperti amonia (NH_3) dan hidrogen sulfida (H_2S). Oleh karena itu, kompos yang dihasilkan memiliki aroma menyerupai tanah sebagai

salah satu indikator kematangan kompos (Ratnawati *et al.*, 2023). Kualitas kimia trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO

pH dan kandungan unsur hara seperti C-organik, nitrogen, rasio C/N, fosfor, dan kalium, sangat penting dalam mengevaluasi kualitas kimia diperkaya nanopartikel ZnO. Evaluasi kualitas ini mencakup analisis unsur hara yang disesuaikan dengan SNI 19-7030-2004. Adapun hasil kandungan unsur hara setiap perlakuan disajikan pada Tabel 7, serta Lampiran 2 dan 7.

Tabel 6. Unsur Hara Kompos

Perlakuan	Rata-rata nilai parameter kompos (%)					
	pH	C-Organik	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O
P0	6	15,45±0,20 ^a	1,37±0,04 ^a	11,21±0,27 ^a	1,61±0,02 ^a	1,84±0,07 ^a
P1	6	16,10±0,28 ^b	1,59±0,03 ^b	10,08±0,06 ^b	1,76±0,03 ^b	1,94±0,04 ^a
P2	6	16,72±0,16 ^c	1,76±0,06 ^c	9,46±0,25 ^c	1,81±0,04 ^b	2,15±0,11 ^b
P3	6	17,39±0,19 ^d	2,08±0,10 ^d	8,37±0,32 ^d	2,04±0,12 ^c	2,19±0,11 ^b
SNI 19-7030-2004	6,80-7,49	9,8-32	0,40	10-20	0,10	0,20

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

A. pH Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 7 terlihat bahwa seluruh perlakuan menunjukkan nilai pH sebesar 6, yang mengindikasikan bahwa pH trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO relatif seragam pada setiap perlakuan. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, pH trichokompos yang memenuhi standar mutu berada pada kisaran 6,80–7,49. Oleh karena itu, pH trichokompos pada seluruh perlakuan berada di bawah batas minimum yang dipersyaratkan sehingga parameter pH trichokompos belum memenuhi standar mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004.

Meskipun demikian, nilai pH sebesar 6 menunjukkan bahwa trichokompos bersifat agak asam hingga mendekati netral. Kondisi ini mengindikasikan bahwa

proses pengomposan bahan organik telah berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan kompos yang relatif stabil. Selain itu, pH yang diperoleh masih berada pada kisaran yang dapat mendukung aktivitas mikroorganisme pengurai untuk digunakan sebagai media atau serta ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Maula (2023), yang melaporkan bahwa kompos yang telah matang memiliki pH mendekati netral, yaitu berkisar antara 6–7, karena selama proses pengomposan terjadi penguraian senyawa organik yang menyebabkan perubahan pH secara bertahap menuju kondisi stabil. Penelitian Tallo & Sio (2019), juga menunjukkan bahwa kompos dengan pH sekitar 6,0–6,8 masih tergolong baik dan mencerminkan bahwa proses pengomposan telah berlangsung dengan cukup optimal meskipun belum sepenuhnya memenuhi kisaran pH menurut SNI 19-7030-2004.

Nilai pH yang relatif sama pada seluruh perlakuan diduga disebabkan oleh proses pengomposan yang berlangsung relatif seragam sehingga tidak terjadi perbedaan kondisi kimia selama pengomposan. Selama proses tersebut, mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pada fase awal pengomposan terbentuk asam-asam organik yang menyebabkan pH menurun, kemudian pH meningkat kembali akibat proses mineralisasi nitrogen yang menghasilkan amonia. Seiring berjalannya proses pengomposan, kedua proses tersebut mencapai keseimbangan sehingga pH menjadi relatif stabil (Tallo & Sio, 2019).

B. Kandungan C-organik Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 2, kandungan C-organik trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan berkisar antara 15,45–17,39%. Secara umum, kandungan C-organik antarperlakuan menunjukkan variasi yang relatif kecil, dengan nilai tertinggi terdapat pada P3 dan terendah pada P0. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kandungan C-organik kompos yang memenuhi standar mutu berada pada kisaran 9,80–32,00%. Dengan demikian, kompos yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004. Berdasarkan hasil analisis statistik, kandungan C-organik menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$) antarperlakuan.

Kandungan C-organik yang memenuhi standar pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa trichokompos yang dihasilkan berpotensi memberikan manfaat dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Kandungan C-organik membantu pembentukan agregat tanah yang lebih stabil sehingga struktur

tanah menjadi lebih remah, meningkatkan porositas, aerasi, serta kemampuan tanah dalam menahan air. Kondisi tersebut menciptakan lingkungan yang lebih baik bagi perkembangan akar tanaman, terutama pada tanah yang padat atau memiliki kandungan bahan organik rendah.

Kandungan C-organik berperan dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), sehingga kemampuan tanah dalam mengikat dan menyediakan unsur hara bagi tanaman menjadi lebih baik. Selain itu, bahan organik mampu mengurangi kehilangan unsur hara akibat pencucian, meningkatkan efisiensi pemupukan, serta menjadi sumber unsur hara yang dilepaskan secara bertahap selama proses mineralisasi. Dengan demikian, keberadaan C-organik tidak hanya berfungsi sebagai penyedia karbon, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga ketersediaan hara di dalam tanah. Kandungan C-organik berfungsi sebagai sumber energi dan karbon bagi mikroorganisme tanah, termasuk bakteri, fungi, dan aktinomisetes yang berperan dalam proses pengomposan bahan organik serta siklus unsur hara. Meningkatnya aktivitas mikroorganisme tersebut akan mempercepat mineralisasi unsur hara sehingga ketersediaan hara bagi tanaman menjadi lebih optimal. Oleh karena itu, semakin tinggi kandungan C-organik yang masih berada dalam kisaran standar mutu, semakin besar pula potensinya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

Kandungan C-organik yang memenuhi standar diduga dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku yang digunakan, yaitu kotoran kambing. Menurut Maula (2023), kotoran kambing memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dengan rasio C/N awal sebesar 47,34 sehingga memerlukan proses pengomposan agar senyawa organik kompleks dapat terdekomposisi menjadi senyawa yang lebih stabil. Selama proses tersebut, *Trichoderma* sp. menghasilkan enzim selulase, hemiselulase, dan lignase yang mempercepat penguraian bahan organik. Sebagian karbon digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi selama proses metabolisme dan dilepaskan dalam bentuk CO₂, sedangkan sebagian lainnya tetap tersimpan sebagai humus yang berkontribusi terhadap kandungan C-organik kompos. Dengan demikian, aktivitas *Trichoderma* sp. yang ditunjukkan oleh kerapatan spora yang tinggi turut mendukung terbentuknya trichokompos dengan kandungan C-organik yang memenuhi standar mutu.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Asih *et al.* (2025), menjelaskan bahwa kompos berbahan dasar kotoran kambing memiliki kandungan C-organik yang memenuhi standar mutu kompos, sehingga mampu menjadi sumber bahan

organik bagi tanah. Selain itu, Prastya *et al.* (2019), menyatakan bahwa kualitas kimia trichokompos dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku dan proses fermentasi selama pengomposan. Kandungan C-organik yang masih berada dalam kisaran standar menunjukkan bahwa proses pengomposan berlangsung secara optimal tanpa menyebabkan kehilangan karbon secara berlebihan. Kandungan bahan organik yang memadai juga berperan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta mendukung aktivitas mikroorganisme tanah sehingga kesuburan tanah dapat terjaga.

C. Kandungan Nitrogen Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 2, kandungan nitrogen trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan berkisar antara 1,37–2,08%. Secara umum, kandungan nitrogen antarperlakuan menunjukkan variasi yang relatif kecil, dengan nilai tertinggi terdapat pada P3 dan terendah pada P0. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kandungan nitrogen trichokompos yang memenuhi standar mutu berada pada minimum sebesar 0,40%. Dengan demikian, kandungan nitrogen trichokompos yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004. Berdasarkan hasil analisis statistik, kandungan nitrogen menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$) antarperlakuan.

Tingginya kandungan nitrogen pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa trichokompos yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik sebagai sumber hara tanaman. Nitrogen merupakan unsur hara makro yang berperan penting dalam pembentukan asam amino, protein, dan klorofil sehingga keberadaannya sangat diperlukan untuk menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman. Kandungan nitrogen yang relatif tinggi pada kompos umumnya mencerminkan proses pengomposan bahan organik yang berlangsung dengan baik dan tingkat kematangan kompos yang memadai. Selama proses pengomposan, terjadi transformasi senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga nitrogen menjadi lebih terkonsentrasi dalam bahan kompos.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Asih *et al.* (2025), yang melaporkan bahwa proses pengomposan mampu menghasilkan kompos dengan kandungan nitrogen yang memenuhi standar mutu dan menunjukkan kualitas

pupuk organik yang baik. Selain itu, menurut Trivana & Pradhana (2017), menyatakan bahwa nitrogen dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan dan pembentukan sel selama proses penguraian bahan organik, sehingga ketersediaan nitrogen yang cukup dapat mendukung berlangsungnya proses pengomposan secara optimal. *Trichoderma* sp. berperan sebagai mikroorganisme dekomposer yang menghasilkan enzim ekstraseluler untuk menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga proses mineralisasi nitrogen berlangsung lebih efektif. Aktivitas *Trichoderma* sp. tersebut mendukung perubahan nitrogen organik menjadi bentuk yang lebih tersedia dalam kompos, sehingga kandungan nitrogen yang dihasilkan memenuhi standar mutu. Penelitian Muhammad *et al.* (2017), juga menunjukkan bahwa kandungan nitrogen pada kompos dapat mengalami peningkatan seiring berlangsungnya proses pengomposan dan dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme pengurai.

D. Rasio C/N Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 2, rasio C/N trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan berkisar antara 8,37–11,21. Secara umum, rasio C/N menunjukkan variasi antarperlakuan yang relatif kecil, dengan nilai tertinggi terdapat pada P0, diikuti P1 lalu, P2 dan P3. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, rasio C/N trichokompos yang baik berada pada kisaran 10–20. Dengan demikian, rasio C/N trichokompos pada perlakuan P0 dan P1 ini telah memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004. Namun, berbeda pada P2 dan P3 berada di bawah batas minimum yang dipersyaratkan sehingga rasio C/N trichokompos belum memenuhi standar mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004. Berdasarkan hasil analisis statistik, rasio C/N menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$) antarperlakuan.

Meskipun pada P2 dan P3 rasio C/N berada sedikit di bawah batas minimum yang dipersyaratkan menurut standar mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004, selisih tersebut relatif kecil sehingga masih menunjukkan bahwa kompos telah mengalami proses pengomposan yang baik dan mencapai tingkat kematangan yang tinggi. Nilai rasio C/N yang sedikit lebih rendah ini tidak serta-merta menunjukkan bahwa kualitas kompos menjadi buruk atau tidak layak digunakan, melainkan mengindikasikan bahwa proses pengomposan bahan organik telah berlangsung lebih lanjut, sehingga sebagian besar karbon telah dimanfaatkan oleh mikroorganisme dan dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk CO₂. Menurut Wijaksono *et al.* (2016), selama proses pengomposan kandungan karbon akan

terus menurun akibat aktivitas mikroorganisme, sedangkan nitrogen relatif tetap sehingga menyebabkan rasio C/N semakin rendah. Hasil penelitian ini sejalan dengan pendapat Asih *et al.* (2025), menyatakan bahwa kompos matang umumnya memiliki rasio C/N yang rendah karena sebagian besar bahan organik telah terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selain itu, Trivana & Pradhana (2017), menjelaskan bahwa penurunan rasio C/N selama pengomposan merupakan indikator terjadinya stabilisasi bahan organik dan kematangan kompos.

Penggunaan *Trichoderma* sp. dalam penelitian ini menghasilkan enzim selulase, hemiselulase, dan lignase yang berperan dalam mempercepat penguraian bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Aktivitas tersebut menyebabkan kandungan karbon berkurang sebagai hasil respirasi mikroorganisme, sedangkan nitrogen relatif tetap sehingga turut mendukung penurunan rasio C/N dan menghasilkan kompos yang lebih stabil serta matang. Rasio C/N yang rendah pada kompos memberikan keuntungan bagi tanah karena menunjukkan bahwa bahan organik telah stabil dan unsur nitrogen lebih mudah tersedia bagi tanaman. Di dukung dengan penelitian Trivana & Pradhana (2017), juga menyebutkan bahwa kompos dengan rasio C/N kurang dari 12 umumnya telah mencapai tingkat kematangan dan stabilitas yang baik sehingga aman diaplikasikan ke tanah. Kompos yang matang tidak lagi menyebabkan kompetisi antara mikroorganisme dan tanaman dalam memanfaatkan nitrogen (imobilisasi nitrogen), sehingga proses mineralisasi dapat berlangsung lebih optimal. Akibatnya, unsur hara lebih cepat tersedia untuk diserap tanaman serta mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan tanah menahan air, dan mendukung kesuburan tanah secara berkelanjutan.

E. Kandungan Fosfor Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 2, kandungan fosfor trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan berkisar antara 1,61–2,04%. Secara umum, kandungan fosfor menunjukkan variasi antarperlakuan, dengan nilai terendah terdapat pada P0, diikuti P1 dan P2, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada P3. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kandungan fosfor trichokompos yang memenuhi standar mutu berada pada minimum sebesar 0,10%. Dengan demikian, kandungan fosfor trichokompos yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004.

20 Berdasarkan hasil analisis statistik, kandungan fosfor P0, P1, P2 dan P3 menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$), kecuali P1 dan P2 tidak berbeda nyata ($P > 0,05$).

Tingginya kandungan fosfor pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa trichokompos yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Fosfor merupakan unsur hara makro esensial yang berperan dalam proses transfer energi, pembentukan akar, pembelahan sel, serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kandungan fosfor dalam kompos dipengaruhi oleh proses pengomposan bahan organik yang menyebabkan senyawa fosfor kompleks diuraikan menjadi bentuk yang lebih tersedia.

15 Hasil penelitian ini sejalan dengan pendapat Tallo & Sio (2019), yang menyatakan bahwa selama proses pengomposan terjadi mineralisasi bahan organik sehingga unsur hara, termasuk fosfor, dilepaskan dan tersedia dalam jumlah yang lebih besar. Selain itu, Maula (2023), menjelaskan bahwa peningkatan kandungan fosfor pada kompos dapat terjadi akibat aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik dan mengubah senyawa fosfor menjadi bentuk yang lebih mudah dimanfaatkan. *Trichoderma* sp. yang ditambahkan dalam penelitian ini berperan sebagai mikroorganisme dekomposer yang menghasilkan enzim ekstraseluler untuk mempercepat penguraian bahan organik serta membantu proses membantu melarutkan fosfat yang terikat melalui produksi asam organik dan enzim fosfatase, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam kompos. Kerapatan spora yang tinggi mengindikasikan bahwa aktivitas *Trichoderma* sp. berlangsung secara optimal selama pengomposan sehingga turut mendukung tingginya kandungan fosfor pada trichokompos. Menurut Asih *et al.* (2025), kompos yang memiliki kandungan fosfor tinggi menunjukkan bahwa proses pengomposan berlangsung dengan baik sehingga unsur hara yang terkandung dalam bahan baku dapat dipertahankan dan tersedia bagi tanaman. Oleh karena itu, kandungan fosfor pada trichokompos dalam penelitian ini menunjukkan kualitas kompos yang baik dan berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman.

89 F. Kandungan Kalium Trichokompos Diperkaya Nanopartikel ZnO

55 Berdasarkan Tabel 7 dan Lampiran 2, kandungan kalium trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada seluruh perlakuan berkisar antara 1,84–2,19%. Secara umum, kandungan kalium menunjukkan variasi antarperlakuan yang relatif kecil, dengan nilai terendah terdapat pada P0, diikuti P1 dan P2, sedangkan nilai

112 tertinggi diperoleh pada P3. Berdasarkan SNI 19-7030-2004, kandungan kalium kompos yang memenuhi standar mutu berada pada minimum sebesar 0,20%. Dengan demikian, kandungan kalium trichokompos yang dihasilkan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 19-7030-2004. Berdasarkan hasil analisis statistik, kandungan kalium P0 tidak berbeda nyata dengan P1 ($P>0,05$), demikian pula P2 tidak berbeda nyata dengan P3 ($P>0,05$), sedangkan kelompok P0 dan P1 berbeda nyata ($P<0,05$) dengan kelompok P2 dan P3.

142
100 Tingginya kandungan kalium pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa trichokompos yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Kalium merupakan unsur hara makro esensial yang berperan dalam mengatur keseimbangan air dalam sel, aktivasi berbagai enzim, proses fotosintesis, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan. Kandungan kalium dalam kompos umumnya dipengaruhi oleh komposisi bahan baku dan proses pengomposan yang berlangsung selama pengomposan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan pendapat Rangkuti *et al.* (2017), yang menyatakan bahwa selama proses pengomposan terjadi penguraian bahan organik yang menyebabkan unsur hara mineral, termasuk kalium, menjadi lebih tersedia dalam kompos. Menurut Muhammad *et al.* (2017), kalium merupakan unsur yang relatif mudah terlepas dari jaringan bahan organik selama proses pengomposan sehingga kandungannya pada kompos matang umumnya cukup tinggi. Selain itu, Maula (2023), menjelaskan bahwa kompos yang memiliki kandungan kalium sesuai standar mutu menunjukkan bahwa proses penguraian bahan organik berlangsung dengan baik dan unsur hara yang terkandung dalam bahan baku dapat dipertahankan. Oleh karena itu, kandungan kalium pada trichokompos dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kompos yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan berpotensi mendukung pertumbuhan serta produktivitas tanaman.

4.1.2 Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai Rawit

Efektivitas trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dalam mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit dievaluasi melalui beberapa parameter pengamatan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, lebar daun, diameter batang, kerapatan stomata, bobot segar buah, dan susut bobot buah cabai rawit.

A. Tinggi Tanaman Cabai Rawit

Pada parameter pengamatan tinggi tanaman cabai rawit menunjukkan pengaruh terhadap pemberian aplikasi dosis trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO. Berikut ini disajikan pada Tabel 8 dan Lampiran 3.

Tabel 7. Rata-Rata Tinggi Tanaman Cabai Rawit

Perlakuan	Rata-Rata Tinggi Tanaman (cm)				
	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
P0	6,16±0,87 ^a	8,25±0,75 ^a	10,33±1,60 ^a	12,83±2,22 ^a	16,83±2,31 ^a
P1	7,50±0,61 ^b	9,30±0,57 ^b	13,10±0,89 ^b	16,70±1,20 ^b	26,20±1,78 ^b
P2	7,07±0,78 ^b	8,85±0,98 ^{ab}	12,71±1,21 ^b	18,42±1,23 ^{bc}	29,71±1,60 ^c
P3	7,25±0,61 ^b	9,66±0,75 ^b	13,75±0,88 ^b	19,75±1,33 ^c	33,83±0,40 ^d

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

Berdasarkan Tabel 8 dan Lampiran 3, tinggi tanaman cabai rawit menunjukkan respons yang berbeda pada setiap waktu pengamatan. Pada umur 7 HST, tanaman yang diberi trichokompos dengan penambahan nanopartikel ZnO (P1, P2, dan P3) memiliki tinggi tanaman yang berbeda nyata dibandingkan P0, sedangkan antarperlakuan P1, P2, dan P3 belum menunjukkan perbedaan nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa pada fase awal pertumbuhan, penambahan nanopartikel ZnO belum memberikan respons yang berbeda antar dosis. Pada umur 14 HST, perbedaan nyata terlihat antara P0 dengan P1 dan P3, sedangkan P2 tidak berbeda nyata dengan P0 maupun lainnya. Selanjutnya, pada umur 21

26 HST seluruh perlakuan tidak menunjukkan perbedaan nyata, yang mengindikasikan bahwa tanaman masih berada pada fase pertumbuhan vegetatif aktif sehingga respons terhadap perlakuan belum tampak secara jelas. Pada umur 28 HST, pola yang relatif sama kembali terlihat, sedangkan pada umur 35 HST seluruh perlakuan menunjukkan perbedaan nyata dengan urutan $P3 > P2 > P1 > P0$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap perlakuan semakin nyata pada fase pertumbuhan lanjut.

Apabila ditinjau berdasarkan perkembangan tinggi tanaman selama masa pengamatan, seluruh perlakuan mengalami peningkatan tinggi tanaman secara bertahap dari 7 hingga 35 HST. Namun, besarnya pertambahan tinggi berbeda pada setiap perlakuan. Perlakuan $P0$ mengalami peningkatan tinggi sekitar 10,67 cm, $P1$ sebesar 18,69 cm, $P2$ sebesar 22,64 cm, dan $P3$ sebesar 26,58 cm. Hal ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan tanaman cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya dosis nanopartikel ZnO yang diberikan melalui trichokompos.

Secara umum, pertumbuhan tinggi tanaman pada seluruh perlakuan juga didukung oleh penggunaan trichokompos yang mengandung *Trichoderma*. Cendawan ini berperan mempercepat pengomposan bahan organik sehingga meningkatkan mineralisasi nitrogen (N), membantu melarutkan fosfor (P), serta meningkatkan ketersediaan kalium (K). Ketersediaan unsur-unsur tersebut mendukung pembentukan protein, pembelahan dan pemanjangan sel batang, serta perkembangan jaringan vegetatif. Selain itu, *Trichoderma* diketahui mampu menghasilkan senyawa pemacu tumbuh, seperti auksin, yang berperan dalam merangsang pemanjangan sel sehingga pertumbuhan tinggi tanaman menjadi lebih optimal. Temuan ini didukung oleh penelitian Dungga *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan penyerapan unsur hara dan produksi zat pengatur tumbuh, serta penelitian Milyana *et al.* (2019), yang menunjukkan bahwa metabolit *Trichoderma* berperan dalam menstimulasi pertumbuhan tanaman.

132 Perbedaan tinggi tanaman antarperlakuan diduga berkaitan dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos. Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim yang terlibat dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, dan biosintesis hormon auksin. Di dalam tanah, Zn juga berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman. Dalam

bentuk nanopartikel, ZnO memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar sehingga pelepasan ion Zn menjadi lebih efisien dan lebih mudah diserap oleh akar tanaman. Kondisi tersebut mendukung pembelahan dan pemanjangan sel batang sehingga menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih baik pada perlakuan dengan dosis nanopartikel ZnO yang lebih tinggi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Adil *et al.* (2022), menjelaskan bahwa Zn berperan penting dalam aktivitas enzim dan sintesis auksin, serta penelitian Nurhidayati *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peningkatan efisiensi penyerapan Zn dan aktivitas fisiologis tanaman.

B. Lebar Daun Tanaman Cabai Rawit

Pada parameter pengamatan lebar daun tanaman cabai rawit menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap pengaplikasian trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO. Berikut ini disajikan data pada Tabel 9 dan Lampiran 3.

Tabel 8. Rata-Rata Lebar Daun Tanaman Cabai Rawit

Perlakuan	Rata-Rata lebar Daun (cm)				
	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
P0	1,43±0,23 ^a	1,90±0,24 ^a	2,63±0,65 ^a	3,08±0,78 ^a	3,76±0,70 ^a
P1	1,72±0,08 ^b	2,48±0,22 ^b	3,46±0,26 ^b	3,96±0,25 ^b	4,78±0,47 ^b
P2	1,78±0,20 ^b	2,62±0,26 ^b	3,60±0,29 ^b	4,31±0,34 ^{bc}	5,31±0,23 ^{bc}
P3	1,75±0,24 ^b	2,68±0,26 ^b	3,90±0,26 ^b	4,65±0,23 ^c	5,68±0,27 ^c

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

Berdasarkan Tabel 9 dan Lampiran 3, lebar daun tanaman cabai rawit menunjukkan respons yang berbeda antarperlakuan selama periode pengamatan. Pada umur 7 HST, tanaman yang diberi trichokompos dengan penambahan

nanopartikel ZnO (P1, P2, dan P3) memiliki lebar daun yang berbeda nyata dibandingkan P0, sedangkan antarperlakuan P1, P2, dan P3 belum menunjukkan perbedaan nyata. Pola yang sama masih terlihat pada umur 14 HST dan 21 HST, di mana P0 berbeda nyata dengan seluruh perlakuan yang mendapat penambahan nanopartikel ZnO, sedangkan P1, P2, dan P3 menunjukkan respons yang relatif seragam. Memasuki umur 28 HST, perbedaan antarperlakuan mulai terlihat lebih jelas. P3 berbeda nyata dengan P0, P1, dan P2, sedangkan P2 tidak berbeda nyata dengan P1 maupun P3. Pada umur 35 HST, P3 menghasilkan lebar daun tertinggi dan berbeda nyata dengan P0 dan P1, tetapi tidak berbeda nyata dengan P2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap penambahan nanopartikel ZnO semakin nyata pada fase pertumbuhan yang lebih lanjut.

Apabila ditinjau berdasarkan perkembangan lebar daun selama masa pengamatan, seluruh perlakuan mengalami peningkatan secara bertahap dari 7 hingga 35 HST. P0 mengalami peningkatan lebar daun sekitar 2,33 cm, sedangkan P1, P2, dan P3 masing-masing meningkat sekitar 3,06 cm, 3,53 cm, dan 3,93 cm. Besarnya pertambahan lebar daun tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis nanopartikel ZnO diikuti oleh peningkatan laju perkembangan daun. Daun merupakan organ utama fotosintesis sehingga peningkatan luas permukaan daun memungkinkan penyerapan cahaya matahari yang lebih optimal dan meningkatkan kemampuan tanaman dalam menghasilkan fotosintat untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan selanjutnya.

Secara umum, perkembangan lebar daun pada seluruh perlakuan didukung oleh penggunaan trichokompos yang mengandung *Trichoderma*. Cendawan ini berperan mempercepat pengomposan bahan organik sehingga meningkatkan ketersediaan nitrogen (N), membantu melarutkan fosfor (P), serta meningkatkan ketersediaan kalium (K). Nitrogen merupakan komponen utama pembentuk

klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis, sedangkan fosfor berfungsi dalam pembentukan energi (ATP) dan kalium berperan dalam aktivasi enzim serta pengaturan buka-tutup stomata. Ketersediaan unsur hara tersebut mendukung pembentukan klorofil dan meningkatkan luas bidang fotosintesis, sehingga perkembangan lebar daun menjadi lebih optimal. Hasil ini didukung oleh penelitian Harum Sitepu (2023), menyatakan bahwa *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dan pertumbuhan tanaman, serta Chatri & Nadira (2024), yang melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan kelarutan fosfor sehingga meningkatkan serapan hara oleh tanaman.

Perbedaan respons lebar daun antarperlakuan diduga berkaitan dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos. Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim yang berperan dalam sintesis klorofil, metabolisme karbohidrat, dan sintesis protein. Di dalam tanah, Zn membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara dan menjaga aktivitas mikroorganisme tanah, sedangkan pada tanaman Zn mendukung pembentukan klorofil, meningkatkan aktivitas fotosintesis, serta merangsang pembelahan dan pembesaran sel daun. Dalam bentuk nanopartikel, ZnO memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga pelepasan ion Zn menjadi lebih efisien dan lebih mudah diserap oleh tanaman. Kondisi tersebut diduga menyebabkan perlakuan dengan dosis nanopartikel ZnO yang lebih tinggi menghasilkan perkembangan lebar daun yang lebih baik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Adil *et al.* (2022), menjelaskan bahwa Zn berperan penting dalam sintesis klorofil dan aktivitas fotosintesis, serta Haydar *et al.* (2025), menjelaskan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan luas daun dan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peningkatan efisiensi penyerapan Zn.

C. Diameter Batang Tanaman Cabai Rawit

Pada parameter pengamatan diameter batang tanaman cabai rawit menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap pengaplikasian trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO. Berikut ini disajikan data pada Tabel 10 dan Lampiran 3.

Tabel 9. Rata-Rata Diameter Batang Tanaman Cabai Rawit

Perlakuan	Rata-Rata Diameter Batang (mm)				
	7 HST	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST
P0	1,45±0,21 ^a	2,01±0,23 ^a	2,46±0,42 ^a	2,96±0,54 ^a	3,86±0,81 ^a
P1	1,88±0,19 ^b	2,32±0,14 ^b	3,36±0,57 ^b	4,14±0,44 ^b	4,96±0,20 ^b
P2	1,81±0,10 ^b	2,44±0,23 ^b	3,41±0,33 ^b	4,78±0,23 ^c	5,61±0,25 ^c
P3	1,90±0,12 ^b	2,51±0,19 ^b	3,73±0,28 ^b	5,03±0,36 ^c	6,23±0,19 ^d

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata ± standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

Berdasarkan data pada Tabel 10 dan Lampiran 3, diameter batang tanaman cabai rawit menunjukkan respons yang berbeda antarperlakuan selama periode pengamatan. Pada umur 7, 14, dan 21 HST, perlakuan P0 berbeda nyata dengan seluruh perlakuan yang mendapat penambahan nanopartikel ZnO (P1, P2, dan P3), sedangkan antarperlakuan P1, P2, dan P3 belum menunjukkan perbedaan nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa pada fase awal pertumbuhan, penambahan nanopartikel ZnO telah memberikan respons yang lebih baik dibandingkan trichokompos tanpa nanopartikel ZnO, meskipun peningkatan dosis ZnO belum menghasilkan perbedaan yang nyata. Memasuki umur 28 HST hingga 35 HST, seluruh perlakuan menunjukkan perbedaan nyata dengan urutan $P3 > P2 > P1 > P0$. Pola tersebut menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap peningkatan dosis nanopartikel ZnO semakin jelas seiring bertambahnya umur tanaman.

Apabila ditinjau berdasarkan perkembangan diameter batang selama masa pengamatan, seluruh perlakuan mengalami peningkatan secara bertahap dari 7 hingga 35 HST. Perlakuan P0 mengalami pertambahan diameter batang sekitar 2,41 mm, sedangkan P1 meningkat sekitar 3,08 mm, P2 sekitar 3,80 mm, dan P3 sekitar 4,33 mm. Perbedaan pertambahan diameter tersebut menunjukkan bahwa laju pertumbuhan batang cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya dosis nanopartikel ZnO yang diberikan. Diameter batang yang lebih besar mencerminkan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik karena berkaitan dengan perkembangan jaringan penyokong dan jaringan pengangkut yang berfungsi mendistribusikan air, unsur hara, dan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tanaman.

Secara umum, perkembangan diameter batang pada seluruh perlakuan juga didukung oleh penggunaan trichokompos yang mengandung *Trichoderma* sp. Cendawan ini berperan dalam mempercepat pengomposan bahan organik sehingga meningkatkan ketersediaan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nitrogen berperan dalam sintesis protein dan pembentukan jaringan baru, fosfor mendukung pembelahan dan diferensiasi sel, sedangkan kalium berperan dalam aktivasi enzim dan pengaturan tekanan osmotik sel. Ketersediaan unsur hara tersebut mendukung aktivitas kambium dalam pembentukan jaringan sekunder, sehingga proses pembentukan xilem dan floem serta lignifikasi dinding sel berlangsung lebih optimal. Hal ini menyebabkan batang menjadi lebih tebal dan kuat. Temuan ini didukung oleh Prastya *et al.* (2019), yang melaporkan bahwa *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui peningkatan serapan hara dan stimulasi perkembangan sistem perakaran, serta Dan *et al.* (2018), yang menjelaskan bahwa metabolit *Trichoderma* sp. dapat meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman dan pembentukan jaringan.

Perbedaan respons diameter batang antarperlakuan diduga berkaitan dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos. Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim yang terlibat dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, serta proses pembelahan dan diferensiasi sel. Zn juga berperan dalam pembentukan dinding sel dan proses lignifikasi yang berkontribusi terhadap kekuatan mekanik batang. Di dalam tanah, Zn membantu meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman, sedangkan dalam bentuk nanopartikel ZnO memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga pelepasan ion Zn lebih cepat dan mudah diserap oleh akar tanaman. Kondisi ini memungkinkan aktivitas pembentukan jaringan kambium dan jaringan vaskular berlangsung lebih optimal, sehingga diameter batang meningkat seiring bertambahnya dosis nanopartikel ZnO. Hal ini sejalan dengan Dewi Nazari *et al.* (2020), menyatakan bahwa Zn berperan penting dalam aktivitas enzim dan pembentukan jaringan tanaman, serta Adil *et al.* (2022), menjelaskan bahwa Zn sangat berperan dalam metabolisme sel dan pembentukan struktur tanaman.

Selain itu, penelitian Alghuthaymi *et al.* (2022), menjelaskan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peningkatan efisiensi penyerapan Zn, aktivitas enzimatik, serta perbaikan fisiologi tanaman, yang tercermin pada peningkatan diameter batang.

D. Kerapatan Stomata Daun Tanaman Cabai Rawit

Pada parameter pengamatan kerapatan stomata daun tanaman cabai rawit menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap pengaplikasian trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO pada masa vegetatif. Berikut ini disajikan data pada Tabel 11 dan Lampiran 4.

Tabel 10. Rata-Rata Kerapatan Stomata Daun Tanaman Cabai Rawit

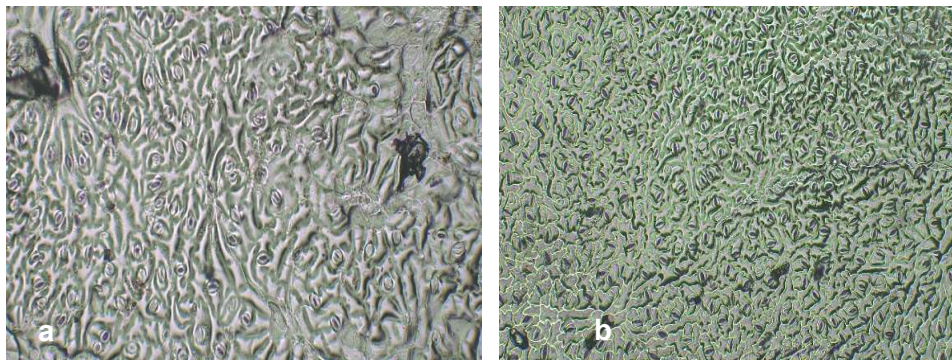
Perlakuan	Rata-Rata Kerapatan Stomata Daun (mm^{-2})
-----------	---

P0	52,46±6,95 ^a
P1	57,64±11,32 ^{ab}
P2	63,67±6,05 ^{ab}
P3	70,96±16,63 ^b

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

Berikut perbandingan gambar stomata daun P0 (a) dan P3 (b) yang telah diamati menggunakan mikroskop:



Gambar 4. Stomata Daun Tanaman Cabai Rawit

un tanaman

cabai rawit menunjukkan variasi antarperlakuan. Nilai kerapatan stomata cenderung meningkat seiring dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO, dengan nilai terendah diperoleh pada P0 dan tertinggi pada P3. Berdasarkan hasil analisis statistik, P0 berbeda nyata dengan P3 ($P < 0,05$), sedangkan P1 dan P2 tidak berbeda nyata dengan P0 maupun P3 ($P > 0,05$). Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis nanopartikel ZnO hingga 300 mg memberikan respons yang lebih nyata terhadap pembentukan stomata dibandingkan trichokompos tanpa penambahan nanopartikel ZnO.

Peningkatan kerapatan stomata pada beberapa perlakuan diduga berkaitan dengan peran unsur Zn dalam mendukung pertumbuhan dan diferensiasi sel epidermis daun, termasuk pembentukan stomata. Menurut Dewi Nazari *et al.* (2020), seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai aktivator berbagai enzim serta berperan dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, dan pembentukan hormon pertumbuhan yang memengaruhi perkembangan jaringan tanaman. Ketersediaan Zn yang memadai memungkinkan

proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan daun berlangsung lebih optimal sehingga dapat memengaruhi karakteristik anatomi daun, termasuk kerapatan stomata.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Haydar *et al.* (2025), yang melaporkan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas fisiologis tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur Zn. Ketersediaan Zn yang cukup dapat mendukung pembentukan jaringan daun yang lebih berkembang sehingga berpengaruh terhadap karakteristik stomata. Selain itu, Nurhidayati *et al.* (2024), menyatakan bahwa pemberian nanopartikel ZnO dapat meningkatkan kandungan klorofil, laju fotosintesis, dan karakter anatomi daun tanaman, termasuk perkembangan stomata yang lebih baik dibandingkan tanaman tanpa perlakuan ZnO.

Perbedaan kerapatan stomata antar perlakuan juga diduga berkaitan dengan kondisi nutrisi tanaman yang lebih baik akibat ketersediaan unsur **hara makro dan mikro yang berasal dari trichokompos**. Prastya *et al.* (2019), stomata berperan penting dalam mengatur pertukaran gas dan transpirasi yang mendukung proses fotosintesis. Kerapatan stomata yang lebih tinggi dapat meningkatkan potensi masuknya CO₂ ke dalam daun untuk proses fotosintesis selama kondisi lingkungan mendukung. Oleh karena itu, ketersediaan unsur hara yang cukup, baik dari trichokompos maupun nanopartikel ZnO, diduga berkontribusi terhadap perkembangan stomata yang lebih baik dan mendukung aktivitas fisiologis tanaman cabai rawit.

E. Bobot Buah Segar Cabai Rawit

Pada parameter pengamatan bobot buah segar cabai rawit menunjukkan bahwa berpengaruh terhadap pengaplikasian trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO. Berikut ini disajikan data pada Tabel 12 dan Lampiran 5.

Tabel 11. Bobot Buah Segar Cabai Rawit

Perlakuan	Bobot Buah Segar Cabai Rawit
P0	2,50±3,50 ^a
P1	27,50±8,89 ^b
P2	29,17±3,31 ^b
P3	43,33±20,23 ^c

Keterangan:

- 1) Data disajikan sebagai rata-rata $\pm$ standar deviasi (SD) dari 6 ulangan.
- 2) a,b, = Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan nyata ($P < 0,05$).
- 3) P0 (0 mg nanopartikel ZnO), P1 (100 mg nanopartikel ZnO), P2 (200 mg nanopartikel ZnO), P3 (300 mg nanopartikel ZnO).

Berdasarkan Tabel 12 dan Lampiran 5, bobot buah segar cabai rawit menunjukkan variasi antarperlakuan. Nilai bobot buah segar cenderung meningkat seiring dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos. Bobot buah segar terendah diperoleh pada perlakuan P0, sedangkan bobot buah segar tertinggi diperoleh pada perlakuan P3. Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan uji lanjut Duncan, perlakuan P0 berbeda nyata dengan P1, P2, dan P3 ($P < 0,05$). Perlakuan P1 tidak berbeda nyata dengan P2 ($P > 0,05$), namun berbeda nyata dengan P3 ($P < 0,05$). Demikian pula P2 berbeda nyata dengan P3 ($P < 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO hingga dosis 300 mg pada trichokompos memberikan pengaruh paling efektif dalam meningkatkan bobot buah segar cabai rawit dibandingkan perlakuan lainnya.

Peningkatan kerapatan stomata pada beberapa perlakuan diduga berkaitan dengan peran unsur Zn dalam mendukung pertumbuhan dan diferensiasi sel epidermis daun, termasuk pembentukan stomata. Menurut Thathsarani (2021), seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai aktivator berbagai enzim serta berperan dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, dan pembentukan hormon pertumbuhan yang memengaruhi perkembangan jaringan tanaman. Ketersediaan Zn yang memadai memungkinkan proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan daun berlangsung lebih optimal sehingga dapat memengaruhi karakteristik anatomi daun, termasuk kerapatan stomata.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Haydar *et al.* (2025), yang melaporkan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan pertumbuhan dan aktivitas fisiologis tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur Zn. Ketersediaan Zn yang cukup dapat mendukung pembentukan jaringan daun yang lebih berkembang sehingga berpengaruh terhadap karakteristik stomata. Selain itu, Nurhidayati *et al.* (2024), menyatakan bahwa pemberian nanopartikel ZnO dapat meningkatkan kandungan klorofil, laju fotosintesis, dan karakter anatomi

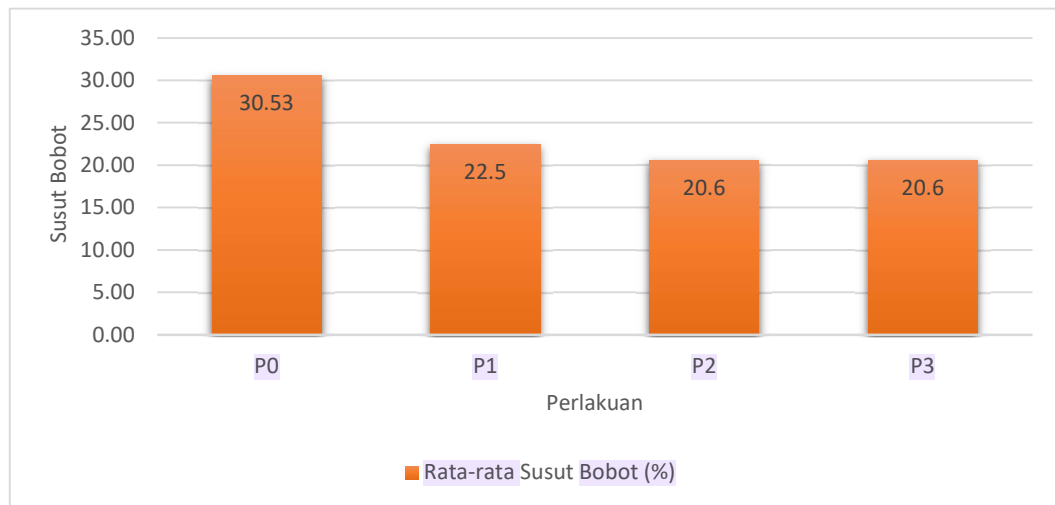
daun tanaman, termasuk perkembangan stomata yang lebih baik dibandingkan tanaman tanpa perlakuan ZnO.

Perbedaan kerapatan stomata antar perlakuan juga diduga berkaitan dengan kondisi nutrisi tanaman yang lebih baik akibat ketersediaan unsur **hara makro dan mikro yang berasal dari trichokompos**. Menurut Maula (2023), stomata berperan penting dalam mengatur pertukaran gas dan transpirasi yang mendukung proses fotosintesis. Kerapatan stomata yang lebih tinggi dapat meningkatkan potensi masuknya CO₂ ke dalam daun untuk proses fotosintesis selama kondisi lingkungan mendukung. Oleh karena itu, ketersediaan unsur hara yang cukup, baik dari trichokompos maupun nanopartikel ZnO, diduga berkontribusi terhadap perkembangan stomata yang lebih baik dan mendukung aktivitas fisiologis tanaman cabai rawit.

F. Susut Bobot Buah Cabai Rawit

Susut bobot merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk menilai daya simpan buah selama penyimpanan. Susut bobot mencerminkan kemampuan buah dalam mempertahankan kandungan air dan kualitas fisiknya selama penyimpanan. Nilai susut bobot yang rendah menunjukkan laju kehilangan air dan respirasi yang lebih kecil, sehingga buah memiliki daya simpan yang lebih baik. Pengamatan dilakukan setelah buah cabai rawit disimpan selama 3 hari pada suhu ruang, kemudian dihitung persentase susut bobot berdasarkan perbedaan bobot awal sebelum penyimpanan dan bobot akhir setelah penyimpanan. Data

hasil pengamatan susut bobot buah cabai rawit pada masing-masing perlakuan



Gambar 5. Rata-Rata Susut Bobot Buah Cabai Rawit

disajikan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, rata-rata susut bobot buah cabai rawit menunjukkan variasi antar perlakuan setelah penyimpanan. Nilai susut bobot tertinggi diperoleh pada perlakuan P0 sebesar 30,53%, diikuti P1 sebesar 22,50%, sedangkan nilai susut bobot terendah diperoleh pada perlakuan P2 dan P3, masing-masing sebesar 20,60%. Secara umum, persentase susut bobot cenderung menurun seiring dengan penambahan dosis nanopartikel ZnO pada trichokompos. Pola tersebut menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO mampu mempertahankan kualitas buah selama penyimpanan, sehingga kehilangan bobot akibat proses respirasi dan transpirasi menjadi lebih rendah dibandingkan perlakuan tanpa penambahan nanopartikel ZnO. Semakin rendah nilai susut bobot, maka semakin baik susut bobot buah cabai rawit.

Secara umum, rendahnya susut bobot pada perlakuan yang diberi trichokompos diduga berkaitan dengan peran *Trichoderma* sp. dalam meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur hara. *Trichoderma* sp. mempercepat proses pengomposan bahan organik sehingga unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) menjadi lebih

mudah tersedia bagi tanaman. Nitrogen berperan dalam pembentukan jaringan tanaman, fosfor mendukung perkembangan organ generatif, sedangkan kalium berfungsi mengatur keseimbangan air, tekanan turgor sel, serta translokasi hasil fotosintesis. Kecukupan unsur hara tersebut menghasilkan buah dengan struktur jaringan yang lebih baik, sehingga kehilangan air selama penyimpanan dapat ditekan dan susut bobot buah menjadi lebih lama. Temuan ini didukung oleh Chattri & Nadira (2024), menyatakan bahwa *Trichoderma* sp. mampu meningkatkan serapan unsur hara dan efisiensi pertumbuhan tanaman, serta Nurhidayati *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa metabolit *Trichoderma* sp. berperan dalam meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman sehingga menghasilkan produk panen dengan kualitas yang lebih baik.

Perbedaan susut bobot antar perlakuan juga diduga dipengaruhi oleh penambahan nanopartikel ZnO pada trichokompos. Seng (Zn) merupakan unsur hara mikro esensial yang berfungsi sebagai kofaktor berbagai enzim yang berperan dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, pembentukan klorofil, serta menjaga stabilitas membran sel. Dalam bentuk nanopartikel ZnO, luas permukaan yang lebih besar memungkinkan pelepasan ion Zn berlangsung lebih efisien sehingga lebih mudah diserap oleh tanaman. Ketersediaan Zn yang cukup selama pertumbuhan diduga menghasilkan jaringan buah yang lebih kompak, memperkuat dinding sel, serta membantu mempertahankan integritas membran sel selama penyimpanan. Kondisi tersebut menyebabkan laju respirasi dan transpirasi berlangsung lebih lambat sehingga kehilangan air dan susut bobot buah dapat diminimalkan. Hal ini sejalan dengan Adil *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa Zn berperan penting dalam menjaga fungsi membran sel dan aktivitas enzim tanaman, serta Ramírez-Valdespino & Orrantia-Borunda (2021), yang menjelaskan bahwa kecukupan Zn berkontribusi terhadap pembentukan struktur jaringan tanaman yang lebih baik dan peningkatan kualitas hasil panen.

Selain itu, penelitian Haydar *et al.* (2025), melaporkan bahwa aplikasi nanopartikel ZnO mampu meningkatkan efisiensi penyerapan Zn dan memperbaiki proses fisiologis tanaman sehingga menghasilkan produk hortikultura dengan kualitas pascapanen yang lebih baik. Penelitian Alghuthaymi *et al.* (2022), juga menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO dapat meningkatkan kualitas hasil panen melalui peningkatan aktivitas metabolisme dan efisiensi

fotosintesis, sedangkan Nurhidayati *et al.* (2024), menyatakan bahwa pemberian nanopartikel ZnO mampu meningkatkan kualitas fisiologis tanaman sehingga berpengaruh terhadap mutu dan susut bobot hasil panen. Hasil tersebut mendukung temuan pada penelitian ini bahwa pemberian nanopartikel ZnO pada trichokompos mampu menekan susut bobot buah cabai rawit selama penyimpanan, terutama pada perlakuan P2 dan P3.

4.2 Analisis Kelayakan Finansial Usaha

Analisis kelayakan usaha dilakukan untuk mengetahui potensi finansial usaha trichokompos berdasarkan perlakuan nanopartikel ZnO yang digunakan. Analisis kelayakan finansial usaha menggunakan Analisis kelayakan finansial usaha meliputi biaya total produksi, penerimaan, pendapatan, *Break Even Point* (BEP), *R/C Ratio*, *Return on Investment* (ROI) dan *Payback Period*. Analisis finansial penting dilakukan karena dapat memberikan gambaran mengenai potensi keuntungan, tingkat efisiensi biaya, serta kelayakan suatu usaha untuk dijalankan.

Perhitungan biaya produksi dilakukan untuk mengetahui biaya tetap dan biaya variabel untuk 1 siklus:

Tabel 12. Biaya Tetap

No	Komponen	unit	Nilai Investasi (Rp)	Umur Ekonomis (Tahun)	Nilai Residu (10%)	Penyusutan/siklus (Rp)
1.	Drum plastik	4 pcs	140.000	5	14.000	1.482
2.	Sekop	4 pcs	340.000	5	34.000	3.600
3.	Cangkul	4 pcs	360.000	5	36.000	3.812
4.	Garu	4 pcs	320.000	5	32.000	3.388
5.	Terpal (4×6 cm)	2 pcs	300.000	3	30.000	5.294
6.	Gembor plastik	2 pcs	40.000	3	4.000	706
7.	Mesin penggiling	1 pcs	6.500.000	5	650.000	68.824
8.	Timbangan digital	1 pcs	400.000	5	40.000	4.235
9.	Mesin (mixer) kompos	1 pcs	8.000.000	5	800.000	84.706
10.	Selang air	1 roll	120.000	3	12.000	2.118
11.	Arco	2 pcs	750.000	5	75.000	7.941
12.	Mesin sealer	1 pcs	350.000	5	35.000	3.70
13.	Sewa tempat produksi		2.500.000	-	-	147.059
Total			20.120.000		1.762.000	333.169

Tabel 13. Biaya Variabel

No.	Komponen	Volume	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1.	Kotoran kambing	8000 kg	1.000	8.000.000
2.	Arang sekam	400 kg	2.500	1.000.000
3.	Dedak halus	200 kg	1.500	300.000
4.	EM4	4 liter	25.000	100.000
5.	Molasses	4 liter	7.500	30.000
6.	Bubuk isolat <i>Trichoderma</i> sp.	4 bungkus	10.000	40.000
7.	Serbuk nanopartikel ZnO	240 gram	65	15.600
8.	Kemasan plastik ukuran 5kg	760 pcs	2.500	1.900.000
9.	label produk	760 pcs	1.000	760.000
10.	Tenaga kerja harian	26 HOK	60.000	1.560.000
11.	Bahan bakar mesin & listrik (air bersih)	1 siklus	115.000	115.000
Total				13.820.600

Tabel 14. Total Biaya Produksi

No	Komponen Biaya	Jumlah Biaya (Rp)
1	Total Biaya Tetap (<i>Fixed Cost</i>)	333.169
2	Total Biaya Variabel (<i>Variable Cost</i>)	13.820.600
Total Biaya Produksi (<i>Total Cost</i>)		14.153.769

Tabel 15. Total Penerimaan

No	Komponen	Jumlah (Rp)
1	Total produksi trichokompos	3.800 ton
2	Berat per kemasan	5 kg/pack
3	Jumlah kemasan yang dihasilkan	760 pack
4	Harga jual per kemasan	25.000
5	Total penerimaan (<i>Revenue</i>)	19.000.000

Tabel 16. Analisis Finansial Usaha

No	Komponen	Hasil
1	Penerimaan (Rp)	19.000.000
2	Pendapatan (Rp)	4.842.529
3	BEP Produksi	49,43 kemasan
4	BEP Harga (Rp)	18.628
5	R/C Ratio	1,34
6	ROI	34%
7	<i>Payback Period</i> (PP)	4,15 siklus

Berdasarkan hasil analisis finansial, usaha trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO memperoleh penerimaan sebesar Rp 19.000.000 dalam satu siklus produksi yang berasal dari hasil penjualan seluruh produk. Dari penerimaan tersebut diperoleh pendapatan sebesar Rp 4.842.529, yang menunjukkan bahwa total pendapatan lebih besar dibandingkan total biaya produksi sehingga usaha menghasilkan laba.

Nilai *Break Even Point* (BEP) produksi sebesar 49,43 kemasan menunjukkan bahwa usaha akan mencapai titik impas apabila berhasil menjual minimal sekitar 50 kemasan. Sementara itu, BEP harga sebesar Rp18.628 menunjukkan bahwa harga jual produk tidak boleh lebih rendah dari nilai tersebut agar seluruh biaya produksi dapat tertutupi.

Nilai R/C Ratio sebesar 1,34 menunjukkan bahwa setiap pengeluaran biaya sebesar Rp1,00 mampu menghasilkan penerimaan sebesar Rp1,34. Karena nilai R/C Ratio lebih dari 1, maka usaha dinyatakan layak untuk dijalankan Alevia & Arvianti, 2023). Selain itu, nilai *Return on Investment* (ROI) sebesar 34% menunjukkan bahwa usaha mampu memberikan tingkat pengembalian modal yang cukup baik terhadap biaya yang diinvestasikan.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa *Payback Period* (PP) sebesar 4,15 siklus, yang berarti modal investasi diperkirakan dapat kembali setelah sekitar 4 siklus produksi. Dengan asumsi satu siklus produksi berlangsung selama dua minggu, maka investasi dapat kembali dalam waktu sekitar dua bulan. Secara keseluruhan, hasil analisis finansial menunjukkan bahwa usaha trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO layak untuk dikembangkan karena memberikan keuntungan, mampu menutup biaya produksi, serta memiliki waktu pengembalian modal yang relatif singkat.

4.2.1 Business Plan

Business plan merupakan rancangan strategis yang menggambarkan perencanaan dan pengembangan suatu usaha secara sistematis, mencakup aspek model bisnis, pemasaran, operasional, serta keuangan. Penyusunan business plan bertujuan untuk memberikan arah yang jelas dalam menjalankan usaha serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan agar bisnis dapat berjalan secara efektif dan berkelanjutan. Penyusunan *business plan* dilakukan menggunakan pendekatan *Business Model Canvas* (BMC) dan analisis *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats* (SWOT).

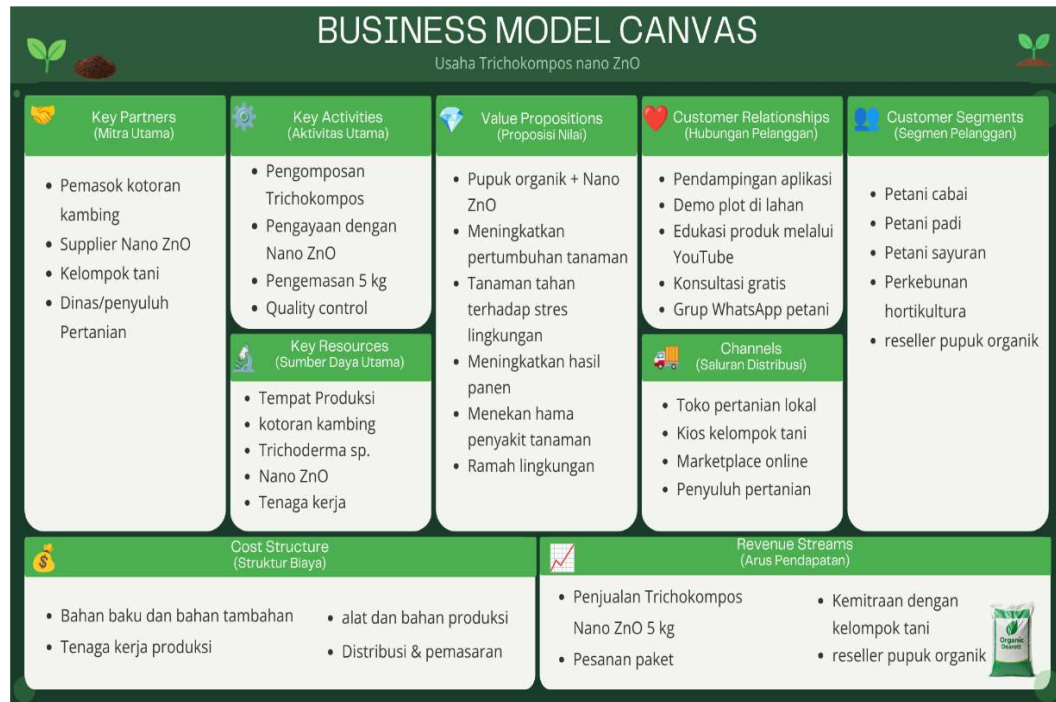
39 *Business Model Canvas* digunakan untuk memetakan elemen utama dalam suatu bisnis, meliputi nilai yang ditawarkan, target konsumen, aktivitas utama, sumber daya, hingga struktur biaya. Sementara itu, analisis *SWOT* digunakan untuk mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang memengaruhi usaha sebagai dasar dalam menentukan strategi pengembangan dan pemasaran. Penerapan kedua pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai potensi usaha, strategi pemasaran yang tepat, serta langkah pengembangan bisnis agar memiliki daya saing dan keberlanjutan di masa mendatang.

A. *Business Model Canvas* (BMC)

6 *Business Model Canvas* (BMC) merupakan alat yang digunakan untuk menggambarkan model bisnis secara komprehensif melalui sembilan elemen yang saling berkaitan, yaitu *customer segments*, *value propositions*, *channels*, *customer relationships*, *revenue streams*, *key resources*, *key activities*, *key partners*, dan *cost structure*. Menurut Efendi (2016), *Business Model Canvas* membantu pelaku usaha memahami bagaimana suatu bisnis menciptakan, menyampaikan, dan memperoleh nilai (*value*) kepada pelanggan. Kerangka ini telah banyak digunakan sebagai alat untuk merancang strategi bisnis karena mampu memberikan gambaran yang sederhana namun menyeluruh mengenai suatu usaha.

Business Model Canvas memiliki beberapa manfaat, antara lain mempermudah penyusunan strategi bisnis, mengidentifikasi peluang pengembangan usaha, mengevaluasi efisiensi operasional, serta membantu pengambilan keputusan dalam aspek pemasaran maupun keuangan. Penelitian Amaliyanti & Hastari (2018), menunjukkan bahwa *Business Model Canvas* mampu mengidentifikasi peluang pengembangan usaha dan menjadi dasar dalam penyusunan strategi bisnis yang lebih efektif melalui integrasi dengan analisis *SWOT*.

Berdasarkan hasil analisis kelayakan usaha Trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, model bisnis disusun menggunakan pendekatan *Business Model Canvas*. Model ini menggambarkan hubungan antara proses produksi, pemasaran, pelanggan, hingga sumber pendapatan sehingga usaha memiliki arah pengembangan yang jelas dan berkelanjutan.



Gambar 6. *Business Model Canvas* Usaha Trichokompos Nanopartikel ZnO

1. *Key Partners* (Mitra Utama)

Mitra utama terdiri atas pemasok kotoran kambing, supplier nanopartikel ZnO, kelompok tani, serta dinas atau penyuluh pertanian. Keberadaan mitra tersebut berperan dalam menjamin kontinuitas bahan baku, memperluas jaringan pemasaran, serta meningkatkan adopsi teknologi kepada petani. Kerja sama dengan kelompok tani dan penyuluh juga mempermudah proses diseminasi inovasi pupuk kepada masyarakat. Hal ini didukung dengan pengembangan model bisnis berbasis bio-nano fertiliser sehingga kemitraan dengan pemasok, petani, dan lembaga pendamping merupakan faktor penting dalam keberhasilan komersialisasi produk inovasi pertanian.

2. *Key Activities* (Aktivitas Utama)

Aktivitas utama meliputi proses pengomposan menggunakan *Trichoderma* sp. pengayaan kompos dengan nanopartikel ZnO, pengemasan produk ukuran 5 kg, dan pengendalian mutu (*quality control*). Aktivitas tersebut memastikan produk yang dihasilkan memiliki mutu yang konsisten dan layak

dipasarkan. *Business Model Canvas* pada inovasi teknologi merupakan inti dari penciptaan nilai sehingga proses produksi dan pengendalian mutu harus menjadi prioritas dalam pengembangan usaha.

3. *Key Resources* (Sumber Daya Utama)

Sumber daya utama meliputi tempat produksi, kotoran kambing, kultur *Trichoderma* sp. nanopartikel ZnO, dan tenaga kerja. Kombinasi sumber daya tersebut menjadi faktor utama dalam menghasilkan pupuk organik berkualitas. pengembangan model bisnis pupuk bio-nano, ketersediaan bahan baku, teknologi produksi, serta sumber daya manusia merupakan aset strategis yang menentukan keberhasilan usaha pupuk inovatif.

4. *Value Proposition* (Proposisi Nilai)

Produk menawarkan pupuk organik yang diperkaya nanopartikel ZnO sehingga memiliki nilai tambah dibandingkan kompos konvensional. Produk diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan produktivitas, membantu tanaman menghadapi cekaman lingkungan, mendukung kesehatan tanah melalui aktivitas *Trichoderma* sp. serta lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah peternakan. *Value proposition* merupakan elemen utama yang membedakan suatu produk dari pesaing sehingga inovasi teknologi menjadi sumber keunggulan kompetitif.

5. *Customer Relationships* (Hubungan Pelanggan)

Hubungan pelanggan dibangun melalui pendampingan aplikasi pupuk, demonstrasi lapangan (*demo plot*), edukasi melalui media digital, konsultasi gratis, serta grup *WhatsApp* petani. Strategi tersebut bertujuan meningkatkan kepercayaan konsumen sekaligus mempercepat adopsi teknologi. Penelitian Turrahmah *et al.* (2023), menunjukkan bahwa hubungan pelanggan yang

intensif melalui edukasi dan pendampingan mampu meningkatkan loyalitas konsumen serta memperluas pasar usaha agribisnis.

6. *Channels* (Saluran Distribusi)

Produk dipasarkan melalui toko pertanian lokal, kios kelompok tani, marketplace, dan penyuluh pertanian. Kombinasi saluran distribusi secara langsung maupun digital memungkinkan jangkauan pasar menjadi lebih luas. Penggunaan berbagai saluran distribusi dapat meningkatkan aksesibilitas produk sekaligus memperkuat daya saing usaha.

7. *Customer Segments* (Segmen Pelanggan)

Target utama produk adalah petani cabai, petani padi, petani sayuran, pelaku hortikultura, serta reseller pupuk organik. Segmen tersebut dipilih karena memiliki kebutuhan tinggi terhadap pupuk organik yang mampu meningkatkan produktivitas tanaman. Penentuan segmen pelanggan yang spesifik merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan implementasi *Business Model Canvas* karena strategi pemasaran dapat disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing kelompok pelanggan.

8. *Cost Structure* (Struktur Biaya)

Struktur biaya meliputi pengadaan bahan baku, bahan tambahan, tenaga kerja, alat produksi, serta biaya distribusi dan pemasaran. Pengelolaan biaya yang efisien akan meningkatkan keuntungan usaha tanpa mengurangi kualitas produk. Analisis struktur biaya diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara biaya operasional dan nilai yang diberikan kepada pelanggan sehingga usaha dapat berkelanjutan.

9. *Revenue Streams* (Arus Pendapatan)

Pendapatan diperoleh dari penjualan trichokompos nanopartikel ZnO kemasan 5 kg, penjualan paket sesuai kebutuhan pelanggan, kerja sama dengan kelompok tani, serta *reseller* pupuk organik. Diversifikasi sumber pendapatan ini dapat mengurangi risiko usaha sekaligus memperluas pangsa

pasar. Pengembangan model bisnis bio-nano fertilizer yang diversifikasi saluran penjualan dan kemitraan pemasaran mampu meningkatkan keberlanjutan usaha inovasi pertanian.

B. Analisis SWOT

Analisis kelayakan usaha juga didukung dengan analisis SWOT sebagai dasar penyusunan strategi pengembangan usaha. Menurut (Turrahmah *et al.*, 2023), kombinasi antara *Business Model Canvas* dan SWOT mampu menghasilkan strategi bisnis yang lebih komprehensif karena *Business Model Canvas* menggambarkan model bisnis, sedangkan SWOT mengidentifikasi faktor internal dan eksternal yang memengaruhi keberhasilan usaha.

1. *Strengths* (Kekuatan)

Produk memiliki inovasi berupa kombinasi trichokompos dengan nanopartikel ZnO yang memberikan nilai tambah dibandingkan kompos biasa. Selain itu, penggunaan *Trichoderma sp.* mampu meningkatkan kualitas kompos dan mendukung kesehatan tanah sehingga produk memiliki daya saing yang tinggi.

2. *Weaknesses* (Kelemahan)

Biaya produksi relatif lebih tinggi dibandingkan kompos konvensional karena adanya penambahan nanopartikel ZnO. Selain itu, masih diperlukan edukasi kepada petani mengenai manfaat produk agar tingkat adopsi semakin meningkat.

3. *Opportunities* (Peluang)

Meningkatnya kesadaran terhadap pertanian ramah lingkungan, berkembangnya penggunaan pupuk organik, serta dukungan pemerintah terhadap pertanian berkelanjutan menjadi peluang besar bagi pengembangan usaha.

4. *Threats* (Ancaman)

Persaingan dengan produsen pupuk organik lain, fluktuasi harga bahan baku, serta rendahnya penerimaan sebagian petani terhadap teknologi baru menjadi tantangan yang perlu diantisipasi melalui inovasi produk dan strategi pemasaran yang berkelanjutan.

4.3 Diseminasi Inovasi Produk

Diseminasi merupakan proses penyebarluasan informasi, pengetahuan, atau inovasi kepada sasaran pengguna agar dapat dipahami, diterima, dan diadopsi secara lebih luas. Menurut Djaffar (2017), diseminasi adalah proses penyampaian inovasi melalui berbagai saluran komunikasi dalam jangka waktu tertentu kepada anggota suatu sistem sosial sehingga timbul kesadaran, menerima, dan akhirnya memanfaatkan informasi tersebut. Istilah umumnya yang digunakan sebagai sinonim dari “penyebaran”. Dalam konteks pengembangan usaha, diseminasi tidak hanya berfungsi sebagai media penyebaran informasi, tetapi juga menjadi salah satu strategi pemasaran untuk memperkenalkan produk kepada masyarakat serta membangun kesadaran (*brand awareness*) terhadap produk yang ditawarkan.

Pada era digital, strategi diseminasi dapat dilakukan melalui berbagai media, baik secara langsung maupun tidak langsung. Diseminasi secara langsung dapat dilakukan melalui demonstrasi produk (*demo plot*), penyuluhan, pameran, dan kegiatan sosialisasi kepada calon konsumen. Sementara itu, diseminasi secara tidak langsung dapat memanfaatkan media digital seperti website, media sosial, khususnya YouTube, *marketplace*, maupun platform digital lainnya yang mampu menjangkau konsumen secara lebih luas dengan biaya yang relatif efisien. Menurut Klerkx *et al.* (2019), pemanfaatan media digital dalam pemasaran memungkinkan perusahaan meningkatkan jangkauan pasar, membangun komunikasi dua arah dengan konsumen, serta memperkuat citra produk melalui penyampaian informasi yang cepat dan mudah diakses. Di antara berbagai media digital tersebut, YouTube menjadi salah satu platform yang efektif karena mampu menyajikan informasi dalam bentuk audio-visual sehingga memudahkan masyarakat memahami keunggulan produk, cara penggunaan, serta manfaat yang ditawarkan.

Dalam suatu usaha, strategi pemasaran menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan produk di pasar. Produk yang memiliki kualitas baik

belum tentu dikenal oleh konsumen apabila tidak didukung dengan strategi diseminasi yang efektif. Oleh karena itu, penyampaian informasi mengenai keunggulan, manfaat, dan cara penggunaan produk menjadi langkah penting untuk meningkatkan minat serta kepercayaan calon konsumen. Diseminasi yang dilakukan secara konsisten juga dapat mempercepat proses adopsi inovasi sehingga peluang keberhasilan usaha menjadi lebih besar.

Pada usaha Trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, diseminasi inovasi dilakukan sebagai bagian dari strategi pemasaran untuk memperkenalkan produk kepada petani dan pelaku usaha pertanian. Pemanfaatan YouTube dilakukan melalui penyajian konten edukatif yang menjelaskan proses pembuatan Trichokompos Nanopartikel ZnO, keunggulan produk, cara aplikasi di lapangan, serta manfaatnya terhadap pertumbuhan tanaman. Melalui berbagai media tersebut, diharapkan informasi mengenai Trichokompos Nanopartikel ZnO dapat diterima dengan baik oleh masyarakat sehingga meningkatkan pengetahuan, ketertarikan, dan minat untuk menggunakan produk.

Keberhasilan diseminasi tidak hanya dipengaruhi oleh media yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik penerima informasi. Tingkat pendidikan, usia, pengalaman bertani, akses terhadap teknologi informasi, serta kebutuhan pengguna akan memengaruhi bagaimana suatu inovasi diterima dan diadopsi. Faried *et al.* (2024), menjelaskan bahwa karakteristik individu menjadi salah satu faktor utama yang menentukan kecepatan adopsi inovasi. Oleh karena itu, evaluasi terhadap respons masyarakat terhadap media diseminasi perlu dilakukan untuk mengetahui efektivitas strategi pemasaran yang diterapkan sekaligus menjadi dasar dalam menyusun strategi pengembangan usaha yang lebih tepat sasaran.

A. Karakteristik Responden

Karakteristik responden pada penelitian ini disajikan berdasarkan jenis kelamin, usia, dan tingkat pendidikan. Jumlah responden yang berpartisipasi dalam penelitian ini sebanyak 10 orang petani.

a. Jenis Kelamin

Seluruh responden yang terlibat dalam penelitian berjumlah 10 orang (100%) berjenis kelamin laki-laki. Hasil ini menunjukkan bahwa seluruh proses penilaian terhadap inovasi produk Trichokompos diperkaya

nanopartikel ZnO diperoleh dari sudut pandang responden laki-laki. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik sasaran penelitian, di mana sebagian besar pelaku usaha tani atau anggota kelompok tani di lokasi penelitian masih didominasi oleh laki-laki sebagai pengelola utama kegiatan budidaya, pengambilan keputusan teknis, serta penggunaan sarana produksi pertanian.

Dominasi responden laki-laki memiliki implikasi terhadap strategi diseminasi inovasi produk. Dalam kegiatan pertanian, laki-laki umumnya berperan sebagai pengambil keputusan terkait pemilihan teknologi, pembelian input produksi, serta penerapan inovasi pada lahan usaha tani. Oleh karena itu, apabila kelompok sasaran didominasi oleh laki-laki, penyampaian informasi mengenai produk Trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dapat lebih diarahkan pada aspek yang menjadi pertimbangan utama petani, seperti peningkatan produktivitas tanaman, efisiensi penggunaan pupuk, kemudahan aplikasi, kualitas hasil panen, serta keuntungan ekonomi yang diperoleh setelah menggunakan inovasi tersebut. Penyampaian informasi yang didukung oleh hasil demonstrasi lapang, data pertumbuhan tanaman, dan analisis kelayakan usaha akan lebih mudah meningkatkan kepercayaan serta mendorong adopsi inovasi.

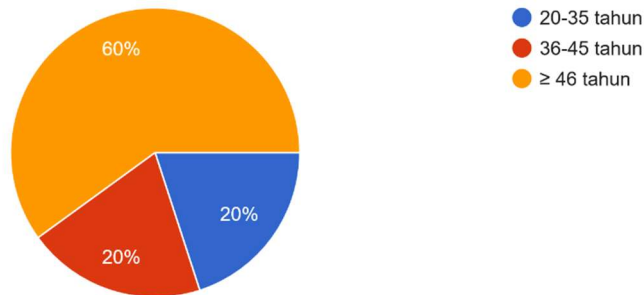
Selain itu, responden laki-laki umumnya memiliki keterlibatan langsung dalam aktivitas budidaya di lapangan sehingga mereka dapat mengevaluasi manfaat produk berdasarkan pengalaman penggunaan secara nyata. Hal ini menjadi keuntungan dalam proses diseminasi karena umpan balik yang diberikan dapat digunakan untuk menyempurnakan inovasi sebelum diperkenalkan kepada masyarakat yang lebih luas. Pengalaman positif dari pengguna awal juga dapat menjadi media promosi yang efektif melalui komunikasi antarpetani, mengingat penyebaran

informasi di lingkungan kelompok tani sering berlangsung melalui diskusi, pertemuan kelompok, maupun rekomendasi dari sesama petani.

b. Usia

Usia

10 jawaban



Gambar 7. Usia Responden

Berdasarkan gambar usia responden, jumlah responden yang terlibat dalam penelitian sebanyak 10 orang dengan rentang usia termuda 20–35 tahun dan usia tertua 76 tahun. Usia muda (20–35 tahun) sebanyak 2 orang (20%), usia dewasa atau usia produktif (36–45 tahun) sebanyak 2 orang (20%), dan usia lanjut (≥46 tahun) yang mendominasi sebanyak 6 orang (60%) responden. Sebaran tersebut menunjukkan bahwa penelitian melibatkan responden dari berbagai kelompok umur, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai penerimaan inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dari perspektif generasi muda hingga petani yang telah berpengalaman.

Dominasi responden pada kelompok usia lanjut menunjukkan bahwa sasaran utama inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO merupakan petani yang telah memiliki pengalaman panjang dalam kegiatan budidaya. Pengalaman tersebut menjadi modal penting dalam mengevaluasi suatu inovasi karena petani cenderung membandingkan

teknologi baru dengan praktik budidaya yang selama ini diterapkan. Oleh karena itu, keputusan untuk mengadopsi inovasi umumnya didasarkan pada bukti nyata mengenai manfaat, kemudahan penggunaan, serta kesesuaiannya dengan kondisi usahatani yang dijalankan. Meskipun demikian, pengalaman yang dimiliki kelompok usia lanjut juga berpotensi meningkatkan kepercayaan petani lain apabila mereka telah membuktikan keberhasilan penggunaan inovasi tersebut di lapangan (Rahmawaty *et al.*, 2025).

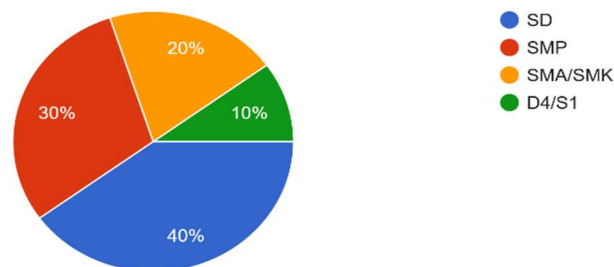
Di sisi lain, keterlibatan responden usia muda dan usia dewasa atau produktif memberikan perspektif yang berbeda dalam proses diseminasi inovasi. Kelompok usia muda umumnya lebih cepat menerima informasi baru serta lebih terbuka terhadap pemanfaatan teknologi dan media digital sebagai sumber informasi. Sementara itu, responden usia dewasa atau produktif tidak hanya memiliki kemampuan dalam memanfaatkan teknologi informasi, tetapi juga mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi sebelum memutuskan untuk mengadopsi suatu inovasi. Oleh karena itu, keberadaan kedua kelompok usia tersebut menjadi penting dalam memberikan masukan mengenai penyampaian informasi maupun peluang penerimaan inovasi di kalangan masyarakat.

Komposisi responden yang didominasi oleh usia lanjut, namun tetap melibatkan usia muda dan usia dewasa, menunjukkan bahwa strategi diseminasi inovasi perlu disesuaikan dengan karakteristik masing-masing kelompok umur. Mengingat kegiatan diseminasi pada penelitian ini dilakukan melalui media YouTube, penyampaian informasi dalam bentuk video edukasi menjadi lebih mudah diakses oleh responden usia muda dan usia produktif yang telah terbiasa memanfaatkan media digital. Sementara itu, bagi responden usia lanjut, media video dapat berfungsi sebagai sarana

untuk memahami tahapan pembuatan dan penggunaan produk secara berulang sehingga informasi yang disampaikan menjadi lebih mudah dipahami. Selain itu, penyampaian informasi melalui diskusi dalam kelompok tani maupun rekomendasi dari petani yang telah mencoba inovasi tetap diperlukan untuk meningkatkan kepercayaan kelompok usia lanjut terhadap manfaat produk.

Dengan demikian, keberagaman usia responden memberikan keuntungan dalam mengevaluasi penerimaan inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO karena mencerminkan pandangan dari petani dengan karakteristik dan pengalaman yang berbeda. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa inovasi memiliki peluang untuk diterima oleh berbagai kelompok umur apabila strategi diseminasi disusun sesuai dengan karakteristik sasaran, yaitu memadukan pemanfaatan media digital dengan

Pendidikan Terakhir
10 jawaban



Gambar 8. Pendidikan Terakhir Responden

komunikasi antar petani dan penyampaian bukti keberhasilan inovasi di lapangan.

c. Pendidikan Terakhir

Berdasarkan diagram tingkat pendidikan terakhir, diketahui bahwa dari 10 responden, sebanyak 4 orang (40%) memiliki pendidikan terakhir Sekolah Dasar (SD), 3 orang (30%) berpendidikan Sekolah Menengah

Pertama (SMP), 2 orang (20%) berpendidikan Sekolah Menengah Atas/Kejuruan (SMA/SMK), dan 1 orang (10%) berpendidikan Diploma IV/Sarjana (D4/S1). Data tersebut menunjukkan bahwa mayoritas responden memiliki tingkat pendidikan dasar hingga menengah, sehingga penyampaian informasi mengenai inovasi perlu menggunakan media yang mudah dipahami oleh seluruh sasaran.

Dalam kegiatan diseminasi inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, penyebaran informasi dilakukan melalui konten video YouTube. Penggunaan media video menjadi pilihan yang tepat karena mampu menyampaikan informasi secara audio-visual, sehingga responden tidak harus melihat proses pembuatan maupun aplikasi produk secara langsung di lapangan. Melalui video, tahapan pembuatan Trichokompos, proses penambahan nanopartikel ZnO, cara aplikasi pada tanaman, serta hasil yang diperoleh dapat disajikan secara sistematis sehingga lebih mudah dipahami oleh petani dengan berbagai tingkat pendidikan.

Responden dengan tingkat pendidikan SD dan SMP umumnya lebih mudah memahami informasi yang disampaikan melalui gambar bergerak, narasi yang sederhana, dan contoh visual dibandingkan membaca materi yang bersifat tekstual. Oleh karena itu, konten YouTube yang menggunakan bahasa sederhana, menampilkan langkah-langkah secara bertahap, serta memberikan penjelasan mengenai manfaat produk dapat meningkatkan pemahaman responden terhadap inovasi yang diperkenalkan. Penyajian visual juga membantu mengurangi kesalahan persepsi karena petani dapat melihat langsung tahapan yang dijelaskan dalam video meskipun tidak hadir pada proses diseminasi secara tatap muka.

Sementara itu, responden dengan tingkat pendidikan SMA/SMK dan D4/S1 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memahami informasi

teknis yang disampaikan dalam video. Kelompok ini dapat lebih mudah memahami penjelasan mengenai fungsi *Trichoderma* sp., manfaat nanopartikel ZnO, serta pengaruhnya terhadap kualitas kompos dan pertumbuhan tanaman. Dengan pemahaman tersebut, mereka berpotensi menjadi pihak yang menyebarluaskan kembali informasi kepada petani lain melalui diskusi dalam kelompok tani maupun komunikasi sehari-hari.

Penggunaan YouTube sebagai media diseminasi juga memberikan keuntungan karena informasi dapat diakses secara berulang sesuai kebutuhan responden. Petani dapat menonton kembali video apabila terdapat tahapan yang belum dipahami, sehingga proses belajar tidak terbatas oleh waktu pelaksanaan penyuluhan. Selain itu, media YouTube memungkinkan inovasi menjangkau sasaran yang lebih luas dibandingkan penyuluhan tatap muka, karena video dapat diakses oleh masyarakat dari berbagai daerah selama memiliki jaringan internet.

Dengan demikian, karakteristik tingkat pendidikan responden mendukung penggunaan media YouTube sebagai sarana diseminasi inovasi. Konten video yang disusun menggunakan bahasa yang komunikatif, visual yang jelas, dan penjelasan yang sistematis dapat membantu petani dari berbagai tingkat pendidikan memahami manfaat Trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, sehingga berpotensi meningkatkan penerimaan dan adopsi inovasi secara lebih luas.

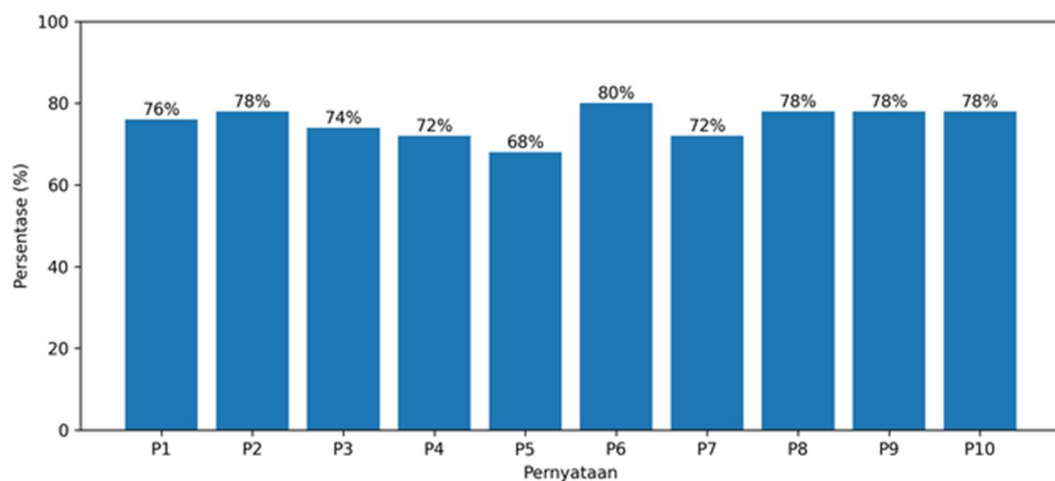
B. Hasil Responden

Hasil tanggapan responden petani disajikan berdasarkan analisis deskriptif kuantitatif terhadap data kuesioner yang telah diisi setelah kegiatan diseminasi. Analisis ini bertujuan untuk menggambarkan tingkat pemahaman,

persepsi, dan penerimaan petani terhadap inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO berdasarkan persentase capaian pada setiap indikator.

Tabel 17. Tabel Hasil Responden

No	Jumlah skor	Rata-rata	Persentase (%)	Kriteria
1	38	3,80	76,00	Tinggi
2	39	3,90	78,00	Tinggi
3	37	3,70	74,00	Tinggi
4	36	3,60	72,00	Tinggi
5	34	3,40	68,00	Tinggi
6	40	4,00	80,00	Tinggi
7	36	3,60	72,00	Tinggi
8	39	3,90	78,00	Tinggi
9	39	3,90	78,00	Tinggi
10	39	3,90	78,00	Tinggi
Rata-rata	37,8	3,78	75,60	Tinggi



Gambar 9. Hasil Responden

Berdasarkan Tabel 17 dan Gambar 9, menunjukkan hasil analisis deskriptif kuantitatif terhadap 10 responden, seluruh indikator memperoleh persentase capaian antara 68,00% - 80,00% sehingga termasuk dalam kategori tinggi. Rata-rata persentase capaian responden sebesar 75,60%, yang menunjukkan bahwa kegiatan diseminasi mampu memberikan pemahaman dan membentuk persepsi positif responden terhadap inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa informasi yang disampaikan telah diterima dengan baik sehingga responden memahami konsep inovasi, manfaat produk, serta menunjukkan ketertarikan terhadap peluang penerapannya dalam kegiatan budidaya. Dengan demikian, kegiatan diseminasi berperan sebagai media komunikasi yang efektif dalam memperkenalkan inovasi kepada calon pengguna.

Indikator dengan persentase tertinggi terdapat pada pernyataan bahwa proses pembuatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO melalui proses yang baik dan dapat dipertanggungjawabkan, yaitu sebesar 80%. Persentase tersebut menunjukkan bahwa responden memiliki tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap proses produksi setelah memperoleh informasi mengenai tahapan pembuatan produk. Kejelasan informasi mengenai bahan baku, proses pengomposan, pengayaan nanopartikel ZnO, serta tahapan produksi menjadi faktor yang membangun keyakinan responden terhadap kualitas inovasi yang diperkenalkan. Hasil ini sejalan dengan Faried *et al.* (2024), yang menyatakan bahwa penyampaian informasi yang jelas, sistematis, dan mudah dipahami dapat meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap suatu inovasi pertanian.

Indikator pemahaman mengenai peran *Trichoderma* sp. dalam meningkatkan kualitas kompos, penilaian bahwa inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO memiliki potensi untuk diterapkan dalam usaha tani, ketertarikan mencoba menggunakan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO pada lahan yang dikelola, serta kesediaan merekomendasikan informasi mengenai inovasi kepada orang lain masing-masing memperoleh persentase sebesar 78%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa responden tidak hanya memahami komponen utama penyusun inovasi, tetapi juga memiliki persepsi positif terhadap manfaat inovasi serta menunjukkan minat untuk menerapkannya dalam kegiatan budidaya. Kesediaan responden untuk merekomendasikan informasi kepada orang lain juga menunjukkan adanya potensi penyebaran inovasi melalui komunikasi antarpetani (*farmer-to-farmer diffusion*). Menurut Friska Mastarida (2022), komunikasi antarpetani merupakan salah satu mekanisme penting dalam penyebaran inovasi

karena informasi yang berasal dari sesama petani umumnya lebih mudah diterima dan dipercaya dibandingkan informasi yang hanya berasal dari pihak luar.

Selanjutnya, indikator mengenai pemahaman peran *Trichoderma* sp., persepsi bahwa inovasi memiliki potensi untuk diterapkan dalam usaha tani, serta kesediaan merekomendasikan informasi mengenai inovasi kepada petani lain masing-masing memperoleh persentase sebesar 78%. Persentase tersebut menunjukkan bahwa responden tidak hanya memahami komponen utama penyusun inovasi, tetapi juga memiliki keyakinan bahwa produk berpotensi diterapkan dalam kegiatan budidaya. Selain itu, kesediaan responden untuk merekomendasikan informasi kepada petani lain menunjukkan adanya peluang penyebaran informasi melalui komunikasi antarpetani (*farmer-to-farmer diffusion*). Menurut Mastarida (2022), komunikasi antarpetani merupakan salah satu mekanisme penting dalam penyebaran inovasi karena rekomendasi dari sesama petani cenderung lebih mudah diterima dibandingkan informasi yang hanya berasal dari pihak luar.

Di sisi lain, Indikator yang memperoleh persentase terendah adalah pengetahuan mengenai proses pembuatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO, yaitu sebesar 68%. Meskipun masih termasuk dalam kategori tinggi, hasil tersebut menunjukkan bahwa responden masih memerlukan informasi yang lebih mendalam mengenai tahapan pembuatan produk, mulai dari bahan yang digunakan, proses pengomposan, pengayaan nanopartikel ZnO, hingga pengendalian mutu selama proses produksi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa informasi yang diberikan telah mampu memperkenalkan inovasi, namun masih perlu dilengkapi dengan penjelasan yang lebih rinci agar responden memiliki pemahaman yang lebih komprehensif mengenai proses pembuatan produk. Faried *et al.* (2024), menjelaskan bahwa penyampaian informasi yang lengkap, mudah dipahami, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna akan meningkatkan efektivitas proses penyebaran inovasi.

Secara keseluruhan, rata-rata persentase capaian responden sebesar 75,60% menunjukkan bahwa kegiatan diseminasi berhasil memperkenalkan inovasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO kepada responden. Sebagian besar responden telah memahami konsep inovasi, manfaat produk, fungsi *Trichoderma* sp. dan nanopartikel ZnO, serta menunjukkan minat untuk mencoba dan merekomendasikan inovasi tersebut kepada orang lain. Meskipun demikian, beberapa aspek yang berkaitan dengan proses pembuatan dan penerapan produk

masih perlu diperkuat melalui penyampaian materi yang lebih aplikatif, seperti demonstrasi pembuatan, penjelasan dosis penggunaan, waktu aplikasi, serta contoh penerapan di lapangan. Dengan demikian, kegiatan diseminasi tidak hanya meningkatkan pengetahuan responden, tetapi juga dapat mendorong kesiapan mereka untuk mengadopsi inovasi dalam kegiatan usaha tani.

2

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Trichokompos yang dihasilkan memiliki kualitas kimia yang baik serta telah memenuhi standar mutu SNI 19-7030-2004 pada parameter C-Organik 17,39; Nitrogen 2,08; Fosfor 2,04; Kalium 2,19.
2. Aplikasi trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman cabai rawit. Perlakuan P2 dan P3 memberikan respons yang lebih baik dibandingkan perlakuan kontrol pada semua parameter.
3. Produksi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO layak untuk dikembangkan karena menghasilkan R/C ratio > 1 yaitu 1,34 dan ROI sebesar 34%.
4. Diseminasi inovasi produk melalui media sosial YouTube memperoleh persentase capaian antara 68,00% - 80,00%, termasuk dalam kategori tinggi, yang menunjukkan penerimaan positif responden terhadap mutu trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO sebagai pupuk organik yang aman untuk budidaya pertanian berkelanjutan.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk analisis kandungan unsur Zn pada trichokompos yang diperkaya nanopartikel ZnO, serta untuk mengetahui dosis nanopartikel ZnO yang paling efektif.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan berbagai jenis tanaman dan kondisi lingkungan yang berbeda untuk menguji konsistensi pengaruh aplikasi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman.
3. Produksi trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO perlu mempertahankan mutu produk sesuai standar agar layak dikembangkan sebagai produk pupuk organik.
4. Diseminasi inovasi produk sebaiknya dilakukan melalui media yang lebih beragam dan menjangkau lebih banyak sasaran agar pemanfaatan trichokompos diperkaya nanopartikel ZnO dapat diterapkan secara lebih luas.

16

96

19