

IRWANDI IRWANDI

IRWANDI.docx

 Universitas Muhammadiyah Mataram

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14999:146649653

Submission Date

Jul 28, 2026, 8:51 AM GMT+8

Download Date

Jul 28, 2026, 8:55 AM GMT+8

File Name

IRWANDI.docx

File Size

267.5 KB

78 Pages

12,907 Words

83,277 Characters

24% Overall Similarity

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

Filtered from the Report

- Bibliography

Top Sources

- 16%  Internet sources
- 11%  Publications
- 21%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Replaced Characters**
10 suspect characters on 4 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.

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

16%  Internet sources
11%  Publications
21%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

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

1	Submitted works	Institut Teknologi Sumatera on 2026-06-23	1%
2	Internet	anzdoc.com	<1%
3	Submitted works	Institut Teknologi Sumatera on 2026-06-30	<1%
4	Submitted works	Institut Teknologi Sumatera on 2026-07-09	<1%
5	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%
6	Internet	repository.umsu.ac.id	<1%
7	Internet	repository.uin-suska.ac.id	<1%
8	Internet	docplayer.info	<1%
9	Internet	staidagresik.ac.id	<1%
10	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Palembang on 2026-04-14	<1%
11	Submitted works	Universitas Nusa Cendana on 2026-06-23	<1%

12	Internet	www.scribd.com	<1%
13	Internet	repository.ummat.ac.id	<1%
14	Submitted works	Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung on 2026-07-23	<1%
15	Internet	id.scribd.com	<1%
16	Internet	journal.unpas.ac.id	<1%
17	Internet	repository.upi.edu	<1%
18	Internet	adoc.pub	<1%
19	Internet	core.ac.uk	<1%
20	Internet	ifrelresearch.org	<1%
21	Internet	journal.universitaspahlawan.ac.id	<1%
22	Internet	proceeding.unram.ac.id	<1%
23	Internet	digilib.uinkhas.ac.id	<1%
24	Submitted works	Xiamen University on 2023-05-08	<1%
25	Internet	repository.metrouniv.ac.id	<1%

26	Submitted works	LL Dikti IX Turnitin Consortium on 2026-06-25	<1%
27	Publication	Nur Inda R. Umadji, Risti Ristianingsih Badu, Ais Rahman. "KANDUNGAN UNSUR ...	<1%
28	Publication	Nursamsidar, Muamar Kadafi, Musafir. "THE EFFECT OF NPK AND ECO-ENZYME FE...	<1%
29	Publication	Sineba Arli Silvia. "Pengaruh Kualitas Aset Terhadap Profitabilitas Pada Perbanka...	<1%
30	Submitted works	Universitas Indraprasta PGRI on 2026-07-12	<1%
31	Internet	repository.unibos.ac.id	<1%
32	Submitted works	Universitas PGRI Palembang on 2026-06-25	<1%
33	Publication	Ushwa Dwi Masrurah Arifin Bando, Selfa Afia, Ayu Janianti Yusuf, Qurrata A'yun A...	<1%
34	Internet	eprints.walisongo.ac.id	<1%
35	Submitted works	Universitas Sumatera Utara on 2026-06-17	<1%
36	Internet	id.123dok.com	<1%
37	Submitted works	Universitas Kristen Wira Wacana Sumba on 2026-04-07	<1%
38	Internet	repository.unib.ac.id	<1%
39	Submitted works	Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar on 2026-06-18	<1%

40	Submitted works	Universitas Pendidikan Indonesia on 2014-07-15	<1%
41	Internet	repository.institutpendidikan.ac.id	<1%
42	Submitted works	Universitas Putera Batam on 2019-05-24	<1%
43	Internet	eprints.umm.ac.id	<1%
44	Internet	eprints.uny.ac.id	<1%
45	Internet	ojs.uajy.ac.id	<1%
46	Internet	rama.unimal.ac.id	<1%
47	Internet	repository.ub.ac.id	<1%
48	Internet	www.coursehero.com	<1%
49	Publication	Pienyani Rosawanti. "Kandungan Unsur Hara Pada Pupuk Organik Tumbuhan Air..."	<1%
50	Submitted works	Sriwijaya University on 2020-07-14	<1%
51	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka on 2026-04-10	<1%
52	Internet	pt.scribd.com	<1%
53	Internet	repo.uinsatu.ac.id	<1%

54	Internet	repository.usu.ac.id	<1%
55	Internet	idr.uin-antasari.ac.id	<1%
56	Internet	repository.unbari.ac.id	<1%
57	Publication	Kresna Shifa Usodri, Bambang Utoyo, Dewi Riniarti, Dimas Prakoswo Widiyani, Re...	<1%
58	Publication	Mika Mika, Nurhadiah Nurhadiah, Nining Sri Sukasih. "APLIKASI BOKASHI LIMBA...	<1%
59	Submitted works	Sriwijaya University on 2026-02-06	<1%
60	Internet	ipm2kpe.or.id	<1%
61	Submitted works	UPN Veteran Yogyakarta on 2026-04-10	<1%
62	Submitted works	Universitas Airlangga-1 on 2026-01-17	<1%
63	Submitted works	Universitas Pendidikan Indonesia on 2025-06-26	<1%
64	Submitted works	University of Muhammadiyah Malang on 2021-08-31	<1%
65	Internet	zombiedoc.com	<1%
66	Internet	123dok.com	<1%
67	Publication	Shendy Rizki Pradana Shendy. "Pengaruh Jam Terbang Pemain Bulu Tangkis Wo...	<1%

68	Submitted works	Universitas Indonesia on 2026-06-14	<1%
69	Submitted works	Universitas Islam Riau on 2026-06-02	<1%
70	Submitted works	Universitas Mulawarman on 2026-06-22	<1%
71	Internet	ejournal.unimman.ac.id	<1%
72	Internet	isanbu.blogspot.com	<1%
73	Internet	jurnaltarbiyah.uinsu.ac.id	<1%
74	Submitted works	Institut Teknologi Sumatera on 2026-07-23	<1%
75	Submitted works	Lambung Mangkurat University on 2025-05-22	<1%
76	Publication	Riky Risman, Emma Trinurani Sofyan, Rina Devnita. "Pengaruh Pupuk Majemuk ...	<1%
77	Submitted works	UIN Maulana Malik Ibrahim Malang on 2025-06-03	<1%
78	Submitted works	UPN Veteran Yogyakarta on 2025-07-31	<1%
79	Submitted works	Universitas Jember on 2023-07-29	<1%
80	Submitted works	Universitas PGRI Palembang on 2025-07-07	<1%
81	Internet	a1kios.blogspot.com	<1%

82	Internet	cdn.juris.id	<1%
83	Internet	digilibadmin.unismuh.ac.id	<1%
84	Internet	e-journals.unmul.ac.id	<1%
85	Internet	etheses.uin-malang.ac.id	<1%
86	Internet	journal.uniga.ac.id	<1%
87	Internet	repository.uinsu.ac.id	<1%
88	Publication	syamsul bahri. "Pendekatan Dan Strategi Pengembangan Sistem Pertanian Terin...	<1%
89	Internet	www.neliti.com	<1%
90	Submitted works	Institut Agama Islam Al-Zaytun Indonesia on 2025-08-30	<1%
91	Submitted works	Padjadjaran University on 2026-07-11	<1%
92	Internet	helda.helsinki.fi	<1%
93	Internet	id.agadir2013.org	<1%
94	Internet	jurnal.icjambi.id	<1%
95	Internet	repository.ibs.ac.id	<1%

96	Internet	unsurtani.com	<1%
97	Submitted works	Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia on 2015-06-16	<1%
98	Publication	Jamal Basma. "Liquid organic fertilizer from seaweed (Sargassum sp.)and fish wa...	<1%
99	Submitted works	Sekolah Teknik Elektro & Informatika on 2026-01-09	<1%
100	Submitted works	Universitas 17 Agustus 1945 Semarang on 2026-05-26	<1%
101	Submitted works	Universitas Sebelas Maret on 2017-11-01	<1%
102	Internet	agroteksos.unram.ac.id	<1%
103	Internet	alhikmatu.blogspot.com	<1%
104	Internet	garuda.kemdikbud.go.id	<1%
105	Internet	journal.ikipsiliwangi.ac.id	<1%
106	Internet	journal.unismuh.ac.id	<1%
107	Internet	repository.ubpkarawang.ac.id	<1%
108	Publication	Anindya Putri Pradipta, Jasmine Qur'ani, Tina Selviana. "Perilaku Konsumsi Gen...	<1%
109	Submitted works	Exeed College on 2025-08-20	<1%

110	Publication	Naufal Rakha Kusuma, Aniek Wirastania. "The Influence of the Film "Ranah 3 War...	<1%
111	Submitted works	Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung on 2026-06-18	<1%
112	Submitted works	Sriwijaya University on 2022-05-24	<1%
113	Submitted works	Universitas Airlangga-1 on 2025-11-11	<1%
114	Submitted works	Universitas Bengkulu on 2024-07-22	<1%
115	Submitted works	Universitas Gadjah Mada on 2026-06-23	<1%
116	Submitted works	Universitas Katolik Santo Agustinus Hippo on 2026-02-04	<1%
117	Submitted works	Universitas Muhammadiyah Surakarta on 2014-03-03	<1%
118	Submitted works	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2026-06-18	<1%
119	Submitted works	Universitas Sebelas Maret on 2026-05-20	<1%
120	Internet	biosaintropis.unisma.ac.id	<1%
121	Internet	edoc.site	<1%
122	Internet	ejournal.unida.gontor.ac.id	<1%
123	Internet	eprints.ums.ac.id	<1%

124	Internet	fr.scribd.com	<1%
125	Internet	jurnal.umsu.ac.id	<1%
126	Internet	pengayaan.com	<1%
127	Internet	perenialclub.blogspot.com	<1%
128	Internet	repo.unand.ac.id	<1%
129	Internet	repository.ar-raniry.ac.id	<1%
130	Internet	stomatadaun.blogspot.com	<1%
131	Internet	vibdoc.com	<1%
132	Internet	wahyuwazza.blogspot.com	<1%
133	Internet	www.harianjoglosemar.com	<1%
134	Publication	Aldi Saputra, Budianto Lanya, Siti Suharyatun, Agus Haryanto. "Uji Kinerja Alat Pe...	<1%
135	Publication	Diah Dwi Wahyuni, Ambar Rukmini, Anggri Sekar Sari. "Pengaruh Substitusi Tepu...	<1%
136	Submitted works	LPPM on 2025-09-01	<1%
137	Publication	Nadya Luthfiah Hidayati, Rusmana Rusmana, Ratna Fitry Yenny, Endang Sulistyor...	<1%

138	Submitted works	Sriwijaya University on 2019-12-18	<1%
139	Publication	Sunanih, Sunanih. "Pengembangan Aplikasi Berbasis SAS Untuk Meningkatkan K...	<1%
140	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2020-09-02	<1%
141	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2017-12-19	<1%
142	Submitted works	Universitas Diponegoro on 2018-02-04	<1%
143	Submitted works	Universitas Djuanda on 2026-01-22	<1%
144	Submitted works	Universitas Jambi on 2022-03-21	<1%
145	Submitted works	Universitas Katolik De La Salle on 2026-07-27	<1%
146	Submitted works	Universitas Kristen Wira Wacana Sumba on 2026-06-17	<1%
147	Submitted works	Universitas Respati Indonesia on 2026-06-06	<1%
148	Internet	balitkabi.litbang.pertanian.go.id	<1%
149	Internet	digilib.unila.ac.id	<1%
150	Internet	eco.ojs.co.id	<1%
151	Internet	ejournal.indo-intellectual.id	<1%

152	Internet	ejournal.unib.ac.id	<1%
153	Internet	etheses.iainponorogo.ac.id	<1%
154	Internet	indhpsari.blogspot.com	<1%
155	Internet	manda.getux.com	<1%
156	Internet	qdoc.tips	<1%
157	Internet	repositori.usu.ac.id	<1%
158	Internet	repository.its.ac.id	<1%
159	Internet	repository.umrah.ac.id	<1%
160	Internet	repository.unimus.ac.id	<1%
161	Internet	riset.unisma.ac.id	<1%
162	Internet	text-id.123dok.com	<1%
163	Publication	Adilamen Mabihasu Akbar, Warnoto Warnoto, Tris Akbarillah. "Pengaruh Level A...	<1%
164	Publication	Dwi Siti Sholeha, Agus Suyatna, Kartini Herlina. "Pengaruh Lembar Kerja Peserta ...	<1%
165	Submitted works	East Union High School on 2026-07-01	<1%

166	Submitted works	Konsorsium Turnitin Relawan Jurnal Indonesia on 2024-05-05	<1%
167	Submitted works	UIN Raden Intan Lampung on 2026-04-09	<1%
168	Submitted works	UPN Veteran Yogyakarta on 2026-04-27	<1%
169	Submitted works	UPN Veteran Yogyakarta on 2026-06-12	<1%
170	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2018-02-01	<1%
171	Submitted works	Universitas Brawijaya on 2020-09-02	<1%
172	Submitted works	Universitas Pertamina on 2025-07-18	<1%
173	Submitted works	Universiti Malaysia Perlis on 2024-05-15	<1%
174	Publication	Didi Carsidi, Saparso Parso, Kharisun Kharisun, Catur Rahardjo Febrayanto. "Peng...	<1%
175	Submitted works	LPPM on 2026-05-16	<1%
176	Publication	Moch Nurhadi, Sri Surachmi W, Sri Utaminingsih. "PENGARUH MODEL PEMBELAJA...	<1%
177	Publication	Ramli Muli. "RESPON PEMBERIAN NPK ORGANIK DENGAN KOMPOS DAUN JATI (Te...	<1%
178	Submitted works	Sriwijaya University on 2021-07-12	<1%
179	Submitted works	Sriwijaya University on 2022-09-20	<1%

180	Submitted works	Universitas Airlangga on 2025-05-28	<1%
181	Submitted works	Universitas Bangka Belitung on 2026-07-15	<1%
182	Submitted works	Universitas Jenderal Soedirman on 2018-11-11	<1%
183	Submitted works	Universitas Jenderal Soedirman on 2019-11-02	<1%
184	Submitted works	Universitas Mulawarman on 2026-07-10	<1%
185	Submitted works	Universitas Muria Kudus on 2016-02-03	<1%
186	Submitted works	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2025-12-12	<1%
187	Submitted works	Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya on 2026-04-30	<1%
188	Submitted works	Universitas Nusa Cendana on 2026-06-05	<1%
189	Submitted works	Universitas Pendidikan Indonesia on 2025-01-02	<1%
190	Internet	jatp.ift.or.id	<1%

**PENGUJIAN ALAT UKUR NPK BERBASIS *NEXTION*
PADA PUPUK ORGANIK *BIOSLURRY* DENGAN
BERBAGAI METODE PENGERINGAN**

SKRIPSI



Disusun Oleh :

IRWANDI

NIM : 2022C1B018

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN**

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
MATARAM, 2026**

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemantauan kadar unsur hara dalam pupuk merupakan aspek krusial untuk menjamin efektivitas pemupukan dalam budidaya tanaman. Unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) adalah tiga komponen utama yang sangat dibutuhkan tanaman untuk berkembang secara optimal. Dalam pertanian modern, pemantauan kandungan hara tanah secara tepat sangat diperlukan agar pemupukan dapat dilakukan secara efisien dan berkelanjutan. Sebagai salah satu pendekatan yang mendukung efisiensi tersebut, sistem pertanian organik dengan pemanfaatan pupuk alami menjadi alternative yang sangat penting.

Pertanian organik di Indonesia semakin berkembang seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya produk pangan yang sehat dan ramah lingkungan. Pertanian organik merupakan sistem budidaya yang mengandalkan bahan-bahan alami dan menghindari penggunaan bahan kimia sintetis seperti pestisida dan pupuk anorganik. Sistem ini tidak hanya menjaga kesuburan tanah, tetapi juga memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan petani. Di berbagai daerah di Indonesia, praktik pertanian organik telah mulai diterapkan, baik oleh petani individu, kelompok tani, maupun lembaga swadaya masyarakat. Salah satu bentuk keberlanjutan dari kesuburan tanah adalah dengan memanfaatkan bahan-bahan alami sebagai pupuk organik (Mulyani & Hidayat, 2019).

Kebutuhan utama petani terhadap lahannya untuk budidaya pertanian dengan menambah hara-hara makro yang diperlukan tanaman. Karna makro tersebut yang sering dipraktikkan petani adalah NPK. Pengujian kadar NPK secara konvensional masih menghadapi berbagai kendala, seperti ketergantungan pada laboratorium analitik yang memerlukan waktu lama, biaya tinggi, serta penggunaan alat yang kompleks dan tidak mudah diakses oleh petani kecil maupun pelaku usaha pupuk organik skala rumah tangga (Suryani & Putra, 2019). Kondisi ini menyebabkan sebagian besar pelaku pertanian tidak dapat secara rutin memantau kandungan nutrisi dalam tanah atau pupuk yang mereka produksi. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi teknologi pengukuran NPK yang bersifat praktis, efisien, dan dapat diaplikasikan langsung di lapangan atau lokasi pengolahan pupuk organik (Ramadhani & Wibowo, 2021).

Teknologi pengukuran NPK yang efisien sangat dibutuhkan dalam mendukung pertanian persisi dan pupuk organik berbasis data. Salah satu inovasi yang berkembang adalah penggunaan alat ukur NPK berbasis *Human Machine Interface* (HMI), seperti Nextion 3.2 HMI, yang memungkinkan integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan tampilan data dalam satu perangkat (Prakosa & Sari, 2022). Teknologi ini mempermudah pengguna dalam membaca hasil pengukuran melalui tampilan grafis yang intuitif (Putra & Susanto, 2022). Kombinasi sensor NPK, mikrokontroler, dan layar Nextion menjadikan alat ini praktis digunakan, baik di lahan pertanian maupun untuk

keperluan penelitian yang membutuhkan data secara cepat dan akurat (Wijaya & Nurhalimah, 2021).

Bioslurry atau dikenal juga dengan ampas biogas merupakan hasil pengolahan kotoran ternak dan air secara anaerobik untuk menghasilkan biogas dalam reaktor. Pupuk bioslurry memberikan banyak manfaat bagi tanaman dan kesuburan tanah karena kandungan bahan organik yang tinggi sehingga dapat memperbaiki struktur tanah (Simanungkalit *et al.*, 2006). Pupuk organik seperti bioslurry merupakan hasil samping dari proses biogas yang kaya akan unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang sangat esensial dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Nugroho *et al.*, 2019).

Pengeringan merupakan tahap penting dalam pengolahan pupuk bioslurry untuk menurunkan kadar air dan meningkatkan konsentrasi unsur hara. Penelitian ini menguji kandungan N, P, dan K pada pupuk bioslurry yang dikeringkan menggunakan tiga metode: sinar matahari langsung, di bawah atap anyaman daun kelapa, dan di bawah atap paranet, serta satu kontrol tanpa pengeringan. Pengukuran kadar unsur hara dilakukan menggunakan alat ukur portabel berbasis Nextion 3.2 HMI yang mampu menampilkan hasil secara cepat dan interaktif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh masing-masing metode pengeringan terhadap kualitas pupuk serta mengevaluasi keandalan alat ukur dalam mendeteksi perubahan kadar NPK. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam memilih metode

pengeringan terbaik yang efisien dan tetap menjaga mutu pupuk bioslurry (Sutrisno et al., 2020).

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan, penting untuk mengembangkan metode yang efisien dalam mengukur kandungan unsur hara pupuk organik bioslurry. Kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) merupakan indikator utama dalam kualitas pupuk. Proses pengeringan bioslurry menggunakan berbagai metode dapat mempengaruhi kadar unsur hara tersebut dan diperlukan pengujian terhadap keakuratan alat ukur yang digunakan untuk mengukur kandungan NPK. Oleh karena itu, penelitian berjudul “Pengujian Alat Ukur NPK Berbasis Nextion Pada Pupuk Organik Bioslurry Dengan Berbagai Metode Pengeringan”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Bagaimana tingkat kinerja dan akurasi alat ukur NPK berbasis Nextion dalam mengukur kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry dengan berbagai metode pengeringan?
- 2) Bagaimana pengaruh berbagai metode pengeringan terhadap kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) menggunakan alat ukur berbasis Nextion 3.2 terhadap hasil pengujian laboratorium melalui nilai koefisien determinasi (R^2).
2. Untuk mengetahui perbedaan antara hasil pengukuran kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) menggunakan alat ukur berbasis Nextion 3.2 dan hasil pengujian laboratorium melalui uji paired sample t-test.
3. Untuk mengetahui pengaruh berbagai metode pengeringan terhadap kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry melalui uji analysis of variance (ANOVA).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi alat ukur kandungan unsur hara NPK berbasis Nextion yang praktis dan efisien.
2. Memberikan informasi praktis bagi petani dan pelaku pertanian organik dalam menentukan metode pengeringan terbaik untuk mempertahankan kandungan unsur hara pada pupuk bioslurry.
3. Menjadi referensi bagi peneliti dan akademisi dalam kajian alat ukur pertanian dan pemanfaatan pupuk organik bioslurry.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alat Ukur NPK Tanah

Kesuburan tanah adalah kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara esensial dalam jumlah dan proporsi yang seimbang, serta dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman. Kesuburan tanah merupakan salah satu faktor utama yang menentukan produktivitas lahan pertanian. Tanah yang subur mampu menyediakan unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh secara optimal. Oleh karena itu, pengukuran kesuburan tanah sangat penting untuk mengetahui kondisi tanah sebelum dilakukan penanaman atau pemupukan (Brady & Weil, 2017).

2.1.1. Laboratorium

Pengujian kandungan unsur hara NPK dalam sampel tanah atau pupuk secara laboratorium umumnya dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan terstandarisasi. Teknik ini menggunakan prinsip kimia analitik dengan metode destruksi basah (*wet digestion*) atau kering (*dry ashing*) untuk memecah sampel menjadi bentuk larut yang kemudian dianalisis. Proses destruksi ini penting karena banyak unsur hara berada dalam bentuk terikat yang tidak larut dalam air. Oleh karena itu, pengujian laboratorium memastikan bahwa seluruh kandungan hara dapat diekstraksi secara menyeluruh sebelum dilakukan analisis lebih lanjut (Rasyidi & Sulaeman, 2006).

68

Untuk pengujian Nitrogen (N), metode Kjeldahl adalah yang paling umum digunakan. Metode ini melibatkan proses pemanasan dengan asam sulfat dan katalis untuk mengubah nitrogen organik menjadi ammonium sulfat, yang kemudian ditentukan kadarnya dengan distilasi dan titrasi. Selain itu, penggunaan katalis seperti selenium atau tembaga dalam proses destruksi juga mempercepat reaksi dan membantu dekomposisi sampel lebih sempurna. Metode Kjeldahl cocok untuk pupuk organik yang memiliki kandungan nitrogen dalam bentuk kompleks. (AOAC, 2005).

156

Unsur Fosfor (P) biasanya dianalisis menggunakan metode spektrofotometri. Dalam metode ini, sampel yang telah diekstraksi direaksikan dengan molibdat amonium dan asam askorbat untuk menghasilkan warna biru yang kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu. Reaksi ini membentuk kompleks fosfomolibdenum biru yang sangat sensitif terhadap perubahan konsentrasi fosfor. Penggunaan metode ini juga dipengaruhi oleh tingkat keasaman (pH) larutan dan waktu reaksi yang harus dikontrol secara ketat (Sulaeman et al., 2005).

Sedangkan untuk Kalium (K), pengukuran biasanya dilakukan dengan menggunakan *Flame Photometer* atau *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Kalium dalam bentuk larutan menghasilkan nyala warna yang khas saat dibakar dalam api, dan intensitas nyala ini digunakan untuk menentukan konsentrasi kalium dalam sampel.

Metode ini sangat sensitif terhadap unsur logam alkali seperti kalium, sehingga hasilnya dapat diandalkan untuk analisis kadar K. Flame photometer banyak digunakan di laboratorium dengan kapasitas pengujian tinggi karena prosesnya cepat dan akura. Kalium yang bersifat mudah larut dalam air mempermudah proses ekstraksi dari sampel pupuk atau tanah (FAO, 2006).

Meskipun metode laboratorium lebih kompleks dan memerlukan waktu lebih lama, hasil yang diperoleh sangat akurat dan digunakan sebagai standar kalibrasi dalam pengembangan alat portabel. Dalam pengujian pupuk organik bioslurry, pengujian laboratorium menjadi penting sebagai pembanding hasil yang diperoleh dari alat ukur portabel. Akurasi laboratorium menjadi dasar evaluasi efektivitas sensor berbasis digital yang digunakan di lapangan. Selain itu, metode laboratorium mampu mendeteksi kontaminan atau unsur lain yang tidak terdeteksi oleh alat lapangan. Validasi hasil lapangan terhadap data laboratorium meningkatkan kepercayaan terhadap teknologi pengukuran modern (Sutedjo, 2002).

2.1.2. Alat Ukur Portabel Berbasis Nextion

Alat ukur portabel NPK berbasis Nextion merupakan perangkat teknologi yang dirancang untuk memudahkan pengukuran **kandungan unsur hara utama tanah yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K).** Alat **ini** dirancang secara ringkas dan portabel sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan pengukuran **langsung di lapangan tanpa**

memerlukan analisis laboratorium yang rumit dan memakan waktu (Mulyani & Hidayat, 2019).

Komponen utama alat ini meliputi sensor NPK digital, mikrokontroler sebagai pemroses data, dan layar HMI (Human Machine Interface) Nextion 3.2 inci yang berfungsi sebagai media interaktif antara sistem dan pengguna. Sensor NPK mendeteksi keberadaan dan konsentrasi ion-ion N, P, dan K dalam tanah, lalu mengirimkan data ke mikrokontroler untuk diproses dan ditampilkan melalui layar Nextion (Sudarmadji & Prasetyo, 2020).

Layar Nextion 3.2 HMI adalah sebuah *Human Machine Interface* (HMI) berbasis layar sentuh (*touchscreen*) yang digunakan untuk memberikan antarmuka interaktif antara pengguna dan sistem elektronik, seperti mikrokontroler. Modul ini sangat populer dalam proyek-proyek berbasis Arduino, ESP32, STM32, dan sistem *embedded* lainnya karena kemudahan integrasinya dan desain antarmukanya yang intuitif (Yuliana., *et al.*, 2021).

Layar Nextion 3.2 inci bekerja melalui komunikasi serial UART dan mendukung antarmuka grafis yang dapat dirancang menggunakan Nextion Editor. Desain antarmuka dapat menampilkan hasil dalam bentuk angka, grafik, dan indikator visual untuk memudahkan pemahaman pengguna (Santoso & Hidayat, 2021). Sensor NPK digital biasanya bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia atau fotometrik. Sensor mendeteksi ion-ion tertentu dalam tanah yang

merepresentasikan konsentrasi unsur N, P, dan K. Sinyal yang dihasilkan sensor kemudian diubah menjadi data digital melalui mikrokontroler. Namun, pengukuran dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti pH tanah, kelembaban, dan suhu, sehingga kalibrasi sensor menjadi penting untuk menjaga akurasi (Fikri & Nurdin, 2021).

Mikrokontroler seperti Arduino Uno atau ESP32 berperan sebagai pusat pemrosesan dalam sistem alat ukur ini. Mikrokontroler bertugas membaca data dari sensor, mengolah data tersebut, dan mengirimkan hasilnya ke layar Nextion. ESP32 menawarkan keunggulan tambahan berupa kemampuan konektivitas seperti Wi-Fi dan Bluetooth yang memungkinkan pengiriman data secara nirkabel, sangat mendukung sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (Syahputra & Maulana, 2020).

Nextion HMI adalah layar sentuh interaktif yang dirancang untuk sistem tertanam berbasis mikrokontroler. Dengan resolusi dan responsivitas yang baik, Nextion memungkinkan pengguna merancang antarmuka sesuai kebutuhan melalui *software* Nextion Editor. Dalam konteks alat ukur NPK, HMI ini menampilkan nilai-nilai N, P, dan K serta menu interaktif untuk kalibrasi, penyimpanan data, dan pemantauan historis. Selain itu, tampilan grafis yang intuitif memudahkan pengguna dari kalangan non-teknis untuk mengoperasikan alat secara mandiri di lapangan (Putra & Susanto, 2022).

Dalam penelitian terhadap pupuk organik bioslurry, alat portabel ini dapat digunakan untuk mengukur kandungan hara sebelum dan sesudah perlakuan pengeringan. Alat ini memungkinkan pengambilan data yang cepat dan efisien di lapangan tanpa proses laboratorium, mendukung analisis komparatif terhadap berbagai metode pengeringan seperti oven, matahari, dan pengering mekanis. Penggunaan alat ini juga mempercepat proses pengambilan keputusan terkait metode pengolahan terbaik yang mempertahankan kandungan hara optimal dalam pupuk (Nurfajri & Hasan, 2023).

Penggunaan alat ukur NPK portabel berbasis Nextion mendukung konsep pertanian presisi, yaitu penerapan teknologi untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya pertanian. Dengan alat ini, petani dapat mengetahui kebutuhan hara tanaman secara tepat dan memberikan pupuk secara efisien. Hal ini berkontribusi dalam meningkatkan hasil produksi, menekan biaya, dan menjaga kelestarian lingkungan. Keberada alat ini menjadi solusi praktis untuk monitoring kualitas tanah secara berkala tanpa perlu bergantung pada laboratorium. (Irawan & Siregar, 2021).

2.2. Unsur Hara Tanah

Unsur hara tanah merupakan nutrisi penting yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh dan berkembang secara optimal. Unsur hara ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu makro dan mikro. Unsur hara makro meliputi nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dibutuhkan dalam jumlah besar. Ketiga

unsur ini sangat mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil pertanian. Ketersediaan unsur hara yang cukup akan meningkatkan produktivitas tanaman, sedangkan kekurangan unsur hara dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat (Handayani & Suryani, 2018).

2.2.1. Nitrogen (N)

Nitrogen adalah unsur hara makro utama yang sangat dibutuhkan tanaman untuk menunjang pertumbuhan vegetatif. Unsur ini merupakan komponen utama dalam pembentukan asam amino, protein, enzim, dan klorofil yang terlibat langsung dalam proses fotosintesis dan metabolisme tanaman. Tanaman menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+), tergantung pada kondisi lingkungan dan jenis tanah. Ketersediaan nitrogen sangat dipengaruhi oleh proses mineralisasi bahan organik dan aktivitas mikroorganisme tanah. Oleh karena itu, keseimbangan antara bentuk nitrogen dan ketersediaannya sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal (Wibowo & Supriyanto, 2020).

Jika kandungan nitrogen terlalu tinggi, tanaman dapat mengalami pertumbuhan vegetatif yang berlebihan seperti daun terlalu lebat dan batang lunak. Kondisi ini menyebabkan tanaman menjadi lebih rentan terhadap serangan patogen, hama, serta stres lingkungan seperti kekeringan. Selain itu, kelebihan nitrogen dapat memperlambat fase generatif tanaman seperti pembentukan bunga dan buah, sehingga menurunkan produktivitas akhir. Dalam sistem pertanian intensif,

kelebihan nitrogen juga berisiko mencemari lingkungan akibat pencucian ke dalam air tanah (Prasetya & Nuraini, 2021).

Nitrogen sangat penting dalam pembentukan klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis, sehingga secara langsung menentukan laju pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Tanaman yang kekurangan nitrogen akan menunjukkan daun berwarna pucat atau kuning (klorosis), batang kecil, dan pertumbuhan terhambat. Sebaliknya, ketersediaan nitrogen dalam jumlah cukup dan seimbang dapat meningkatkan pembentukan biomassa dan hasil produksi. Manajemen pemupukan nitrogen yang tepat dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan menjaga kesehatan tanah jangka panjang (Hidayat & Fitriani 2022).

2.2.2. Fosfor (P)

Fosfor adalah unsur hara makro esensial yang memiliki peran vital dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia tanaman. Unsur ini berperan penting dalam pembentukan ATP (*adenosin trifosfat*), senyawa yang menyimpan dan mentransfer energi dalam sel. Fosfor juga terlibat dalam sintesis asam nukleat (DNA dan RNA), pembelahan sel, dan perkembangan akar. Pada fase awal pertumbuhan, fosfor mendorong pembentukan sistem akar yang kuat dan perkembangan tunas. Kekurangan fosfor dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, warna daun menjadi keunguan, dan produksi hasil panen menurun secara signifikan (Sari & Sunaryono, 2021).

Kelebihan fosfor di tanah umumnya jarang terjadi karena mobilitasnya rendah, tetapi bisa terjadi akibat aplikasi pupuk berlebihan. Akumulasi fosfor dalam tanah dapat mengganggu keseimbangan hara mikro seperti zinc (Zn) dan besi (Fe), yang menyebabkan defisiensi hara mikro pada tanaman. Selain itu, jika terlarut dalam air irigasi atau hujan, fosfor berpotensi mencemari perairan dan menimbulkan eutrofikasi yang merusak ekosistem air. Pemupukan fosfor perlu disesuaikan dengan hasil uji tanah dan kebutuhan tanaman, serta disertai teknik konservasi lahan (Prihatin & Sari, 2020).

127 Fosfor berpengaruh besar pada pertumbuhan akar dan perkembangan sistem reproduksi tanaman. Dalam fase awal pertumbuhan, fosfor membantu pembentukan akar yang kuat sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan hara lain. Fosfor juga mempercepat pembungaan dan pematangan buah, yang sangat penting dalam produksi tanaman hortikultura dan pangan. Kekurangan fosfor biasanya ditunjukkan oleh daun tua berwarna keunguan serta pertumbuhan tanaman yang terhambat. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan fosfor yang cukup akan mendukung produktivitas dan kualitas hasil pertanian (Hamidah & Kusuma, 2022).

54 2.2.3. Kalium (K)

Kalium adalah unsur hara makro yang tidak menjadi bagian dari struktur senyawa organik tanaman, tetapi berfungsi sebagai pengatur

dalam berbagai proses fisiologis. Unsur ini penting dalam pengaturan tekanan osmotik, aktivitas enzim, pembukaan stomata, dan distribusi hasil fotosintesis. Kalium juga membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman serta ketahanan terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan suhu ekstrem. Bentuk kalium yang tersedia bagi tanaman adalah ion K^+ , yang diserap dari larutan tanah (Marpaung & Purba, 2022).

112

Tanah yang mengandung kalium tinggi dapat meningkatkan kualitas hasil tanaman, seperti rasa buah, ukuran umbi, dan ketahanan pasca panen. Namun, kelebihan kalium dapat menyebabkan antagonisme terhadap unsur lain seperti magnesium (Mg) dan kalsium (Ca), yang justru menurunkan ketersediaan hara tersebut bagi tanaman. Selain itu, pada beberapa jenis tanaman, kelebihan kalium dapat menyebabkan penghambatan pembentukan protein dan klorofil. Oleh sebab itu, penting dilakukan pengujian kadar kalium secara berkala sebelum aplikasi pemupukan skala besar dilakukan (Wulandari & Riyanto, 2021).

79

Peran kalium sangat besar dalam membantu transportasi hasil fotosintesis dari daun ke organ penyimpanan seperti buah, biji, dan umbi. Kalium juga memperkuat jaringan tanaman sehingga batang lebih kokoh dan tidak mudah rebah. Tanaman yang kekurangan kalium akan menunjukkan gejala seperti tepi daun terbakar (*scorch*), pertumbuhan lambat, dan produksi buah yang rendah. Kalium sering

99

dianggap sebagai unsur kualitas karena berpengaruh langsung terhadap mutu hasil panen. Ketersediaan kalium yang cukup sangat penting untuk meningkatkan hasil produksi pertanian secara menyeluruh (Siregar & Anggraini, 2023).

2.2.4. Standar Kandungan NPK Bioslurry dalam Pertanian

Bioslurry merupakan hasil samping dari proses fermentasi anaerob pada biogas yang masih mengandung unsur hara penting bagi pertumbuhan tanaman, terutama Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Dalam bidang pertanian, bioslurry dimanfaatkan sebagai pupuk organik karena mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Kandungan unsur hara pada bioslurry dipengaruhi oleh jenis bahan baku, proses fermentasi, kadar air, serta metode pengeringan yang digunakan selama pengolahan pupuk organik. Kandungan standar unsur hara pupuk organik padat sektor pertanian berada pada kisaran sebagai berikut:

Tabel 1. Standar Kandungan NPK Bioslurry

Unsur Hara	Kisaran Standar Pupuk Organik Padat
Nitrogen (N)	1–3%
Fosfor (P)	0,1–1%
Kalium (K)	0,5–2%

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro yang berfungsi dalam pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama pada pembentukan daun, batang, dan klorofil. Fosfor (P) berperan dalam pembentukan akar, pembungaan, pembentukan biji, serta proses transfer energi dalam

tanaman. Sementara itu, Kalium (K) berfungsi dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, membantu proses fotosintesis, serta menjaga keseimbangan air dalam jaringan tanaman. Kandungan unsur hara pada pupuk organik dipengaruhi oleh bahan baku organik, proses fermentasi, homogenitas bahan, dan tingkat kadar air selama proses pengolahan. Menurut penelitian Yulianto et al. (2020), kandungan NPK pada pupuk organik dapat mengalami perubahan tergantung proses pengolahan dan metode pengeringan yang digunakan.

2.3. Pupuk Organik Bioslurry

Pupuk organik berasal dari makhluk hidup, baik itu tumbuhan maupun hewan. Biasanya, limbah dari tanaman seperti dedaunan kering, jerami, dan jenis tanaman lainnya, serta limbah dari peternakan seperti kotoran sapi, kotoran kerbau, dan kotoran hewan lainnya dijadikan bahan utama. Berbagai hewan ternak yang dapat menghasilkan pupuk organik antara lain sapi, kambing, domba, kuda, kerbau, dan ayam. Kotoran tersebut mengandung bahan organik dan unsur hara yang sangat bermanfaat bagi kesuburan tanah. Pupuk organik ini diproses secara alami melalui fermentasi atau dekomposisi untuk menghasilkan nutrisi yang dibutuhkan tanaman (Setiawan, 2010).

Biogas adalah gas yang dihasilkan melalui pencernaan anaerobik atau fermentasi zat organik, termasuk kotoran manusia dan hewan, serta sampah rumah tangga. Biogas sebagian besar terdiri dari metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Residu biogas yang merupakan produk sampingan dari

proses pembangkitan biogas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik bagi tanaman. Pupuk organik merupakan hasil akhir dari konversi kotoran hewan dan berfungsi sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Data tim BIRU tahun 2012 menunjukkan bahwa pupuk organik mencakup unsur hara makro esensial seperti NPK (nitrogen, fosfor, dan kalium), serta unsur mikro tambahan seperti magnesium (Mg) dan kalsium. Kalsium (Ca) dan Belerang (S) (Tim Biogas Rumah atau BIRU, 2012).

Pupuk organik bioslurry merupakan salah satu jenis pupuk organik yang berasal dari hasil samping proses fermentasi kotoran hewan, khususnya kotoran sapi, melalui sistem biogas yang berlangsung secara anaerobik dalam kondisi tertutup. Pupuk ini tergolong sebagai pupuk organik karena seluruh komponen penyusunnya berasal dari bahan organik alami. Bioslurry memiliki peran penting dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, serta menunjang pertumbuhan tanaman dengan cara menyediakan unsur hara secara berkelanjutan. Selain itu, penggunaannya juga terbukti mampu meningkatkan hasil produksi pertanian secara signifikan tanpa mencemari lingkungan (Putri & Yuliastri, 2022).

Bioslurry merupakan hasil samping dari proses fermentasi anaerobik campuran kotoran ternak dan air dalam sistem biogas tertutup. Selama proses ini, terjadi pemecahan bahan organik oleh mikroorganisme tanpa kehadiran oksigen, menghasilkan dua produk utama: gas biometana dan residu berbentuk cair atau padat yang dikenal sebagai bioslurry. Limbah ini, baik dalam bentuk cair maupun padat, tergolong sebagai pupuk organik karena

124 mengandung unsur hara serta bahan organik hasil fermentasi yang berasal
130 dari kotoran hewan. Oleh karena itu, bioslurry dapat dimanfaatkan secara
langsung sebagai pupuk untuk menyuburkan tanah dan meningkatkan
pertumbuhan tanaman secara alami tanpa tambahan bahan kimia sintetis
(Mulyana, 2012).

175 Bioslurry mencakup unsur-unsur penting yang penting untuk
pertumbuhan tanaman. Agus dan Andoko (2013) menyatakan bahwa
64 Nitrogen, Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan
12 Sulfur (S) sangat penting dalam jumlah yang tinggi, begitu pula dengan unsur
hara mikro yang dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit. Mirip dengan
Besi (Fe), Mangan (Mn), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn). Bioslurry biogas
36 terdiri dari bahan organik, karbon (C) nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K),
dan karbon ke nitrogen rasio (C/N), yang penting untuk pertumbuhan
50 tanaman. Bioslurry sangat bermanfaat untuk menyuburkan lahan dan
meningkatkan hasil tanaman budidaya.

Limbah biogas dapat diubah menjadi pupuk yang disebut bioslurry,
yang dapat berbentuk cair atau padat. Memproduksi pupuk dari bioslurry
biogas adalah proses sederhana yang melibatkan pemisahan padatan dan
cairan. Bioslurry yang dipadatkan mengalami dehidrasi melalui paparan sinar
matahari atau udara sehingga menghasilkan pupuk padat. Cairan bioslurry
diaerasi menggunakan pompa udara, serupa dengan yang ditemukan di
36 akuarium, selama 24 jam untuk menghilangkan gas dan menstabilkan cairan,
guna menghasilkan pupuk cair (Bintang, 2010).

Bioslurry memperbaiki struktur tanah dan mencegah hilangnya unsur hara karena konsentrasi asam humatnya, yang biasanya bervariasi antara 10–20%. Selain kadar asam humatnya yang cukup tinggi, bioslurry menawarkan banyak keunggulan dibandingkan kotoran hewan atau pupuk kandang biasa. Ini berfungsi sebagai pupuk yang efektif untuk lahan pertanian dengan secara efektif menetralkan tanah asam, meningkatkan kadar humus sebesar 10-12% untuk meningkatkan kesuburan tanah, dan mendorong pertumbuhan cacing dan mikroba tanah yang bermanfaat untuk perkembangan tanaman. Bioslurry memiliki nilai gizi yang lebih tinggi, khususnya nitrogen (N), dibandingkan dengan kotoran/kompos atau pupuk kandang segar. Bioslurry yang diterapkan dengan benar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan hasil panen rata-rata 10-30% jika dibandingkan dengan pupuk kandang biasa (Agus & Andoko, 2013)

2.4. Metode Pengeringan Pupuk Organik

Pengeringan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan pupuk organik karena berfungsi untuk menurunkan kadar air pada bahan sehingga lebih stabil dan tahan disimpan dalam jangka waktu lama. Kadar air yang tinggi pada pupuk organik dapat menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme patogen, pembusukan, serta penurunan kualitas unsur hara. Oleh karena itu, proses pengeringan diperlukan untuk menjaga kualitas fisik dan kimia dari pupuk sebelum digunakan atau dikemas. Selain itu, pengeringan juga berperan dalam menurunkan berat dan volume bahan, sehingga mempermudah distribusi dan aplikasi di lapangan. Metode pengeringan umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu pengeringan alami dan

pengeringan mekanis. Pengeringan yang efektif akan menghasilkan pupuk dengan kadar air rendah, tidak berbau, serta memiliki kandungan hara yang tetap terjaga (Prihatiningtyas, 2020).

Pupuk organik bioslurry merupakan hasil samping dari proses biogas yang kaya akan unsur hara dan sangat bermanfaat bagi kesuburan tanah. Namun, karena bioslurry berbentuk cair dengan kadar air tinggi, maka perlu dilakukan pengeringan untuk mengubahnya menjadi bentuk padat atau semi-padat agar mudah disimpan dan diaplikasikan di lahan. Pengeringan ini juga bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi nutrisi serta memperpanjang umur simpan pupuk. Dalam hal ini, proses pengeringan menjadi tahap penting yang menentukan kualitas akhir produk pupuk (Misnah, 2024).

Pengeringan yang optimal juga berpengaruh terhadap kestabilan dan konsentrasi unsur hara seperti N, P, dan K (Sutrisno et al., 2020). Oleh karena itu, metode pengeringan perlu diperhatikan agar kandungan hara tidak rusak akibat perlakuan suhu atau pencemaran lingkungan selama proses berlangsung. Dalam penelitian ini digunakan tiga metode pengeringan berbeda yang umum diterapkan dalam skala rumah tangga atau petani lokal, yaitu pengeringan langsung menggunakan sinar matahari, pengeringan di bawah atap anyaman daun kelapa, dan pengeringan di bawah atap paranet. Berikut ini dipaparkan tiga macam metode teknis pengeringan yaitu:

2.4.1. Pengeringan Paranet

Paranet merupakan bahan peneduh berbentuk jaring plastik yang biasa digunakan dalam kegiatan pertanian untuk mengatur

intensitas cahaya matahari dengan ukuran kerapatan paranet yang digunakan 70%. Dalam proses pengeringan bioslurry, paranet dimanfaatkan sebagai atap pelindung untuk mengurangi paparan langsung sinar matahari terhadap bahan yang sedang dikeringkan. Tujuan utama penggunaan paranet adalah untuk menciptakan kondisi iklimat yang stabil dengan intensitas cahaya dan suhu yang terkendali, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung secara perlahan dan merata tanpa merusak kandungan unsur hara dalam bioslurry, terutama nitrogen dan kalium yang mudah menguap (Ningsih, 2020).

Keunggulan penggunaan paranet terletak pada kemampuannya menahan sebagian cahaya matahari (sekitar 30–70% tergantung jenisnya), sehingga suhu pengeringan tidak mencapai level ekstrem. Selain itu, strukturnya yang berlubang memungkinkan sirkulasi udara tetap optimal, mempercepat proses penguapan air, serta mencegah kelembapan berlebih yang dapat menyebabkan pertumbuhan mikroba patogen. Paranet juga berfungsi sebagai pelindung dari hujan, debu, dan kontaminan lain selama proses pengeringan berlangsung, sehingga produk akhir lebih higienis dan berkualitas (Ramadhan, 2021).

Pengeringan bioslurry dengan atap paranet umumnya memerlukan waktu antara 5 hingga 10 hari, tergantung ketebalan bahan dan kondisi cuaca harian. Metode ini cocok diterapkan baik

dalam skala kecil maupun menengah, terutama di daerah tropis yang memiliki fluktuasi cuaca tinggi. Dengan kontrol pengeringan yang lebih stabil, hasil akhir berupa pupuk organik kering memiliki kadar air rendah, warna yang seragam, serta kandungan nutrisi yang tetap terjaga. Ini menjadikan paranet sebagai salah satu teknologi sederhana namun efektif dalam proses pengolahan pupuk organik berbasis bioslurry (Rohmatullah & Sari, 2020).

2.4.2. Pengeringan Anyaman Daun Kelapa

Pengeringan menggunakan atap anyaman daun kelapa merupakan salah satu teknik tradisional yang diterapkan dalam proses pengeringan bioslurry. Metode ini memanfaatkan bahan alami berupa daun kelapa yang dianyam dan dipasang sebagai atap pelindung pada area pengeringan. Tujuan utama penggunaan atap ini adalah untuk menyaring intensitas sinar matahari, sehingga bioslurry tidak terpapar langsung oleh panas ekstrem yang dapat mempercepat proses pengeringan secara berlebihan dan menyebabkan degradasi unsur hara, terutama nitrogen yang mudah menguap pada suhu tinggi (Yusuf & Ramlan, 2021).

Dengan adanya penyaringan cahaya melalui anyaman, suhu pengeringan menjadi lebih stabil dan kelembapan tetap terjaga. Hal ini memungkinkan proses pengeringan berlangsung secara perlahan dan merata, sehingga kualitas bioslurry tetap terjaga baik dari segi fisik maupun kandungan nutrisinya. Metode ini juga efektif dalam

mencegah kontaminasi langsung dari debu atau mikroorganisme yang terbawa angin, karena struktur atap yang semi-tertutup tetap memungkinkan sirkulasi udara yang baik (Wahyuni, 2020).

Selain itu, penggunaan atap anyaman daun kelapa juga memiliki nilai ekonomis karena bahan bakunya mudah diperoleh, ramah lingkungan, dan tidak membutuhkan biaya operasional tambahan. Teknik ini sangat sesuai diterapkan pada skala rumah tangga atau peternakan kecil di daerah pedesaan, terutama di wilayah tropis yang memiliki intensitas sinar matahari tinggi. Durasi pengeringan menggunakan metode ini umumnya berkisar antara 5 hingga 10 hari, tergantung pada ketebalan bahan dan kondisi cuaca di lingkungan setempat. Dengan penerapan yang tepat, metode ini dapat menghasilkan pupuk bioslurry kering yang higienis, bernilai hara tinggi, serta siap digunakan untuk aplikasi pertanian (Fitriani et al., 2022).

2.4.3. Pengeringan Matahari Langsung

Metode pengeringan langsung dengan sinar matahari merupakan teknik paling sederhana dan ekonomis dalam proses pengolahan bioslurry menjadi pupuk organik kering. Proses ini dilakukan dengan cara menyebarkan bioslurry secara merata di atas permukaan datar seperti terpal, lantai semen, atau nampan logam yang diletakkan di tempat terbuka. Pengeringan berlangsung secara alami memanfaatkan energi panas dari matahari untuk menguapkan kadar

air dalam bahan. Metode ini sangat cocok diterapkan di daerah tropis yang memiliki paparan sinar matahari tinggi dan konsisten sepanjang hari (O'Shaughnessy, 2008).

Keunggulan utama dari metode ini adalah tidak memerlukan biaya operasional karena tidak menggunakan peralatan khusus atau energi tambahan. Dalam kondisi cuaca cerah, waktu pengeringan biasanya memakan waktu sekitar 5 hingga 10 hari tergantung pada ketebalan bahan dan kelembaban udara. Selain itu, proses ini ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi tambahan dan dapat dilakukan secara langsung di sekitar lokasi produksi bioslurry, seperti area peternakan atau lahan terbuka (Prayoga & Yuliani).

Namun, pengeringan sinar matahari memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Ketergantungan pada cuaca menjadi faktor utama, karena intensitas cahaya dan suhu lingkungan sangat memengaruhi efektivitas pengeringan. Bioslurry yang dikeringkan di tempat terbuka juga rentan terhadap kontaminasi debu, serangga, serta mikroorganisme dari lingkungan sekitar. Di samping itu, suhu tinggi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan hilangnya unsur volatil seperti nitrogen, sehingga menurunkan nilai hara pupuk. Oleh karena itu, pemantauan secara rutin terhadap kondisi cuaca, kebersihan bahan, serta tingkat kekeringan sangat dianjurkan untuk menjaga mutu pupuk yang dihasilkan (Lestari & Yuliana, 2021).

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu suatu metode yang bertujuan untuk mengamati dan menganalisis pengaruh suatu perlakuan terhadap objek tertentu dalam kondisi yang dikendalikan secara sistematis. Dalam penelitian ini, perlakuan yang dimaksud adalah proses pengukuran kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) pada pupuk bioslurry menggunakan dua pendekatan berbeda, yaitu alat ukur NPK berbasis Nextion 3.2 HMI dan pengujian laboratorium sebagai pembanding.

3.2. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor perlakuan, yaitu metode pengeringan pupuk organik bioslurry. Perlakuan yang diterapkan terdiri dari empat jenis perlakuan, yang masing-masing akan diuraikan sebagai berikut:

P1= Kontrol (tampa pengeringan).

P2= Pengeringan di bawah naungan anyaman daun kelapa.

P3= Pengeringan di bawah naungan paranel 70 %.

P4= Pengeringan dengan sinar matahari langsung.

Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga total terdapat dua belas unit percobaan ($4 \text{ perlakuan} \times 3 \text{ ulangan}$). Hasil dari setiap perlakuan akan dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan unsur hara N, P, dan K yang diukur menggunakan alat ukur berbasis Nextion dan dibandingkan dengan hasil uji laboratorium.

3.3. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu mulai bulan Januari sampai Maret 2026. Tahapan awal dimulai dengan persiapan alat ukur NPK berbasis, uji coba pengeringan bioslurry, pengukuran kandungan NPK menggunakan alat ukur NPK, pengujian laboratorium, dan analisis data.

Tahap selanjutnya pengambilan sampel bioslurry di lokasi fermentasi milik kelompok ternak dan dilakukan uji coba pengeringan bioslurry menggunakan tiga metode berbeda, yaitu pengeringan langsung di bawah sinar matahari, anyaman daun kelapa, dan paranet. Setiap metode berlangsung selama 5–10 hari. Selama proses pengeringan, dilakukan pemantauan suhu dan

kelembapan lingkungan guna mencatat pengaruh kondisi eksternal terhadap hasil akhir kadar air bioslurry.

Setelah proses pengeringan selesai, kegiatan dilanjutkan dengan uji coba pengukuran kandungan NPK menggunakan alat ukur NPK dan pengujian laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Sumberdaya Lahan dan Air Fakultas Pertanian dan Laboratorium Kimia FATEPA, Universitas Mataram. Kemudian seluruh data hasil pengukuran dan pengujian dianalisis menggunakan metode statistik untuk membandingkan keakuratan hasil dari kedua metode tersebut.

3.4. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Alat (Alat ukur NPK, Karung, Nampan Plastik, Paranet 70 %, Anyaman Daun Kelapa) Bahan, (pupuk organik bioslurry).

3.5. Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Siapkan ampas biogas atau bioslurry yang segar (baru di ambil dari reaktor) kemudian di lakukan pengeringan sesuai perlakuan kecuali kontrol (tidak dilakukan pengeringan). Berikut adalah langka-langka pengeringan pada masing-masing perlakuan.

Pengeringan di Bawah Naungan Anyaman Daun Kelapa.

- a) Meninbang sampel ampas biogas (bioslurry) seberat 0,5 kg masing-masing 3 ulangan.

- b) Ampas biogas yang sudah ditimbang kemudian letakkan di atas nampan plastik dan diratakan. Setelah itu sampel di jemur di bawah naungan anyaman daun kelapa selama 5-10 hari.
- c) Sampel yang sudah dikeringkan dianalisis unsur Nitrogen, Fosfor, Kalium, (NPK).

Pengeringan dibawah Naungan Paranet Dengan Kerapatan 70 %.

- a) Menimbang sampel ampas biogas (bioselurry) seberat 0,5 kg masing-masing 3 ulangan.
- b) Ampas biogas yang sudah ditimbang kemudian diletakan di atas nampan plastik dan diratakan. Setelah itu sampel jemur di bawah naungan paranet.
- c) Sampel yang sudah dikeringkan dianalisis unsur Nitrogen, Fosfor, Kalium, (NPK).

Pengeringan dengan Sinar Matarhari Langsung.

- a) Menimbang sampel ampas biogas (bioselurry) seberat 0,5 kg masing-masing 3 ulangan.
- b) Ampas biogas yang sudah ditimbang kemudian diletakan di atas nampan plastik dan diratakan. Setelah itu sampel jemur di bawah sinar matahari langsung.
- c) Sampel yang sudah dikeringkan dianalisis unsur Nitrogen, Fosfor, Kalium, (NPK).

3.6. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu:

3.6.1. Alat Ukur NPK Berbasis Nextion

Setiap sampel diukur sebanyak tiga kali untuk memastikan keakuratan dan konsistensi data. Pengukuran dilakukan setelah bioslurry selesai melalui proses pengeringan dengan tiga metode berbeda. Alat ukur NPK berbasis Nextion akan menampilkan hasil pengukuran kadar nitrogen, fosfor, dan kalium secara digital dalam satuan ppm. Proses ini dilakukan di lingkungan yang stabil secara suhu dan kelembaban agar hasil tidak terpengaruh oleh faktor eksternal.

3.6.2. Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan untuk pembandingan data terhadap sampel yang sama. Analisis laboratorium mencakup uji nitrogen menggunakan metode kjeldahl, yang efektif dalam menghitung total nitrogen dari senyawa organik dan anorganik dalam pupuk. Fosfor dianalisis menggunakan metode spektrofotometri, dimana intensitas serapan cahaya digunakan untuk menentukan konsentrasi fosfor dalam larutan hasil ekstraksi. Kalium diuji menggunakan metode *spectrophotometer* (ASS), yaitu teknik analisis yang sangat akurat untuk mengukur unsur logam dengan cara mendeteksi penyerapan radiasi cahaya oleh atom bebas.

3.7. Parameter dan Cara Pengukuran

1. Pengujian dengan alat ukur NPK pada setiap sampel setelah pengeringan selesai.
 - a) Setiap sampel diuji menggunakan alat ukur NPK berbasis Nextion.
 - b) Setiap metode pengeringan di ukur sebanyak 3 kali (ulangan) untuk mengecek konsistensi alat.
 - c) Catat hasil pengukuran N,P, dan K dari tampilan alat untuk setiap ulangan.
2. Pengujian pembandingan di laboratorium
 - a) Ambil bagian dari sampel yang sama dan kirim ke laboratorium untuk diuji kandungan N, P, dan K menggunakan metode standar kimia.
 - b) Simpan hasil laboratorium sebagai nilai rujukan untuk perbandingan hasil nilai pada alat ukur NPK.

3.8. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap, yaitu analisis matematis dan analisis statistik, dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan unsur hara dalam pupuk organik serta mengukur tingkat akurasi alat ukur NPK berbasis Nextion 3.2 HMI dibandingkan hasil laboratorium. Adapun tahapan dari analisis data ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis Matematis

Analisis matematis merupakan tahap awal yang dilakukan dengan menghitung nilai kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan

kalium (K) pada masing-masing sampel pupuk bioslurry berdasarkan hasil pengukuran. Analisis matematis dilakukan untuk mengetahui hubungan antara hasil pembacaan sensor dengan hasil pengujian laboratorium serta menentukan persamaan kalibrasi alat. Tahapan analisis matematis yang digunakan meliputi:

1) Analisis Regresi Linier

Analisis regresi linier sederhana digunakan untuk mengetahui hubungan antara hasil pembacaan alat (X) dengan hasil pengujian laboratorium (Y). Persamaan regresi linier yang digunakan yaitu:

$$Y = a + bX$$

Keterangan:

Y= hasil laboratorium

X= hasil pembacaan sensor

a= konstanta

b= koefisien regresi

Koefisien regresi dihitung menggunakan persamaan:

$$b = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Sedangkan konstanta regresi dihitung menggunakan persamaan:

$$a = \frac{\sum Y - b\sum X}{n}$$

2) Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui tingkat hubungan antara hasil pembacaan sensor dan hasil laboratorium. Nilai R^2 dihitung menggunakan persamaan:

$$R^2 = \frac{(n\sum XY - (\sum X)(\sum Y))^2}{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}$$

Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan hubungan yang semakin kuat antara hasil pembacaan sensor dan hasil laboratorium.

3) Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan dengan memasukkan data hasil pembacaan sensor ke dalam persamaan regresi sehingga diperoleh nilai hasil kalibrasi yang mendekati hasil laboratorium.

4) Presentase Error

Persentase error digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan pengukuran alat terhadap hasil laboratorium. Persentase error dihitung menggunakan persamaan:

$$Error (\%) = \frac{|Y_{lab} - Y_{kal}|}{Y_{lab}} \times 100\%$$

Keterangan:

Y_{lab} = hasil laboratorium

Y_{kal} = hasil kalibrasi sensor

2. Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan NPK bioslurry serta mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil pengukuran alat dan hasil laboratorium. Analisis statistik yang digunakan meliputi:

1) Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk mengetahui nilai rata-rata kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada setiap perlakuan metode pengeringan. Nilai rata-rata dihitung menggunakan persamaan:

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

2) Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal atau tidak. Pengujian dilakukan menggunakan uji *Shapiro-Wilk* dengan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05.

3) Uji ANOVA

Uji *Analysis of Variance* (ANOVA) digunakan untuk mengetahui pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry. Pengujian dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Kriteria pengambilan keputusan yaitu:

Jika nilai signifikansi (Sig.) < 0,05, maka terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan.

Jika nilai signifikansi (Sig.) > 0,05, maka tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan.

4) Uji Lanjut

Uji lanjut dilakukan apabila hasil ANOVA menunjukkan adanya pengaruh nyata atau sangat nyata antar perlakuan.

5) Uji-t (Paired Sample T-Test)

Uji paired sample t-test digunakan untuk mengetahui perbedaan antara hasil pengukuran alat dan hasil pengujian laboratorium setelah proses kalibrasi. Pengujian dilakukan menggunakan taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Dasar pengambilan keputusan yaitu:

Jika nilai signifikansi (Sig.) < 0,05, maka terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran alat dan hasil pengujian laboratorium.

Jika nilai signifikansi (Sig.) > 0,05, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran alat dan hasil pengujian laboratorium.

Rumus paired sample t-test yang digunakan yaitu:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}}$$

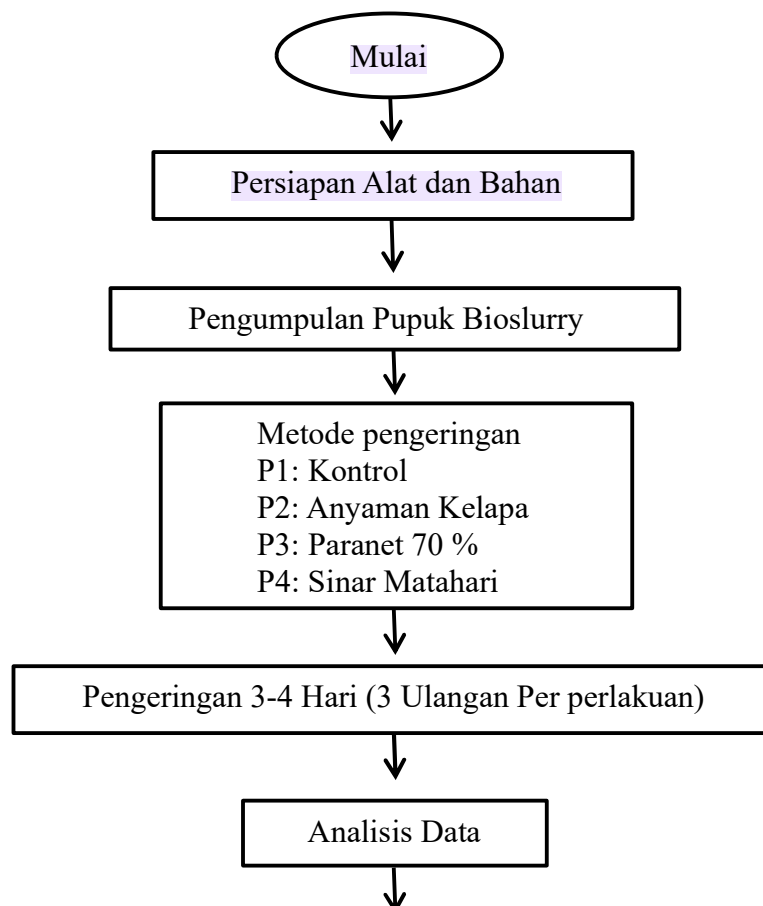
Keterangan:

$\bar{d}$ = rata-rata selisih data

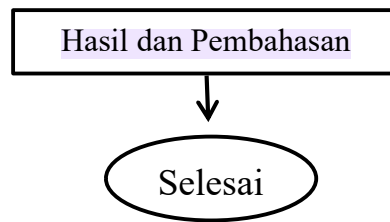
s_d = standar deviasi selisih

n = jumlah sampel.

3.9. Diagram Alir Penelitian



8



BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambar Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat ukur kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) berbasis Nextion 3.2 HMI pada pupuk organik bioslurry dengan berbagai metode pengeringan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan alat terhadap hasil pengujian laboratorium sebagai metode standar dalam analisis kandungan unsur hara. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode pengeringan terhadap perubahan kandungan unsur hara NPK pada bioslurry.

Bioslurry merupakan limbah hasil samping proses biodigester yang masih mengandung unsur hara penting bagi tanaman, seperti Nitrogen, Fosfor, dan Kalium. Kandungan unsur hara tersebut dapat dipengaruhi oleh

9

3

18

9

perlakuan pengeringan yang diberikan karena proses pengeringan dapat menyebabkan perubahan kadar air dan konsentrasi nutrisi pada bahan organik. Oleh karena itu, diperlukan metode pengukuran yang cepat dan praktis untuk mengetahui kandungan NPK pada bioslurry secara efisien.

Tahapan penelitian diawali dengan proses pengambilan sampel bioslurry yang kemudian diberikan beberapa perlakuan metode pengeringan. Sampel yang telah dikeringkan selanjutnya diuji menggunakan alat ukur NPK berbasis sensor dan dilakukan pengujian laboratorium untuk memperoleh data pembanding. Hasil pembacaan sensor yang masih berupa data mentah kemudian dianalisis menggunakan regresi linier untuk memperoleh persamaan kalibrasi antara hasil pembacaan alat dan hasil laboratorium.

Persamaan regresi yang diperoleh digunakan sebagai dasar proses kalibrasi alat sehingga hasil pembacaan sensor dapat dikonversi ke dalam satuan persen (%) yang sesuai dengan hasil laboratorium. Setelah proses kalibrasi dilakukan, data dianalisis menggunakan beberapa pengujian statistik, meliputi uji normalitas, paired sample t-test, dan analisis varians (ANOVA). Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui distribusi data penelitian, paired sample t-test digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil pengukuran alat terhadap hasil laboratorium, sedangkan ANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan unsur hara NPK bioslurry.

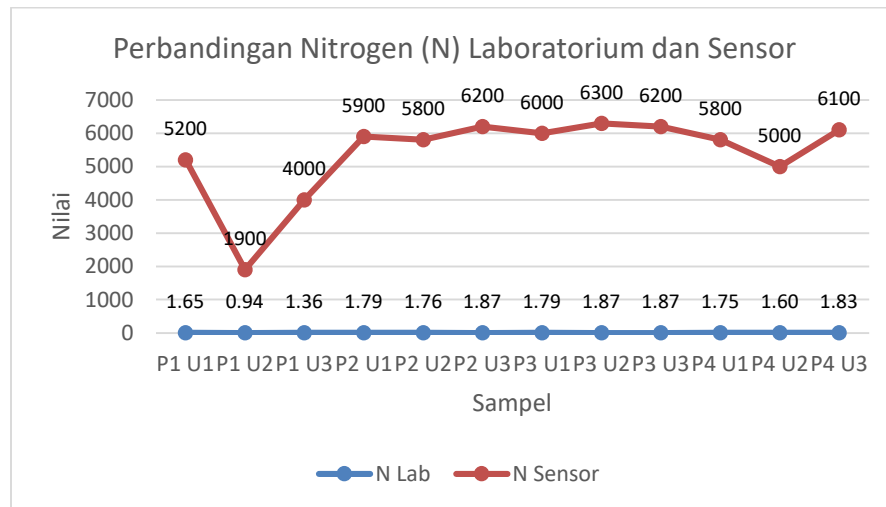
Hasil penelitian yang diharapkan adalah diperolehnya alat ukur kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) berbasis Nextion yang

memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang baik dalam mengukur kandungan unsur hara pada bioslurry. Melalui proses kalibrasi menggunakan metode regresi linier, diharapkan hasil pembacaan sensor dapat mendekati hasil pengujian laboratorium sehingga alat dapat digunakan sebagai alternatif pengukuran unsur hara secara lebih cepat, praktis, dan efisien. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menunjukkan bahwa metode pengeringan memberikan pengaruh terhadap kandungan unsur hara bioslurry, baik pada parameter Nitrogen, Fosfor, maupun Kalium. Dengan tercapainya hasil tersebut, maka pengujian alat ukur yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam proses monitoring kandungan unsur hara pupuk organik secara lebih sederhana namun tetap memiliki tingkat ketelitian yang baik.

4.2. Pengukuran Kandungan NPK

Pengukuran awal kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada pupuk organik bioslurry dilakukan menggunakan alat ukur NPK berbasis Nextion dan dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium sebagai nilai acuan. Pengukuran awal ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kandungan unsur hara pada bioslurry sebelum dilakukan proses kalibrasi. Hasil pengukuran awal digunakan sebagai dasar untuk melihat pola hubungan antara hasil pembacaan alat dan hasil laboratorium serta menentukan tingkat kesesuaian data sensor terhadap standar pengujian laboratorium.

4.1.1. Grafik Perbandingan Nitrogen (N)



Gambar 1. Perbandingan Nilai Nitrogen (N) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan grafik perbandingan Nitrogen (N), terlihat bahwa pola perubahan nilai hasil pengukuran sensor cenderung mengikuti pola hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel dengan kandungan Nitrogen rendah, seperti P1 U2 dengan nilai laboratorium sebesar 0,94, menunjukkan nilai sensor yang relatif rendah yaitu 1900, sedangkan sampel dengan kandungan Nitrogen tinggi, seperti P3 U2 dengan nilai laboratorium sebesar 1,87, menghasilkan nilai alat yang lebih tinggi yaitu 6300.

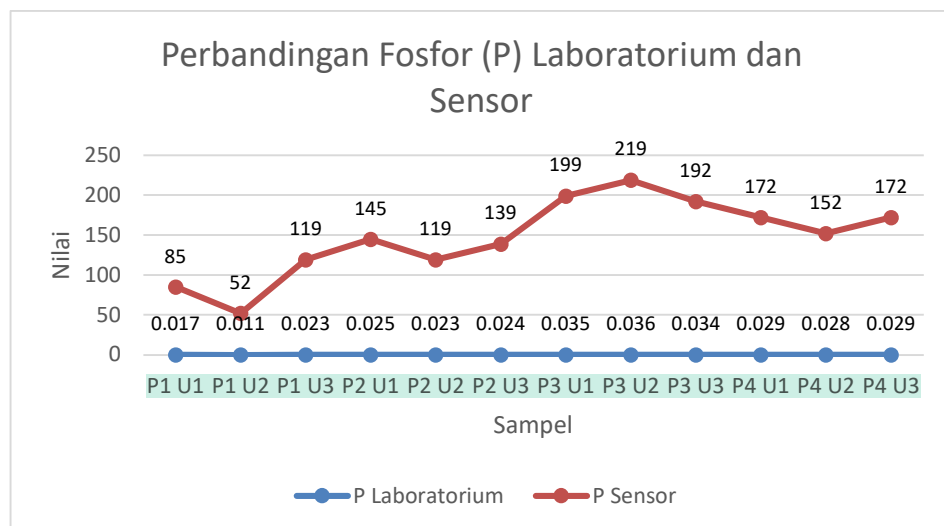
22

Temuan ini sejalan dengan penelitian Rahman et al. (2023) yang menyatakan bahwa sensor NPK berbasis elektrokimia mampu menunjukkan pola perubahan Nitrogen yang searah dengan hasil laboratorium, namun masih memiliki perbedaan nilai akibat pengaruh kadar air, homogenitas bahan, dan sensitivitas sensor terhadap ion terlarut. Penelitian oleh Prasetyo dan Nugroho (2022) juga menjelaskan bahwa pembacaan sensor Nitrogen pada pupuk organik memerlukan

3

proses kalibrasi untuk meningkatkan tingkat kesesuaian terhadap hasil laboratorium. Oleh karena itu, diperlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran sensor terhadap nilai standar laboratorium.

4.1.2. Grafik Perbandingan Fosfor (P)



Gambar 2. Perbandingan Nilai Fosfor (P) Laboratorium dan Sensor

Grafik perbandingan Fosfor (P) menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor memiliki kecenderungan pola yang searah dengan hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel dengan kandungan Fosfor rendah, seperti P1 U2 dengan nilai laboratorium sebesar 0,011, menunjukkan nilai sensor yang relatif rendah yaitu 52, sedangkan sampel dengan kandungan Fosfor tinggi, seperti P3 U2 dengan nilai laboratorium sebesar 0,036, menghasilkan nilai sensor

1

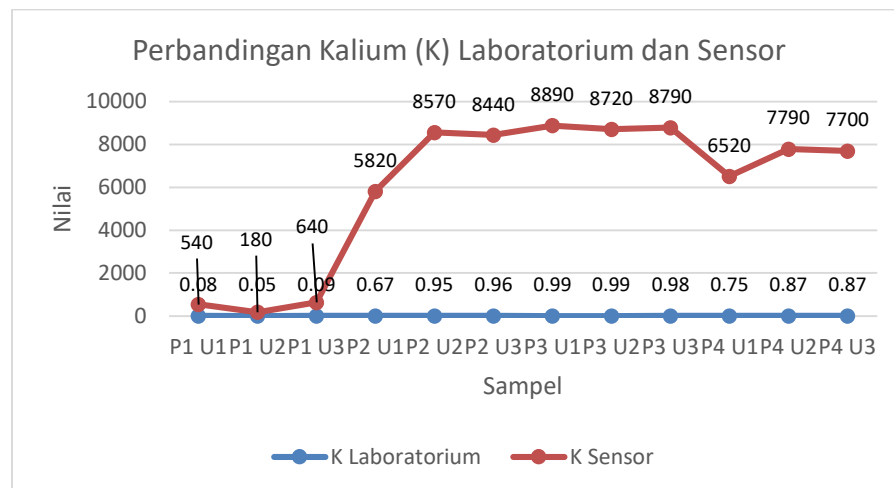
yang lebih tinggi yaitu 219. Kondisi ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kandungan Fosfor pada bioslurry dengan cukup baik.

90

Temuan ini sejalan dengan penelitian Wibowo et al. (2022) yang menunjukkan bahwa sensor Fosfor mampu mendeteksi perubahan konsentrasi unsur hara secara konsisten, meskipun hasil pembacaan awal masih memiliki selisih terhadap hasil laboratorium. Selain itu, Saputra dan Kurniawan (2021) menyatakan bahwa tingkat kelarutan ion fosfat dan homogenitas sampel sangat mempengaruhi stabilitas pembacaan sensor Fosfor pada bahan organik cair maupun semi padat. Oleh karena itu, diperlukan proses kalibrasi agar hasil pembacaan sensor dapat lebih mendekati nilai hasil laboratorium.

4

4.1.3. Grafik Perbandingan Kalium (K)



Gambar 3. Perbandingan Nilai Kalium (K) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan grafik perbandingan Kalium (K), terlihat bahwa hasil pengukuran sensor menunjukkan pola perubahan yang konsisten dengan hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel dengan

kandungan Kalium rendah, seperti P1 U2 dengan nilai laboratorium sebesar 0,05, menunjukkan nilai alat yang relatif rendah yaitu 180, sedangkan sampel dengan kandungan Kalium tinggi, seperti P3 U1 dengan nilai laboratorium sebesar 0,99, menghasilkan nilai sensor yang tinggi yaitu 8890. Hal ini mengindikasikan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi variasi kandungan Kalium antar sampel bioslurry.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Vayghan et al. (2020) yang menyatakan bahwa sensor berbasis elektrokimia memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan konsentrasi Kalium, namun hasil pengukuran dipengaruhi oleh kondisi larutan, konsentrasi ion, dan keberadaan senyawa lain dalam bahan organik. Penelitian oleh Hidayat et al. (2021) juga menjelaskan bahwa proses kalibrasi diperlukan untuk meningkatkan ketepatan pengukuran Kalium menggunakan sensor NPK berbasis elektronik. Oleh karena itu, diperlukan proses kalibrasi untuk meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran alat terhadap nilai standar laboratorium.

1.2. Analisis Kalibrasi dan Regresi

Analisis kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil pembacaan alat terhadap nilai hasil laboratorium sehingga diperoleh hubungan matematis yang dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pengukuran sensor. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan metode regresi linier sederhana antara data hasil laboratorium sebagai variabel dependen (Y) dan data hasil pembacaan

alat sebagai variabel independen (X). Persamaan regresi yang diperoleh kemudian digunakan untuk mengubah hasil pembacaan alat menjadi nilai yang mendekati hasil laboratorium. Menurut Lin et al. (2025), regresi linier merupakan metode yang efektif untuk melakukan kalibrasi sensor karena mampu menunjukkan hubungan antara data sensor dan data referensi laboratorium secara matematis.

1.2.1. Kalibrasi Nitrogen (N)

Kalibrasi Nitrogen dilakukan dengan menyesuaikan data hasil pembacaan alat dengan hasil analisis laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai pembacaan alat memiliki pola yang searah dengan hasil laboratorium, namun masih berada pada rentang skala yang berbeda sehingga diperlukan proses kalibrasi. Data hasil regresi Nitrogen (N) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Regresi Nitrogen (N)

No	Sampel	X (N Alat)	Y (N Lab)	X ²	Y ²	XY
1	P1 U1	0,53	1,65	0,2809	2,7225	0,8745
2	P1 U2	0,19	0,94	0,0361	0,8836	0,1786
3	P1 U3	0,40	1,36	0,60	1,8496	0,544
4	P2 U1	0,59	1,79	0,3481	3,2041	1,0561
5	P2 U2	0,58	1,76	0,3364	3,0976	1,0208
6	P2 U3	0,62	1,87	0,3844	3,4969	1,1594
7	P3 U1	0,60	1,79	0,3600	3,2041	1,074
8	P3 U2	0,63	1,87	0,3969	3,4969	1,1781
9	P3 U3	0,62	1,87	0,3844	3,4969	1,1594
10	P4 U1	0,58	1,75	0,3364	3,0625	1,015
11	P4 U2	0,50	1,60	0,2500	25.600	0,80
12	P4 U3	0,61	1,83	0,3721	3,3489	1,1163
Jumlah		6,45	20,08	3,65	34,42	11,17

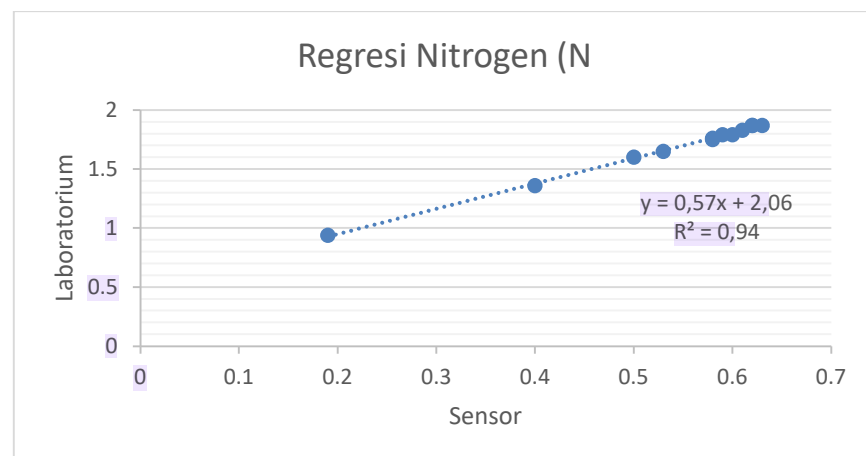
29 Berdasarkan tabel regresi linier Nitrogen (N), terlihat bahwa hasil pembacaan alat memiliki hubungan linier positif terhadap hasil pengujian laboratorium. Peningkatan nilai pembacaan sensor diikuti oleh peningkatan nilai Nitrogen laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel P3 U2 dan P3 U3 menunjukkan nilai Nitrogen laboratorium tertinggi sebesar 1,87% dengan nilai pembacaan alat masing-masing sebesar 0,63 dan 0,62, sedangkan sampel P1 U2 memiliki nilai Nitrogen laboratorium terendah sebesar 0,94% dengan nilai alat sebesar 0,19. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kandungan Nitrogen antar sampel secara konsisten. Nilai jumlah data ΣX sebesar 6,45, ΣY sebesar 20,08, dan ΣXY sebesar 11,17 menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara hasil pembacaan alat dan hasil laboratorium.

1 94 Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Sulaeman et al. (2024) yang menyatakan bahwa hubungan linier antara hasil sensor dan hasil laboratorium menunjukkan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang baik terhadap perubahan kandungan Nitrogen pada

57

bahan organik. Selain itu, penelitian Rahman et al. (2023) menunjukkan bahwa metode regresi linier efektif digunakan sebagai dasar dalam proses kalibrasi alat ukur unsur hara karena mampu meningkatkan tingkat akurasi pengukuran sensor terhadap data referensi laboratorium. Dengan demikian, hasil regresi linier menunjukkan bahwa alat ukur NPK berbasis Nextion memiliki kemampuan yang baik dalam merepresentasikan pola perubahan kandungan Nitrogen dan layak digunakan sebagai dasar dalam proses kalibrasi pengukuran.

92



Gambar 4. Analisis Regresi Nitrogen (N)

10

Berdasarkan grafik hasil analisis regresi linier antara nilai Nitrogen (N) hasil pembacaan alat dan hasil analisis laboratorium, diperoleh persamaan $Y = 0,57 + 2,06X$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 yang termasuk dalam kategori kuat. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan linier positif yang sangat tinggi antara kedua variabel, dimana setiap peningkatan nilai Nitrogen dari alat akan diikuti oleh peningkatan nilai Nitrogen laboratorium

secara konsisten. Nilai konstanta sebesar 0,57 menunjukkan nilai dasar pada saat variabel X mendekati nol, sedangkan koefisien regresi 2,06 menunjukkan besarnya perubahan nilai Y terhadap setiap satuan perubahan X. Dengan demikian, model regresi Nitrogen ini memiliki tingkat akurasi dan validitas yang sangat tinggi sehingga layak digunakan sebagai persamaan kalibrasi. Pada hasil kalibrasi N dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Nitrogen (N)

NO	N Lab	N Sensor (%)	N Kalibrasi	Selisish	Error (%)
1	1,65	0,53	1,66	0,01	0,61
2	0,94	0,19	0,93	-0,01	0,65
3	1,36	0,40	1,37	0,01	0,74
4	1,79	0,59	1,78	-0,01	0,56
5	1,76	0,58	1,77	0,01	0,57
6	1,87	0,62	1,86	-0,01	0,53
7	1,79	0,60	1,80	0,01	0,56
8	1,87	0,63	1,88	0,01	0,53
9	1,87	0,62	1,86	-0,01	0,53
10	1,75	0,58	1,76	0,01	0,57
11	1,60	0,50	1,59	-0,01	0,63
12	1,83	0,61	1,84	0,01	0,55

Berdasarkan tabel hasil kalibrasi Nitrogen (N), terlihat bahwa nilai hasil kalibrasi memiliki kedekatan yang sangat tinggi terhadap hasil pengujian laboratorium. Selisih antara nilai laboratorium dan hasil kalibrasi pada seluruh sampel hanya berada pada rentang -0,01

3

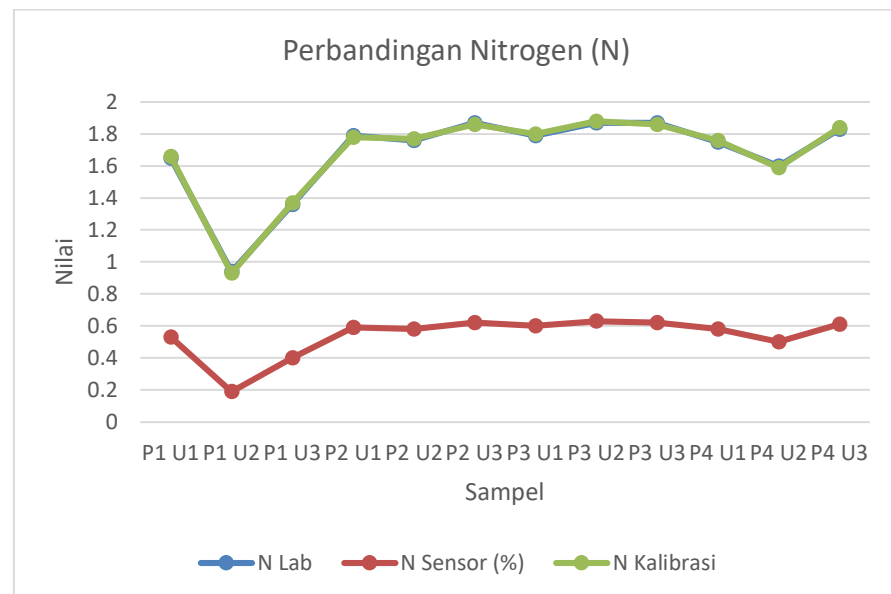
hingga 0,01, sehingga menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu memperbaiki hasil pembacaan sensor secara signifikan. Sampel P1 U1 memiliki nilai Nitrogen laboratorium sebesar 1,65% dan hasil kalibrasi sebesar 1,66% dengan error sebesar 0,61%, sedangkan sampel P1 U2 menunjukkan nilai laboratorium sebesar 0,94% dan hasil kalibrasi sebesar 0,93% dengan error sebesar 0,65%. Selain itu, sampel dengan kandungan Nitrogen tinggi seperti P3 U2 memiliki nilai laboratorium sebesar 1,87% dan hasil kalibrasi sebesar 1,88% dengan error sebesar 0,53%. Nilai error pada seluruh sampel berada di bawah 1%, sehingga menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran yang sangat kecil.

181

16

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sulaeman et al. (2024) yang menyatakan bahwa proses kalibrasi pada sensor unsur hara berbasis elektronik mampu meningkatkan tingkat akurasi pengukuran dengan memperkecil selisih antara hasil sensor dan hasil laboratorium. Penelitian oleh Rahman et al. (2023) juga menunjukkan bahwa penerapan regresi linier pada proses kalibrasi sensor Nitrogen mampu menurunkan tingkat error pengukuran sehingga hasil pembacaan alat menjadi lebih mendekati nilai standar laboratorium. Dengan demikian, proses kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini terbukti efektif dalam meningkatkan reliabilitas alat ukur NPK berbasis Nextion.

143



Gambar 5. Perbandingan Nilai Nitrogen (N) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan grafik perbandingan Nitrogen (N), terlihat bahwa hasil pembacaan alat dan hasil kalibrasi memiliki pola perubahan yang cenderung mengikuti hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Pada sampel P1 U2, nilai Nitrogen laboratorium sebesar 0,94 dengan hasil alat sebesar 0,19 dan hasil kalibrasi sebesar 0,93. Sedangkan pada sampel dengan kandungan Nitrogen tinggi seperti P3 U2, nilai laboratorium sebesar 1,87 dengan hasil alat sebesar 0,63 dan hasil kalibrasi sebesar 1,88. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai setelah kalibrasi menjadi jauh lebih mendekati hasil laboratorium dibandingkan sebelum kalibrasi. Secara visual, garis hasil kalibrasi tampak berada sangat dekat dengan garis laboratorium, sedangkan garis hasil alat sebelum kalibrasi masih menunjukkan selisih yang cukup besar.

Kondisi ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu meningkatkan tingkat akurasi sensor dalam mengukur kandungan Nitrogen pada bioslurry. Pengukuran Nitrogen menggunakan sensor elektronik dapat dipengaruhi oleh kadar air, homogenitas bahan, serta karakteristik respon sensor terhadap unsur hara yang terlarut dalam bahan organik (Sulaeman et al., 2024). Oleh karena itu, proses kalibrasi diperlukan agar hasil pembacaan alat dapat lebih sesuai dengan nilai standar laboratorium sehingga sensor dapat digunakan secara lebih andal dalam pengukuran kuantitatif.

1.2.2. Kalibrasi Fosfor (P)

Kalibrasi Fosfor dilakukan untuk menyesuaikan hasil pembacaan alat terhadap hasil laboratorium sehingga diperoleh nilai pengukuran yang lebih akurat. Hasil kalibrasi diperoleh melalui persamaan regresi linier yang dibentuk dari hubungan antara nilai alat dan nilai laboratorium. Data hasil regresi Fosfor (P) dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Analisis Regresi Fosfor (P) Laboratorium dan Sensor

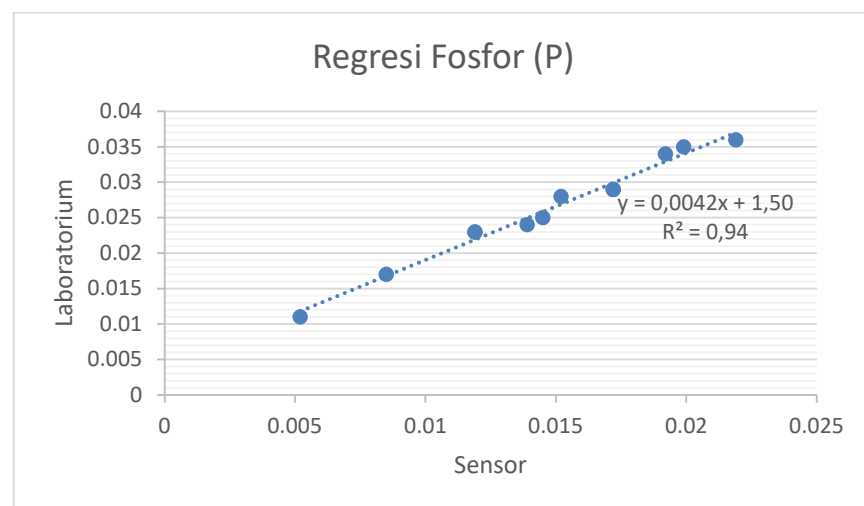
NO	X (P Sensor)	Y (P Lab)	X ²	Y ²	XY
1	0,0085	0,017	0,00007225	0,000289	0,0001445
2	0,0052	0,011	0,00002704	0,000121	0,0000572
3	0,0119	0,023	0,00014161	0,000529	0,0002737
4	0,0145	0,025	0,00021025	0,000625	0,0003625
5	0,0119	0,023	0,00014161	0,000529	0,0002737
6	0,0139	0,024	0,00019321	0,000576	0,0003336
7	0,0199	0,035	0,00039601	0,001225	0,0006965
8	0,0219	0,036	0,00047961	0,001296	0,0007884
9	0,0192	0,034	0,00036864	0,001156	0,0006528

10	0,0172	0,029	0,00029584	0,000841	0,0004988
11	0,0152	0,028	0,00023104	0,000784	0,0004256
12	0,0172	0,029	0,00029584	0,000841	0,0004988
Jumlah	0,1766	0,314	0,00285	0,0108	0,00499

Berdasarkan tabel regresi linier Fosfor (P), terlihat bahwa hasil pembacaan sensor memiliki hubungan linier positif terhadap hasil pengujian laboratorium. Peningkatan nilai pembacaan sensor diikuti oleh peningkatan kandungan Fosfor laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel P3 U2 menunjukkan nilai Fosfor laboratorium tertinggi sebesar 0,036% dengan nilai pembacaan sensor sebesar 0,0219, sedangkan sampel P1 U2 memiliki nilai Fosfor laboratorium terendah sebesar 0,011% dengan nilai sensor sebesar 0,0052. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kandungan Fosfor antar sampel secara konsisten. Nilai jumlah ΣX sebesar 0,1766, ΣY sebesar 0,314, dan ΣXY sebesar 0,00499 menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara hasil pembacaan sensor dan hasil laboratorium.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Rubus et al. (2020) yang menyatakan bahwa sensor Fosfor berbasis elektrokimia mampu menunjukkan hubungan linier yang baik terhadap hasil laboratorium setelah dilakukan proses kalibrasi. Penelitian lain oleh Saputra dan Kurniawan (2021) juga menjelaskan bahwa metode regresi linier dapat meningkatkan kestabilan dan ketelitian pengukuran Fosfor pada pupuk organik. Dengan demikian, hasil regresi linier Fosfor menunjukkan bahwa alat ukur NPK berbasis

Nextion memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan kandungan Fosfor dan layak digunakan sebagai dasar dalam pembentukan persamaan kalibrasi pengukuran.



Gambar 6. Analisis Regresi Fosfor (P) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan grafik hasil analisis regresi linier antara nilai Fosfor (P) hasil pembacaan sensor dan hasil analisis laboratorium, diperoleh persamaan $Y = 0,0042 + 1,50X$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Hal ini menunjukkan adanya hubungan linier positif yang kuat antara kedua variabel, di mana peningkatan nilai Fosfor dari alat diikuti oleh peningkatan nilai Fosfor laboratorium secara searah. Nilai konstanta sebesar 0,0042 menunjukkan nilai awal saat variabel X mendekati nol, sedangkan koefisien regresi 1,50 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan nilai alat akan meningkatkan nilai Fosfor laboratorium sebesar 1,50 satuan. Dengan demikian, model regresi Fosfor ini memiliki tingkat kesesuaian yang baik dan dapat

12

digunakan sebagai persamaan kalibrasi. Data hasil kalibrasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Kalibrasi Fosfor (P)

NO	P Lab	P Sensor (%)	P Kalibrasi	Selisih	Error (%)
1	0,017	0,0085	0,017	0	0
2	0,011	0,0052	0,012	0,001	9,09
3	0,023	0,0119	0,022	-0,001	4,34
4	0,025	0,0145	0,026	0,001	4,00
5	0,023	0,0119	0,022	-0,001	4,35
6	0,024	0,0139	0,025	0,001	4,17
7	0,035	0,0199	0,034	-0,001	2,86
8	0,036	0,0219	0,037	0,001	2,78
9	0,034	0,0192	0,033	-0,001	2,94
10	0,029	0,0172	0,030	0,001	3,45
11	0,028	0,0152	0,027	-0,001	3,57
12	0,029	0,0172	0,030	0,001	3,45

3

3

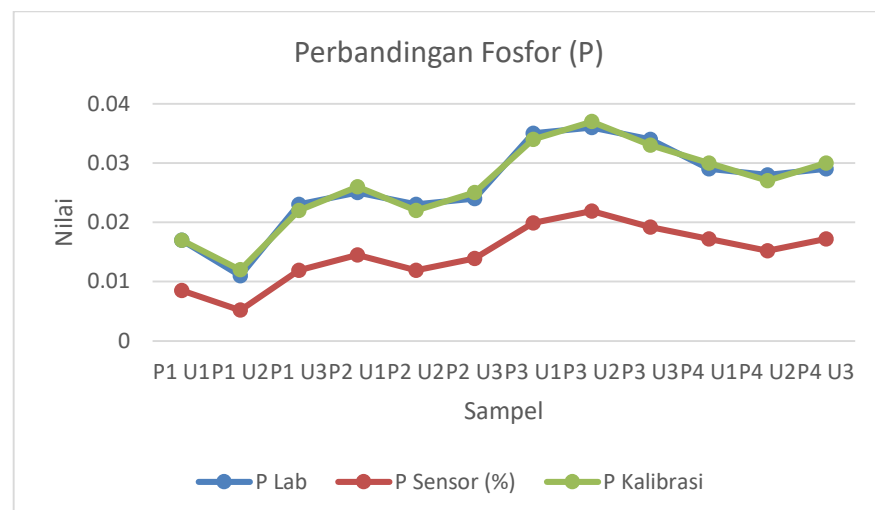
Berdasarkan tabel hasil kalibrasi Fosfor (P), terlihat bahwa hasil pengukuran setelah kalibrasi memiliki tingkat kedekatan yang tinggi terhadap hasil pengujian laboratorium. Nilai selisih antara hasil laboratorium dan hasil kalibrasi berada pada rentang -0,001 hingga 0,001, sehingga menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu memperbaiki hasil pembacaan sensor secara signifikan. Sampel P1 U1 menunjukkan hasil laboratorium dan hasil kalibrasi yang sama, yaitu sebesar 0,017% dengan error sebesar 0%, sedangkan sampel P1 U2 memiliki nilai laboratorium sebesar 0,011% dan hasil kalibrasi sebesar 0,012% dengan error sebesar 9,09%. Nilai error tertinggi terjadi pada sampel dengan kandungan Fosfor rendah, sedangkan sampel dengan kandungan Fosfor yang lebih tinggi seperti P3 U2 memiliki nilai laboratorium sebesar 0,036% dan hasil

1

85

kalibrasi sebesar 0,037% dengan error sebesar 2,78%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran cenderung menurun pada konsentrasi Fosfor yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Rubus et al. (2020) yang menyatakan bahwa proses kalibrasi pada sensor Fosfor berbasis elektrokimia mampu meningkatkan kestabilan dan ketepatan hasil pengukuran terhadap data laboratorium. Selain itu, penelitian Saputra dan Kurniawan (2021) menunjukkan bahwa penggunaan metode regresi linier pada proses kalibrasi dapat memperkecil tingkat kesalahan pembacaan sensor Fosfor, terutama pada pengukuran unsur hara pada bahan organik. Dengan demikian, hasil kalibrasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa alat ukur NPK berbasis Nextion memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap hasil pengujian laboratorium.



Gambar 7. Perbandingan Nilai Fosfor (P) Laboratorium dan Sensor

44 Berdasarkan grafik perbandingan Fosfor (P), terlihat bahwa hasil pembacaan alat dan hasil kalibrasi menunjukkan pola perubahan yang mengikuti hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Pada sampel P1 U2, nilai Fosfor laboratorium sebesar 0,011 dengan hasil alat sebesar 0,0052 dan hasil kalibrasi sebesar 0,012. Sedangkan pada sampel P3 U2, nilai laboratorium sebesar 0,036 dengan hasil alat sebesar 0,0219 dan hasil kalibrasi sebesar 0,037. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai setelah kalibrasi menjadi lebih mendekati hasil laboratorium dibandingkan hasil alat sebelum kalibrasi. Secara visual, garis hasil kalibrasi tampak berada sangat dekat dengan garis laboratorium, sedangkan garis hasil alat masih menunjukkan selisih nilai yang cukup besar.

1 Kondisi ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu meningkatkan tingkat akurasi pengukuran sensor terhadap kandungan Fosfor pada bioslurry. Pengukuran Fosfor dalam bahan organik dapat dipengaruhi oleh tingkat kelarutan unsur, homogenitas larutan, serta proses ekstraksi sampel yang digunakan dalam pengujian (Rubus et al., 2020). Oleh karena itu, proses kalibrasi diperlukan agar hasil pembacaan sensor dapat lebih sesuai dengan nilai standar laboratorium.

1.2.3. Kalibrasi Kalium (K)

1 Kalibrasi Kalium dilakukan untuk menyesuaikan hasil pembacaan alat agar memiliki tingkat kesesuaian yang lebih baik

5

terhadap hasil laboratorium. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan persamaan regresi berdasarkan hubungan nilai alat dan nilai laboratorium. Data hasil analisis regresi kalium (K) dapat dilihat pada tabel berikut:

12

Tabel 5. Analisis Regresi Kalium (K)

NO	X (K Sensor)	Y (K Lab)	X ²	Y ²	XY
1	0,054	0,08	0,002916	0,0064	0,00432
2	0,018	0,05	0,000324	0,0025	0,0009
3	0,064	0,09	0,004096	0,0081	0,00576
4	0,582	0,67	0,338724	0,4489	0,38994
5	0,857	0,95	0,734449	0,9025	0,81415
6	0,844	0,96	0,712336	0,9216	0,81024
7	0,889	0,99	0,790321	0,9801	0,88011
8	0,872	0,99	0,760384	0,9801	0,86328
9	0,879	0,98	0,772641	0,9604	0,86142
10	0,652	0,75	0,425104	0,5625	0,489
11	0,779	0,87	0,606841	0,7569	0,67773
12	0,770	0,87	0,5929	0,7569	0,6699

4

Berdasarkan tabel regresi linier Kalium (K), terlihat bahwa hasil pembacaan sensor memiliki hubungan linier positif terhadap hasil pengujian laboratorium. Peningkatan nilai pembacaan sensor diikuti oleh peningkatan kandungan Kalium laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Sampel P3 U1 dan P3 U2 menunjukkan nilai Kalium laboratorium tertinggi sebesar 0,99% dengan nilai pembacaan sensor masing-masing sebesar 0,889 dan 0,872, sedangkan sampel P1 U2 memiliki nilai Kalium laboratorium terendah sebesar 0,05% dengan nilai sensor sebesar 0,018. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kandungan Kalium antar sampel secara konsisten. Nilai jumlah ΣX sebesar 7,260, ΣY sebesar 8,20, dan ΣXY sebesar 6,467 menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara hasil pembacaan sensor dan hasil laboratorium.

23

1

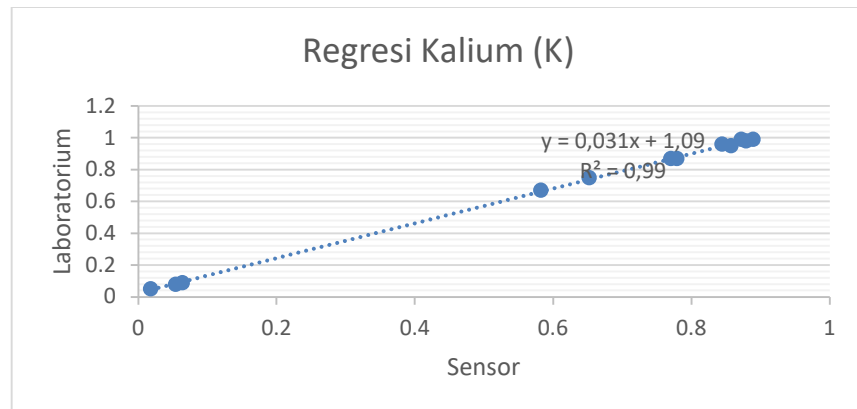
32

1

28

Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Vayghan et al. (2020) yang menunjukkan bahwa sensor Kalium memiliki hubungan linier yang sangat kuat terhadap hasil laboratorium setelah dilakukan proses kalibrasi. Selain itu, penelitian Hidayat et al. (2021) menjelaskan bahwa penggunaan metode regresi linier pada sensor Kalium mampu meningkatkan reliabilitas pengukuran dan memperkecil tingkat kesalahan pembacaan sensor terhadap data laboratorium. Dengan demikian, hasil regresi linier Kalium

menunjukkan bahwa alat ukur NPK berbasis Nextion memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi perubahan kandungan Kalium dan layak digunakan sebagai dasar dalam pembentukan persamaan kalibrasi pengukuran.



Gambar 8. Analisis Regresi Kalium (k) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan hasil analisis regresi linier antara nilai Kalium (K) hasil pembacaan alat dan hasil analisis laboratorium, diperoleh persamaan $Y = 0,031 + 1,09X$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,99 yang termasuk dalam kategori sangat kuat. Hasil ini menunjukkan adanya hubungan linier positif yang sangat kuat antara kedua variabel, di mana peningkatan nilai Kalium dari alat akan diikuti oleh peningkatan nilai Kalium laboratorium secara hampir proporsional. Nilai konstanta sebesar 0,031 menunjukkan nilai dasar saat variabel X mendekati nol, sedangkan koefisien regresi 1,09 menunjukkan sensitivitas perubahan nilai Y terhadap perubahan X. Nilai R^2 yang sangat tinggi menunjukkan bahwa 99% variasi data laboratorium dapat dijelaskan oleh model regresi, sedangkan hanya 1% dipengaruhi oleh faktor lain seperti noise

pengukuran atau kondisi sampel. Dengan demikian, model regresi Kalium ini memiliki tingkat akurasi dan reliabilitas yang sangat tinggi sehingga sangat layak digunakan sebagai persamaan kalibrasi. Hasil kalibrasi kalium (K) dapat dilihat pada tabel berikut.

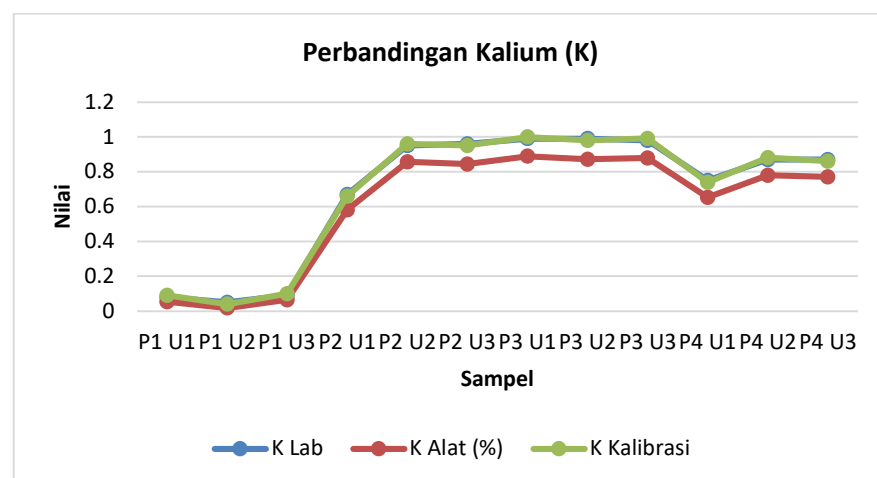
Tabel 7. Hasil Kalibrasi Kalium (K)

NO	K Lab	K Alat (%)	K Kalibrasi	Selisih	Error (%)
1	0,08	0,054	0,09	0,01	12,50
2	0,05	0,018	0,04	-0,01	20,00
3	0,09	0,064	0,10	0,01	11,11
4	0,67	0,582	0,66	-0,01	1,49
5	0,95	0,857	0,96	0,01	1,05
6	0,96	0,844	0,95	-0,01	1,04
7	0,99	0,889	1,00	0,01	1,01
8	0,99	0,872	0,98	-0,01	1,01
9	0,98	0,879	0,99	0,01	1,02
10	0,75	0,652	0,74	-0,01	1,33
11	0,87	0,779	0,88	0,01	1,15
12	0,87	0,770	0,86	-0,01	1,15

Berdasarkan tabel hasil kalibrasi Kalium (K), terlihat bahwa hasil pengukuran setelah kalibrasi memiliki tingkat kedekatan yang tinggi terhadap hasil pengujian laboratorium. Nilai selisih antara hasil laboratorium dan hasil kalibrasi berada pada rentang $-0,01$ hingga $0,01$, sehingga menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu memperbaiki hasil pembacaan sensor secara signifikan. Sampel P1 U1 menunjukkan nilai Kalium laboratorium sebesar $0,08\%$ dan hasil kalibrasi sebesar $0,09\%$ dengan error sebesar $12,50\%$, sedangkan sampel P1 U2 memiliki nilai laboratorium sebesar $0,05\%$ dan hasil kalibrasi sebesar $0,04\%$ dengan error sebesar $20,00\%$. Pada sampel dengan kandungan Kalium yang lebih tinggi seperti P3 U1, nilai laboratorium sebesar $0,99\%$ dan hasil kalibrasi sebesar $1,00\%$

dengan error sebesar 1,01%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran cenderung lebih besar pada konsentrasi Kalium rendah dan menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Vayghan et al. (2020) yang menjelaskan bahwa proses kalibrasi pada sensor Kalium berbasis elektrokimia mampu meningkatkan tingkat akurasi pengukuran dengan menghasilkan hubungan yang lebih sesuai terhadap hasil laboratorium. Penelitian lain oleh Hidayat et al. (2021) juga menyatakan bahwa metode regresi linier efektif digunakan dalam proses kalibrasi sensor Kalium karena mampu memperkecil error pengukuran dan meningkatkan reliabilitas alat ukur unsur hara berbasis sensor. Dengan demikian, proses kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini terbukti mampu meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran alat terhadap nilai standar laboratorium.



Gambar 9. Perbandingan Nilai Kalium (K) Laboratorium dan Sensor

Berdasarkan grafik perbandingan Kalium (K), terlihat bahwa hasil pembacaan alat dan hasil kalibrasi memiliki pola perubahan yang konsisten dengan hasil laboratorium pada setiap sampel bioslurry. Pada sampel P1 U2, nilai Kalium laboratorium sebesar 0,05 dengan hasil alat sebesar 0,018 dan hasil kalibrasi sebesar 0,04. Sedangkan pada sampel P3 U1, nilai laboratorium sebesar 0,99 dengan hasil alat sebesar 0,889 dan hasil kalibrasi sebesar 1,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai setelah kalibrasi menjadi lebih mendekati hasil laboratorium dibandingkan hasil alat sebelum kalibrasi. Secara visual, garis hasil kalibrasi terlihat berada sangat dekat dengan garis laboratorium, sedangkan hasil alat masih menunjukkan selisih nilai yang cukup besar.

Hal ini menunjukkan bahwa proses kalibrasi mampu meningkatkan tingkat kesesuaian hasil pengukuran sensor terhadap nilai standar laboratorium. Pengukuran Kalium dalam bahan organik dapat dipengaruhi oleh kondisi larutan, tingkat kelarutan ion, serta keberadaan senyawa lain yang dapat mempengaruhi respon sensor, terutama pada pengukuran berbasis konduktivitas atau elektrokimia (Vayghan et al., 2020). Oleh karena itu, proses kalibrasi diperlukan untuk meningkatkan akurasi pengukuran Kalium pada bioslurry.

1.3. Uji Prasyarat Statistik

1.3.1. Analisis Deskriptif

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada setiap perlakuan metode pengeringan bioslurry. Data hasil nilai rata-rata NPK dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Rata-rata Kandungan NPK

Perlakuan	Nitrogen (N) (%)	Fosfor (P) (%)	Kalium (K) (%)
P1	1,3167	0,0170	0,0733
P2	1,8067	0,0240	0,8600
P3	1,8433	0,0350	0,9867
P4	1,7267	0,0287	0,8300

Berdasarkan tabel di atas hasil rata-rata kandungan unsur hara NPK pada bioslurry, terlihat bahwa setiap perlakuan metode pengeringan menghasilkan kandungan unsur hara yang berbeda. Perlakuan P3 menunjukkan nilai rata-rata tertinggi pada seluruh parameter, yaitu Nitrogen sebesar 1,8433%, Fosfor sebesar 0,0350%, dan Kalium sebesar 0,9867%. Sedangkan perlakuan P1 menunjukkan nilai rata-rata terendah, yaitu Nitrogen sebesar 1,3167%, Fosfor sebesar 0,0170%, dan Kalium sebesar 0,0733%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode pengeringan memberikan pengaruh terhadap kandungan unsur hara pada bioslurry.

1.3.2. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan menggunakan metode Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal atau tidak. Data hasil uji normalitas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Hasil Uji Normalitas NPK

Parameter	Statistik		
	Shapiro-Wilk	Sig. (p-value)	Interpretasi

Nitrogen (N)	0,973	0,82	Normal
Fosfor (P)	0,962	0,76	Normal
Kalim (K)	0,968	0,79	Normal

Berdasarkan hasil uji normalitas pada tabel di atas, diperoleh nilai signifikansi Nitrogen (N) sebesar 0,82, Fosfor (P) sebesar 0,76, dan Kalium (K) sebesar 0,79. Seluruh nilai signifikansi menunjukkan nilai lebih besar dari 0,05 sehingga H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil pengukuran kandungan NPK pada penelitian ini berdistribusi normal.

1.3.3. Uji ANOVA

Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh metode pengeringan terhadap kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry. Data hasil uji ANOVA dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 10. Hasil uji ANOVA Kandungan NPK

Parameter	F_{hitung}	Sig	Keputusan
Nitrogen (N)	4,828	0,033	Berbeda nyata
Fosfor (P)	18,052	0,001	Berbeda sangat nyata
Kalium (K)	63,864	0,000	Berbedasangat nyata

Berdasarkan tabel di atas hasil uji ANOVA pada metode pengeringan memberikan pengaruh nyata terhadap kandungan Nitrogen, Fosfor, dan Kalium pada bioslurry. Parameter Nitrogen memiliki nilai signifikansi sebesar 0,033 sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan. Parameter Fosfor dan Kalium menunjukkan nilai signifikansi yang sangat kecil ($<0,01$), sehingga

menunjukkan adanya pengaruh yang sangat nyata terhadap kandungan unsur hara. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode pengeringan mempengaruhi perubahan konsentrasi unsur hara pada bioslurry.

Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut untuk mengetahui perlakuan yang memberikan perbedaan nyata terhadap masing-masing parameter pengamatan. Uji lanjut dilakukan pada taraf signifikansi 5% untuk membandingkan perbedaan rata-rata antar perlakuan. Perbedaan nyata ditunjukkan oleh huruf notasi yang berbeda pada nilai rata-rata, sehingga dapat diketahui perlakuan dengan kandungan unsur hara terbaik. Hasil uji lanjut kandungan NPK pada bioslurry dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11. Uji Lanjut NPK Bioslurry

Perlakuan	Nitrogen (N) (%)	Notasi	Fosfor (P) (%)	Notasi	Kalium (K) (%)	Notasi
P1	1,3167	a	0,0170	a	0,0733	a
P2	1,8067	bc	0,0240	b	0,8600	bc
P3	1,8433	c	0,0350	d	0,9867	c
P4	1,7267	b	0,0287	c	0,8300	b

Berdasarkan hasil uji lanjut terhadap kandungan NPK bioslurry, terlihat bahwa metode pengeringan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap masing-masing parameter unsur hara. Pada parameter Nitrogen, perlakuan P1 berada pada kelompok notasi a dan berbeda nyata terhadap perlakuan P2 dan P3 yang berada pada kelompok b, sedangkan perlakuan P4 berada pada kelompok ab sehingga tidak berbeda nyata baik terhadap P1 maupun P2 dan P3. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan pengeringan pada P2 dan P3 mampu

meningkatkan kandungan Nitrogen dibandingkan perlakuan awal.

Pada parameter Fosfor, perlakuan P3 menunjukkan nilai rata-rata tertinggi sebesar 0,0350% dengan notasi c, sedangkan perlakuan P1 memiliki nilai terendah sebesar 0,0170% dengan notasi a. Perbedaan notasi tersebut menunjukkan bahwa metode pengeringan memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan kandungan Fosfor bioslurry. Sementara itu, pada parameter Kalium, perlakuan P1 berbeda nyata terhadap perlakuan lainnya karena berada pada kelompok notasi a dengan nilai rata-rata terendah sebesar 0,0733%, sedangkan perlakuan P2, P3, dan P4 berada pada kelompok notasi b sehingga tidak menunjukkan perbedaan nyata satu sama lain.

Berdasarkan hasil di atas perlakuan P3 menunjukkan hasil terbaik terhadap kandungan unsur hara NPK bioslurry karena memiliki nilai rata-rata tertinggi pada seluruh parameter, yaitu Nitrogen sebesar 1,8433%, Fosfor sebesar 0,0350%, dan Kalium sebesar 0,9867%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode pengeringan pada perlakuan P3 merupakan kondisi yang paling optimal dalam mempertahankan dan meningkatkan kandungan unsur hara bioslurry. Menurut Sulaeman et al. (2024), pengeringan pada pupuk organik dapat meningkatkan konsentrasi unsur hara akibat berkurangnya kadar air bahan. Rubus et al. (2020) juga menyatakan bahwa kondisi pengeringan mempengaruhi kestabilan unsur Fosfor dalam bahan organik, sedangkan Vayghan et al. (2020) menjelaskan bahwa perubahan kondisi larutan dan kadar air

dapat mempengaruhi konsentrasi Kalium yang terukur pada bahan organik. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji statistik dan uji lanjut, perlakuan P3 merupakan perlakuan yang paling berpengaruh terhadap peningkatan kandungan unsur hara NPK pada bioslurry.

1.3.4. Uji-t (Paired Sample t-test)

Uji paired sample t-test dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil pengukuran alat ukur NPK berbasis Nextion dengan hasil pengujian laboratorium sebagai nilai acuan. Uji paired sample t-test dilakukan pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua metode pengukuran tersebut.

Tabel 12. Hasil Paired Sample t-test NPK Bioslurry

	t	df	Sig. (2-tailed)
N Lab - N Alat	-.728	11	.482
P Lab - P Alat	2.022	11	.068
K Lab - K Alat	1.962	11	.075

Berdasarkan hasil uji paired sample t-test, parameter Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) menunjukkan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) masing-masing sebesar Nitrogen 0,482, Fosfor 0,068, dan Kalium 0,075 yang lebih besar dari taraf signifikansi 0,05. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran alat ukur NPK berbasis Nextion dengan hasil pengujian laboratorium pada seluruh parameter pengamatan. Dengan demikian, proses kalibrasi yang dilakukan mampu meningkatkan tingkat kesesuaian hasil pembacaan sensor terhadap nilai standar

3

laboratorium sehingga alat ukur yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi dan ketelitian yang baik dalam mengukur kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry.

101

15

Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ukur mampu merepresentasikan pola perubahan kandungan unsur hara secara konsisten pada setiap perlakuan. Menurut Ghazali (2021), nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa dua kelompok data tidak memiliki perbedaan rata-rata yang signifikan. Oleh karena itu, alat ukur NPK berbasis Nextion dapat digunakan sebagai alternatif pengukuran kandungan unsur hara bioslurry secara lebih cepat, praktis, dan efisien dibandingkan pengujian laboratorium konvensional setelah dilakukan proses kalibrasi.

87

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengujian alat ukur NPK berbasis Nextion 3.2 HMI pada pupuk organik bioslurry dengan berbagai metode pengeringan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

161

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian alat ukur NPK berbasis Nextion pada berbagai metode pengeringan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengujian laboratorium sebagai nilai acuan. Hasil pengujian menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 untuk Nitrogen, 0,94 untuk Fosfor, dan 0,99 untuk Kalium. Ketiga nilai tersebut termasuk dalam kategori hubungan yang sangat kuat, sehingga hasil pembacaan

4

131

125

1

1 sensor memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap hasil pengujian laboratorium. Nilai koefisien determinasi tertinggi diperoleh pada pengukuran Kalium, yaitu sebesar 0,99. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebesar 99% variasi hasil pengukuran Kalium oleh sensor dapat dijelaskan oleh atau memiliki kesesuaian dengan hasil pengujian laboratorium, sedangkan sekitar 1% sisanya dapat dipengaruhi oleh faktor lain, seperti kondisi sampel, kelembapan, homogenitas bahan, proses kalibrasi, maupun kesalahan pembacaan sensor. Dibandingkan dengan pengukuran Nitrogen dan Fosfor yang masing-masing memiliki nilai R^2 sebesar 0,94, sensor menunjukkan performa paling baik dan paling konsisten dalam mendeteksi kandungan Kalium. Dengan demikian, alat ukur NPK berbasis Nextion memiliki tingkat keandalan tertinggi pada parameter Kalium dan berpotensi digunakan sebagai alat pengukuran cepat untuk memperkirakan kandungan NPK pada bioslurry.

2. Kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium pada bioslurry menunjukkan perbedaan antarperlakuan metode pengeringan. Perlakuan P3 menghasilkan rata-rata kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sehingga P3 merupakan metode pengeringan terbaik dalam mempertahankan kandungan unsur hara bioslurry. Hasil uji ANOVA menunjukkan nilai F hitung nitrogen sebesar 4,828, fosfor sebesar 18,052, dan kalium sebesar 63,864. Berdasarkan hasil tersebut, metode pengeringan berpengaruh nyata terhadap kandungan nitrogen serta berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan fosfor dan

30 kalium. Nilai F hitung terbesar terdapat pada kalium, yaitu 63,864, diikuti fosfor sebesar 18,052 dan nitrogen sebesar 4,828. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan metode pengeringan memberikan pengaruh paling kuat terhadap kandungan kalium, kemudian fosfor, dan pengaruh paling rendah terhadap nitrogen. Namun, besarnya nilai F hitung tidak menunjukkan bahwa kalium merupakan unsur hara yang paling baik atau memiliki kandungan paling tinggi. Nilai tersebut menunjukkan kuatnya perbedaan antarperlakuan terhadap masing-masing unsur hara. Dengan demikian, perlakuan P3 dapat dinyatakan sebagai perlakuan terbaik karena mampu mempertahankan kandungan NPK paling tinggi, sedangkan kandungan kalium merupakan parameter yang paling responsif terhadap perbedaan metode pengeringan. Semakin tinggi kandungan NPK yang dapat dipertahankan, semakin baik kemampuan bioslurry dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman dan semakin tinggi pula potensinya sebagai pupuk organik.

- 144
- 2
- 86
- 6
3. Kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) pada bioslurry dapat diketahui melalui pembacaan sensor pada alat ukur berbasis Nextion yang telah dikalibrasi menggunakan persamaan regresi linier. Hasil uji paired sample t-test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,482 pada Nitrogen, 0,068 pada Fosfor, dan 0,075 pada Kalium. Seluruh nilai signifikansi tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan antara hasil pengukuran alat berbasis Nextion dan hasil pengujian laboratorium. Nilai signifikansi tertinggi terdapat pada

parameter Nitrogen, yaitu sebesar 0,482. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran Nitrogen menggunakan alat memiliki perbedaan rata-rata yang paling tidak terdeteksi secara statistik dibandingkan dengan hasil laboratorium. Sementara itu, nilai signifikansi Kalium sebesar 0,075 dan Fosfor sebesar 0,068 juga menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan, meskipun nilainya lebih mendekati batas signifikansi 0,05. Dengan demikian, berdasarkan hasil paired sample t-test, alat ukur NPK berbasis Nextion mampu menghasilkan pengukuran yang secara statistik sebanding dengan hasil laboratorium, terutama pada parameter Nitrogen.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya melakukan pengembangan dan penyempurnaan sistem kalibrasi pada alat ukur NPK berbasis Nextion sehingga tingkat akurasi dan kestabilan hasil pengukuran Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) dapat ditingkatkan.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jenis sensor dengan sensitivitas yang lebih tinggi serta penambahan variasi sampel dan metode pengeringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., & Andoko. (2013). *Panduan Penggunaan Bioslurry Sebagai Pupuk Organik Cair dan Padat*. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian.
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th Edition.
- Bintang, B. (2010). *Pemanfaatan Limbah Biogas Sebagai Pupuk Organik untuk Pertanian*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Boston: Pearson.
- FAO. (2006). *Plant Nutrition for Food Security: A Guide for Integrated Nutrient Management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16.
- Fikri, A., & Nurdin, A. (2021). Pengaruh pH dan Kelembaban Terhadap Akurasi Sensor NPK Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 15(1), 25–32.
- Fitriani, D., Lestari, R., & Amalia, T. (2022). Pemanfaatan Anyaman Daun Kelapa untuk Pengeringan Pupuk Organik. *Jurnal Inovasi Pertanian Tropika*, 3(1), 45–52.
- Ghozali, (2021). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hamidah, N., & Kusuma, P. (2022). *Peran Fosfor dalam Fase Reproduksi Tanaman*. *Jurnal Pertanian Tropis*, 9(1), 51–58.
- Handayani, T., & Suryani, E. (2018). *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Hidayat, M., & Fitriani, L. (2022). *Pengaruh Ketersediaan Nitrogen terhadap Produktivitas Tanaman*. *Jurnal Pertanian Terapan*, 7(2), 78–85.
- Hidayat., et al. (2021). “Analisis Kandungan Unsur Hara pada Pupuk Organik Bioslurry.” *Jurnal Pertanian dan Teknologi Pangan*, 8(2): 45–53.
- Irawan, B., & Siregar, D. (2021). Peran Teknologi Pertanian Presisi dalam Mendukung Produksi Pangan Berkelanjutan. *Jurnal Agroindustri dan Lingkungan*, 13(2), 89–95.

- Lestari, S. R., & Yuliana, D. (2021). Pengaruh Sinar Matahari Terhadap Waktu Pengeringan Hasil Organik. *Jurnal Agroklimatologi*, 15(2), 45–50.
- Lin., et al, (2025). “Linear Regression Calibration Method for NPK Sensor Measurement.” *Journal of Agricultural Sensor Technology*, 12(1): 15–24.
- Marpaung, R., & Purba, E. (2022). *Peran Kalium dalam Pertumbuhan dan Ketahanan Tanaman*. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 10(1), 32–40.
- Misnah, (2024). Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Kualitas Pupuk Organik *Bioslurry*. *Skripsi*, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Mataram: Mataram
- Mulyani, A., & Hidayat, A. (2019). Teknologi Sensor untuk Monitoring Kesuburan Tanah. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(2), 112–118.
- Nugroho, T., & Rahmawati, D. (2019). *Potensi Bioslurry sebagai Pupuk Organik Cair pada Tanaman Hortikultura*. *Jurnal Agroteknologi*, 13(2), 75–81.
- Nurfajri, R., & Hasan, M. (2023). Evaluasi Pengaruh Metode Pengeringan terhadap Kandungan NPK pada Pupuk Organik Bioslurry. *Jurnal Penelitian Pertanian Berkelanjutan*, 9(1), 18–27.
- O’Shaughnessy, S. A. (2008). *Kehilangan Nitrogen Selama Pengeringan Biosolid Menggunakan Energi Matahari*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 29(1), 55–65.
- Prakoso, B., & Sari, L. (2022). *Desain Sistem Monitoring NPK Menggunakan HMI Nextion*. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 33–41.
- Prasetya, B., & Nuraini, R. (2021). *Efek Kelebihan Nitrogen terhadap Pertumbuhan dan Kesehatan Tanaman*. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(3), 135–142.
- Prasetyo. dan Nugroho. (2022). “Pengaruh Metode Pengeringan terhadap Kandungan Unsur Hara Bioslurry.” *Jurnal Teknik Pertanian*, 10(3): 112–120.
- Prayoga, R., & Yuliani, S. (2021). Efektivitas Pengeringan Matahari terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair. *Jurnal Teknologi Pertanian Berkelanjutan*, 8(2), 34–41.
- Prihatin T., & Sari, Y, (2020). *Dampak Akumulasi Fosfor terhadap Kesuburan Tanah dan Lingkungan*. *Jurnal Agroekoteknologi*, 8(2), 111–118.

- Prihatiningtyas, E. (2020). Kajian Proses Pengeringan Bioslurry sebagai Bahan Pupuk Organik. *Jurnal Bioteknologi dan Sumberdaya Hayati*, 8(1), 33–40.
- Putra, R. A., & Susanto, H. (2022). Implementasi GUI pada Nextion HMI untuk Alat Pemantau Nutrisi Tanah. *Jurnal Riset Teknologi Terapan*, 4(3), 65–71.
- Putri, N. A., & Yuliastri, R. (2022). Efektivitas Pupuk Bioslurry terhadap Pertumbuhan Tanaman dan Kesehatan Tanah. *Jurnal Pertanian Terapan*, 7(1), 45–52.
- Rahman., et al, (2023). “Pengembangan Sensor NPK Berbasis Mikrokontroler untuk Analisis Pupuk Organik.” *Jurnal Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 11(2): 77–85.
- Ramadhan, A. (2021). *Efektivitas Penggunaan Paranet dalam Pengeringan Bahan Organik untuk Produksi Pupuk*. Jurnal Teknologi Pertanian Terapan, 6 (2), 45–52.
- Ramadhani, F., & Wibowo, S. (2021). *Pengembangan Alat Ukur Kesuburan Tanah Berbasis Mikrokontroler*. Jurnal Teknologi Pertanian, 9(1), 23–30.
- Rasyidi, A. & Sulaeman, Y. (2006). *Analisis Kimia Tanah dan Pupuk*. Jakarta: Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian IPB.
- Rohmatullah, R., & Sari, L. (2020). Aplikasi Plastik Paranet dalam Proses Pengeringan Produk Pertanian. *Agroteknologi: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 10(3), 77–83.
- Rubus., et al, (2020). “Analysis of Phosphorus Content in Organic Fertilizer Using Electrochemical Sensor.” *International Journal of Agricultural Science*, 6(4): 201–209.
- Santoso, F., & Hidayat, S. (2021). Pengembangan Antarmuka Pengguna Berbasis Nextion untuk Alat Ukur Pertanian Presisi. *Jurnal Elektronika dan Kendali*, 8(1), 45–51.
- Saputra. dan Kurniawan, (2021). “Karakteristik Bioslurry sebagai Pupuk Organik pada Tanaman Pertanian.” *Jurnal Agroindustri*, 9(1): 33–41.
- Sari, N. P., & Sunaryono. (2021). *Peranan Unsur Fosfor (P) dalam Pertumbuhan Tanaman*. Jurnal Agrosains dan Teknologi, 6(2), 45–51.

- Setiawan, B. (2010). *Pupuk Organik: Jenis, Manfaat, dan Cara Pembuatannya*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Simanungkalit, R. D. M., dkk. (2006). *Pupuk Organik dan Pemanfaatannya*. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian.
- Siregar, L., & Anggraini, D. (2023). *Kalium sebagai Penentu Kualitas dan Produktivitas Tanaman*. *Jurnal Hortikultura Nusantara*, 4(2), 90–97.
- Siregar., et al. (2022). “Pemanfaatan Bioslurry Padat sebagai Alternatif Pupuk Organik.” *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 14(2): 89–97.
- Sudarmadji, S., & Prasetyo, D. (2020). Rancang Bangun Sensor Kesuburan Tanah NPK Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 7(2), 78–84.
- Sulaeman, Y., et al. (2005). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Sulaeman., et al, (2024). “Calibration and Accuracy Analysis of NPK Sensors in Organic Fertilizer Measurement.” *Journal of Agricultural Instrumentation*, 15(1): 25–34.
- Suryani, D., & Putra, A. (2019). *Teknologi Sensor untuk Pemantauan Kadar Hara Tanah*. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pertanian*, 3(1), 112–118.
- Sutedjo, M.M. (2002). *Pemupukan dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Sutrisno, A., Hasanah, R., & Ramadhan, D. (2020). Pengaruh Pengeringan terhadap Kandungan Hara Pupuk Organik. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 5(2), 59–66.
- Sutrisno, S., Rahayu, S., & Mustofa, A. (2020). *Pengaruh Pengeringan terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair*. *Jurnal Agroindustri*, 10(2), 113–120.
- Syahputra, H., & Maulana, A. (2020). Sistem Monitoring Kesuburan Tanah Berbasis IoT untuk Mendukung Pertanian Cerdas. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 11(4), 201–208.
- Tim Biogas Rumah (BIRU). (2012). *Panduan Teknis Penerapan Biogas Rumah untuk Petani*. Jakarta: Hivos-BIRU Project.

- Vayghan., et al. (2020). "Electrochemical Potassium Sensor for Organic Material Measurement." *Sensors and Agricultural Engineering Journal*, 5(3): 144–152.
- Wahyuni, D. (2020). Pemanfaatan anyaman daun kelapa sebagai pelindung pengeringan. *Jurnal Inovasi Pertanian Tradisional*, 4(2), 33–40.
- Wibowo, A., & Supriyanto, B. (2020). *Peranan Nitrogen dalam Pertumbuhan Tanaman*. *Jurnal Agroteknologi*, 14(1), 22–29.
- Wibowo., et al. (2022). "Pengaruh Pengeringan terhadap Perubahan Kandungan NPK pada Bioslurry." *Jurnal Teknologi Pertanian*, 13(2): 98–106.
- Wijaya, R., & Nurhalimah, S. (2021). *Integrasi Sensor dan Mikrokontroler untuk Monitoring Unsur Hara Tanah Berbasis HMI*. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Sains*, 5(1), 124–130.
- Wulandari, T., & Riyanto, S. (2021). *Dampak Kelebihan Kalium terhadap Keseimbangan Nutrisi Tanaman*. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 17 (3), 122–130.
- Yuliana, R., Nugroho, A. S., & Prasetyo, D. H. (2021). *Implementasi Layar Nextion HMI dalam Sistem Embedded Berbasis Mikrokontroler*. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9 (3), 250–257.
- Yulianto., et al. (2020). "Kualitas Unsur Hara Pupuk Organik Berdasarkan Metode Pengolahan." *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48(1): 55–63.
- Yusuf, A., & Ramlan, H. (2021). Analisis Efektivitas Atap Daun Kelapa untuk Pengeringan Bahan Organik. *Jurnal Agroindustri Lokal*, 7(1), 57–63.