

Analisis Uji Kinerja *Drone spreader* Dengan Pupuk Granul

Fadillah Bima Rahmatdan¹, Radi*¹, Sri Markumningsih¹, RR. Shinta Desmawati²

¹ Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Sleman 55281, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia.

² Balai Balai Besar Perakitan dan Modernisasi Mekanisasi Pertanian (BRMP Mektan, Jl. Sinarmas Boulevard, Situ Gadung, Kec. Pagedangan, Kabupaten Tangerang, Banten 15338 - Indonesia.

*Penulis Korespondensi: radi-tep@ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *drone spreader* dalam aplikasi penebaran pupuk granul guna meningkatkan efisiensi pemupukan di sektor pertanian. Kajian ini dilatarbelakangi oleh masih terbatasnya penelitian ilmiah terkait pemanfaatan *drone spreader*, meskipun teknologi ini memiliki potensi besar dalam mendukung modernisasi pertanian serta optimalisasi distribusi pupuk. Metode penelitian meliputi serangkaian pengujian, yaitu uji verifikasi, uji unjuk kerja, uji kesesuaian, uji pelayanan, dan uji beban berkesinambungan untuk mengevaluasi kinerja alat berdasarkan parameter teknis dan operasional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *drone spreader* memiliki kinerja yang stabil dan mampu memenuhi standar yang telah ditetapkan, baik dari aspek teknis, distribusi pupuk, maupun ketahanan operasional. Selain itu, alat ini menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik terhadap variasi pupuk granul dengan karakteristik fisik yang berbeda dengan hasil efisiensi yang tidak jauh berbeda pada kedua ulangan sebesar 78,2% dan 82,58%. Berdasarkan hasil tersebut, *drone spreader* dinilai layak sebagai alternatif teknologi pemupukan yang lebih efisien dan efektif.

Kata kunci: *Drone spreader*, Efisiensi, Pemupukan, Granul

Abstract

This study aims to analyze the performance of a drone spreader in the application of granular fertilizer spreading to improve fertilization efficiency in the agricultural sector. The study is motivated by the limited number of scientific investigations on the utilization of drone spreaders, despite their significant potential to support agricultural modernization and optimize fertilizer distribution. The research method involves a series of tests, including verification tests, performance tests, conformity tests, serviceability tests, and continuous load tests, to evaluate the tool's performance based on technical and operational parameters. The results indicate that the drone spreader demonstrates stable performance and meets the established standards in terms of technical aspects, fertilizer distribution, and operational durability. Furthermore, the device shows good adaptability to variations in granular fertilizers with different physical characteristics, with efficiency results that are relatively consistent across two trials, reaching 78.2% and 82.58%. Based on these findings, the drone spreader is considered a feasible alternative technology for more efficient and effective fertilization practices.

Keywords: *Drone spreader*, Efficiency, Fertilization, Granules

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam sektor pertanian, pemupukan memegang peranan penting dalam menunjang pertumbuhan dan produktivitas tanaman, kebutuhan pupuk yang bervariasi berdasarkan jenis tanaman, dosis, dan frekuensi aplikasi [1]. Seiring dengan perkembangan teknologi, penggunaan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mulai diterapkan dalam kegiatan pemupukan karena memiliki keunggulan dalam fleksibilitas, efisiensi waktu, serta kemampuan menjangkau lahan yang sulit diakses oleh alat mekanis konvensional [2]. Meskipun demikian, kajian ilmiah terkait kinerja *drone spreader* dalam aplikasi pupuk granul masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian untuk mengevaluasi performa alat tersebut secara teknis dan operasional.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *drone spreader* dalam penebaran pupuk granul melalui berbagai parameter pengujian, serta mengevaluasi tingkat efisiensi, konsistensi, dan kesesuaian alat terhadap kondisi operasional di lapangan.

Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini meliputi keterbatasan informasi terkait performa *drone spreader*, pengaruh karakteristik pupuk terhadap pola distribusi, serta belum adanya standar khusus yang mengatur pengujian alat tersebut. Selain itu, diperlukan analisis terhadap kestabilan kinerja alat pada berbagai kondisi pengujian untuk mengetahui tingkat keandalan operasionalnya.

Metode Penelitian

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan UAV dalam aplikasi pertanian memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan efisiensi kerja dan presisi distribusi *input* pertanian. Studi oleh [2] menunjukkan bahwa *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) mulai digunakan dalam kegiatan pertanian, termasuk untuk aplikasi pupuk, karena memiliki fleksibilitas operasional yang tinggi serta mampu beroperasi tanpa menyentuh permukaan lahan maupun kanopi tanaman, bahkan pada kondisi lahan yang sulit dijangkau oleh mesin darat. Namun, penelitian yang secara khusus membahas kinerja *drone spreader* untuk pupuk granul masih terbatas [3], sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi mekanisasi pertanian berbasis UAV. Metode penelitian yang digunakan meliputi serangkaian pengujian teknis, yaitu uji verifikasi untuk menilai kesesuaian spesifikasi alat, uji unjuk kerja untuk mengevaluasi performa operasional di lapangan, uji kesesuaian untuk membandingkan kinerja pada dua jenis pupuk (NPK 15 dan SP-36), uji pelayanan untuk menilai aspek keselamatan dan kemudahan penggunaan, serta uji beban berkesinambungan untuk mengukur ketahanan operasional berdasarkan konsumsi energi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *drone spreader* dalam aplikasi penebaran pupuk granul melalui pendekatan eksperimental di lapangan. Permasalahan difokuskan pada tingkat kinerja, efisiensi, serta konsistensi distribusi pupuk terhadap variasi jenis bahan. Parameter utama yang dianalisis meliputi kapasitas lapang teoritis (KLT), kapasitas lapang efektif (KLE), efisiensi kerja, laju aplikasi pupuk, serta karakteristik fisik material berupa berat jenis.

Berat jenis pupuk dihitung untuk mengetahui pengaruh sifat fisik material terhadap pola distribusi, yang dinyatakan dengan persamaan

$$S = \frac{w}{v} \quad [1]$$

di mana w adalah berat pupuk dan v adalah volumenya. Nilai ini digunakan untuk menginterpretasikan kecenderungan stabilitas sebaran pupuk selama proses penebaran. Kapasitas lapang teoritis (KLT) dihitung untuk menggambarkan kemampuan maksimum alat dalam kondisi ideal menggunakan persamaan

$$KLT = v \times L \quad [2]$$

di mana v merupakan kecepatan kerja dan L adalah lebar kerja alat. Sementara itu, kapasitas lapang efektif (KLE) yang menunjukkan kinerja aktual di lapangan dihitung menggunakan persamaan

$$KLE = \frac{L}{W_k} \quad [3]$$

dengan L sebagai luas lahan yang dikerjakan dan W_k sebagai waktu kerja. Efisiensi kerja alat kemudian dianalisis sebagai perbandingan antara kapasitas aktual dan kapasitas teoritis yang dinyatakan dalam persamaan

$$E = \frac{KLE}{KLT} \times 100\% \quad [4]$$

Nilai efisiensi ini digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian performa alat terhadap kondisi ideal serta mengidentifikasi potensi kehilangan kinerja selama operasi. Kecepatan kerja *drone* juga dianalisis berdasarkan hubungan jarak dan waktu dengan persamaan

$$v = \frac{d}{t} \quad [5]$$

yang digunakan untuk melihat pengaruh kecepatan terhadap distribusi pupuk. Untuk menilai tingkat konsistensi data antar ulangan, digunakan koefisien variasi yang dihitung dengan persamaan

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad [6]$$

di mana SD adalah standar deviasi dan $\bar{x}$ adalah nilai rata-rata. Nilai ini digunakan untuk mengevaluasi kestabilan kinerja alat selama pengujian.

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu uji verifikasi, uji unjuk kerja, uji kesesuaian, uji pelayanan, dan uji beban berkesinambungan. Uji verifikasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian spesifikasi teknis alat, sedangkan uji unjuk kerja dilakukan di lapangan menggunakan dua jenis pupuk granul, yaitu NPK 15 dan SP-36, untuk memperoleh data kinerja aktual. Uji kesesuaian dilakukan dengan membandingkan parameter hasil pengujian pada kedua variasi bahan, sementara uji pelayanan mengevaluasi aspek keselamatan dan kemudahan penggunaan berdasarkan standar SNI 9199:2023. Selanjutnya, uji beban berkesinambungan dilakukan untuk menilai ketahanan operasional alat melalui pengamatan tegangan baterai dan durasi kerja.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, didapatkan beberapa hasil sebagai berikut.



Gambar 3.1 Drone spreader

3.1. Uji Verifikasi

Tabel 3. 1 Spesifikasi Umum Drone spreader

Tangki Penebar	
- Angka yang tertera pada volume nominal tangki	: 20kg
- Interval penanda skala tangki	: 1
- Kapasitas operasional tangki	: 15,1kg
Badan Pesawat	
- Tipe kerangka lengan	: Hexacopter arm
- Kaki pendaratan	: Ada
- Sensor ketinggian/penghalang	: Ada
Bagian Penebar	
- Tipe penebar	: Disc type
- Jumlah sudu	: 8 buah
Rotor dan Baling-baling	
- Jumlah rotor	: 6 buah
- Jenis baling-baling	: Foldable propellers (R3390)
Sistem Elektronik	: Ada
Fitur Tambahan	
- Indikator peringatan	: Ada
- Sistem pengamanan kegagalan	: Ada
Baterai	
- Model	: AB3
- Jumlah	: 1
- Kapasitas	: 18000mAh
- Tegangan baterai	
- Tegangan nominal	: 51,8V

- Tegangan pengisian maksimum	:	17,4V
- Baterai cadangan	:	Ada
- Jumlah baterai cadangan	:	1 set
Kelengkapan		
- Remote Control	:	Ada
- Model	:	RM500-AG
- Frekuensi	:	2.4000-2.4835 GHz
- Remote controller charger	:	5.725-5.850 GHz
- Pengisi daya	:	Ada
	:	Ada

Tabel 3.2 Dimensi Pesawat Udara Nirawak tipe Penebar (*Drone spreader*)

Uraian	Satuan	Ukuran
Dimensi Keseluruhan		
- Panjang	mm	2509
- Lebar	mm	2213
- Tinggi	mm	732
Bobot Kosong	kg	27,5
Bobot Operasi dengan Isi Tangki Sesuai Kapasitas Operasional Tangki	kg	42,6

Tabel 3.3 Dimensi Konstruksi Pesawat Udara Nirawak tipe Penebar (*Drone spreader*)

Komponen	Satuan	Ukuran
Bagian <i>Metering Device</i>		
- Tebal alas	mm	2,25
- Tebal sudu	mm	1,8
Badan Pesawat		
- Diameter luar kerangka lengan	mm	38,5
- Diameter luar kerangka tegak	mm	23,15
- Diameter luar kerangka datar	mm	30

Uji verifikasi adalah proses pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa suatu alat, metode, atau sistem telah memenuhi persyaratan dan spesifikasi yang telah ditetapkan sesuai dengan standar yang berlaku, baik nasional maupun internasional. Pengujian ini mencakup pengukuran spesifikasi umum, dimensi keseluruhan, bobot, dan hasil konstruksi dari *drone spreader* dilakukan sebagai dasar evaluasi kesesuaian alat terhadap persyaratan teknis dan fungsional. Hasil uji verifikasi juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi kelebihan dan keterbatasan konstruksi, yang bisa digunakan sebagai acuan dalam memastikan kesesuaian mesin yang diproduksi dengan desain, serta mendukung proses standardisasi dan pemenuhan persyaratan mutu alat pada tahap selanjutnya [4].

Berdasarkan Tabel 4.1, *drone spreader* memiliki tangki berkapasitas nominal 20 kg dengan kapasitas operasional 15,1 kg. Struktur menggunakan konfigurasi *hexacopter* yang memberikan kestabilan dan daya angkat optimal, dilengkapi kaki pendaratan serta sensor keselamatan. Sistem penebaran menggunakan tipe cakram dengan delapan sudu berbasis gaya sentrifugal untuk menghasilkan distribusi merata. *Dronedidukung* enam rotor dengan baling-baling lipat, sistem elektronik pengaman, serta baterai AB3 berkapasitas 18.000 mAh (51,8 V) dan baterai cadangan. Pengoperasian dilakukan melalui *remote control* dengan frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz.

Setelah dilakukan uji verifikasi, hasil pada Tabel 4.2 dan 4.3 menunjukkan bahwa *drone spreader* memiliki dimensi 2509 mm × 2213 mm × 732 mm, dengan bobot kosong 27,5 kg dan bobot

operasional 42,6 kg. Sistem tangki dilengkapi *metering device* dengan ketebalan alas 2,25 mm dan sudu 1,8 mm untuk mengatur laju penyaluran material. Selain itu, *dronememiliki* kaki pendaratan sebagai penopang saat *take-off* dan *landing* dengan diameter komponen masing-masing 38,5 mm, 23,15 mm, dan 30 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa alat telah memenuhi persyaratan teknis dan konstruksi secara terukur.

3.2. Uji Unjuk Kerja

Tabel 3. 2 Berat Jenis Pupuk Granul (NPK 15)

Ulangan ke-	Volume (ml)	Berat (g)	Berat Jenis (g/ml)
1	1000	1310	1,310
2	1000	1315	1,315
3	1000	1310	1,310
Rata-rata	1000	1311,67	1,312

Setelah dilakukan uji unjuk kerja dengan variasi pertama (pupuk granul NPK 15) didapat hasil berupa berat jenis pupuk granul yang akan digunakan untuk pengujian. Pada Tabel 3.4 tersebut menunjukkan bahwa berat jenis pupuk granul NPK 15 berada pada kisaran sekitar 1,31 g/ml dengan variasi yang sangat kecil antar ulangan, yang mengindikasikan homogenitas sifat fisik dan ukuran partikel. Nilai berat jenis yang relatif tinggi juga menyebabkan partikel memiliki momentum jatuh yang lebih besar, sehingga lintasan sebaran menjadi lebih stabil dan kurang dipengaruhi oleh angin [5].

Tabel 3. 3 Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan *Drone spreader* (Pupuk Granul NPK 15) Pada Setiap Ulangan

Ulangan	Kecepatan dengan beban			
	m	s	m/s	km/h
1	20	3,98	5,0	18,2
2	20	3,98	5,0	18,1
3	20	3,99	5,0	18,1
4	20	3,97	5,0	18,3
Rata-rata	20,0	3,98	5,0	18,2
SD	0,00	0,01	0,01	0,10
CV (%)	0,00	0,15	0,17	0,54

Pada Tabel 3.5 dapat dilihat hasil pengukuran kecepatan terbang dari *drone spreader* (pupuk granul NPK 15) yang menunjukkan variasi kecepatan operasi selama pengujian memengaruhi waktu aplikasi dan pola distribusi pupuk. Kecepatan yang lebih tinggi mempercepat proses penyebaran, namun menurunkan jumlah pupuk per satuan luas, sedangkan kecepatan yang lebih rendah meningkatkan densitas sebaran karena waktu keluarnya material lebih lama. Fenomena ini dipengaruhi oleh mekanisme pelepasan dari *hopper* serta interaksi antara gaya gravitasi dan kecepatan horizontal *drone* yang menentukan pola distribusi granul di lahan [6].

Tabel 3. 4 Hasil Uji Unjuk Kerja *Drone spreader* (Pupuk Granul NPK 15)

Ulangan	Luas areal sebar		Putaran SMD (Nozzle rate)	Pemakaian pupuk per ulangan	Pemakaian pupuk per hektar	Waktu penyebaran		Kapasitas lapang Efektif (KLE)		Kondisi Lingkungan			Lebar Aktual
										Kecepatan angin	Suhu	RH	
	m2	ha	%	kg	kg/ha	(min)	jam	(ha/jam)	(jam/ha)	(m/s)	(°C)	(%)	mm
1	1300	0,13	30	16,70	128,5	1,110	0,019	7,027	0,142	1,5	27,4	83,4	5000
2	1300	0,13	30	16,60	127,7	1,089	0,018	7,163	0,140	1,4	28,0	82,5	5000
3	1300	0,13	30	16,90	130,0	1,087	0,018	7,174	0,139	1,1	28,5	84,1	5000
4	1300	0,13	30	16,70	128,5	1,093	0,018	7,138	0,140	1,2	28,1	83,1	5000

Rata-rata	1300	0,13	30	16,73	128,7	1,09	0,02	7,1	0,14	1,30	28,0	83,8	5000
SD	0,00	0,00	0,00	0,07	0,54	0,01	0,00	0,10	0,00	0,07	0,42	0,67	0,00
CV (%)	0,00	0,00	0,00	0,42	0,42	1,36	1,36	1,34	1,36	5,44	1,52	0,80	0,00

Uji unjuk kerja lapang dilakukan pada luas areal dan bukaan *Seed Metering Device* (SMD) yang seragam untuk menilai konsistensi distribusi pupuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemakaian pupuk dan waktu penebaran relatif konsisten, yang mengindikasikan sistem penyaluran bekerja stabil. Nilai Kapasitas Lapang Efektif (KLE) yang diperoleh sebesar 7,1 ha/jam pada luas 1300 m², dengan efisiensi yang mencerminkan perbandingan antara kapasitas aktual dan kapasitas teoritis.

Tabel 3. 5 Efisiensi Kerja *Drone spreader* (Pupuk Granul NPK 15)

Ulangan	Kapasitas Lapang Efektif	Kapasitas Lapang Teoritis	Efisiensi
1	7,027	9,072	77,45
2	7,163	9,072	78,95
3	7,174	9,036	79,38
4	7,138	9,072	78,68
Rata-rata	7,125	9,063	78,62

Efisiensi cenderung lebih tinggi pada kondisi kecepatan yang seimbang dengan kemampuan debit alat, di mana distribusi material masih merata dan kehilangan akibat penyebaran yang tidak terkendali dapat diminimalkan. Ketika kecepatan terlalu tinggi, efisiensi menurun karena distribusi menjadi lebih jarang dan tidak merata, sedangkan kecepatan yang terlalu rendah dapat menyebabkan penumpukan material pada area tertentu [6].

Tabel 3. 6 Berat Jenis Pupuk Granul (SP 36)

Ulangan ke-	Volume (ml)	Berat (g)	Berat Jenis (g/ml)
1	1000	1360	1,36
2	1000	1375	1,38
3	1000	1360	1,36
Rata-rata	1000	1365	1,365

Uji unjuk kerja lapang yang dilakukan oleh pihak kemudian divariasikan menggunakan bahan yang berbeda yaitu menggunakan pupuk granul SP 36, dengan prosedur pengamatan yang sama dengan variasi pupuk sebelumnya didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 3.8 yang menunjukkan bahwa berat jenis pupuk granul SP-36 berada pada kisaran sekitar 1,36 g/ml dengan tingkat variasi antar ulangan yang sangat rendah, yang mencerminkan keseragaman sifat fisik serta ukuran partikel. Nilai berat jenis yang cukup tinggi menyebabkan partikel memiliki momentum jatuh yang lebih besar, sehingga pola sebarannya cenderung lebih stabil dan tidak mudah terpengaruh oleh gangguan angin [5].

Tabel 3. 7 Rata-rata Hasil Pengukuran Kecepatan *Drone Spreader* (Pupuk Granul SP 36) Pada Setiap Ulangan

Ulangan	Kecepatan dengan beban			
	m	s	m/s	km/h
1	26	5,19	5,0	18,2
2	26,0	5,17	5,0	18,1
3	26,0	5,28	5,0	17,8
4	26,0	5,21	5,0	18,0
Rata-rata	26,0	5,21	5,0	18,0
SD	0,00	0,04	0,00	0,15
CV (%)	0,00	0,81	0,00	0,82

Berdasarkan Tabel 3.9, hasil pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan terbang *drone spreader* pada pengujian pupuk granul SP-36 berada pada kisaran yang relatif berdekatan, namun tetap menimbulkan perbedaan pada waktu penebaran dan kapasitas kerja. Variasi kecepatan ini berpengaruh terhadap jumlah pupuk yang diaplikasikan per satuan luas, di mana kecepatan yang sedikit lebih tinggi cenderung mempercepat waktu aplikasi tetapi menurunkan intensitas sebaran, sedangkan kecepatan yang lebih rendah menghasilkan distribusi yang lebih padat. Perbedaan tersebut juga tercermin pada nilai kapasitas lapang efektif yang mengalami fluktuasi antar ulangan. Fenomena ini berkaitan dengan dinamika pelepasan material dari *hopper* serta interaksi antara gaya gravitasi dan kecepatan horizontal *drone*, yang memengaruhi pola jatuh dan sebaran granul di permukaan lahan [7].

Tabel 3. 8 Hasil Uji Unjuk Kerja *Drone Spreader* (Pupuk Granul SP 36)

Ulangan	Luas areal sebar		Putaran SMD (<i>Nozzle rate</i>)	Pemakaian pupuk per ulangan	Pemakaian pupuk per hektar	Waktu penebaran		Kapasitas lapang Efektif (KLE)		Kondisi Lingkungan			Lebar Aktual
										Kecepatan angin	Suhu	RH	
	m2	ha	%	kg	kg/ha	(min)	jam	(ha/jam)	(jam/ha)	(m/s)	(°C)	(%)	mm
1	1300	0,13	30	18,90	145,4	1,063	0,018	7,338	0,136	1,1	27,6	78,4	5000
2	1300	0,13	30	19,00	146,2	1,041	0,017	7,493	0,133	1,3	28,1	77,1	5000
3	1300	0,13	30	18,90	145,4	1,052	0,018	7,414	0,135	1,2	30,1	71,8	5000
4	1300	0,13	30	18,95	145,8	1,042	0,017	7,486	0,134	1,5	30,0	72,5	5000
Rata-rata	1300	0,13	30	18,94	145,7	1,05	0,02	7,4	0,13	1,28	28,95	74,95	5000
SD	0,00	0,00	0,00	0,07	0,54	0,02	0,00	0,11	0,00	0,14	0,35	3,29	0,00
CV (%)	0,00	0,00	0,00	18,94	145,7	1,05	0,02	7,4	0,13	1,28	28,95	74,95	0,00

Hasil pada Tabel 3.10 menunjukkan bahwa pemakaian pupuk dan waktu penebaran relatif konsisten, sehingga sistem penyaluran *drone spreader* bekerja stabil. Nilai Kapasitas Lapang Efektif (KLE) yang diperoleh mencapai sekitar 7,4 ha/jam pada luas areal 1300 m².

Tabel 3. 9 Efisiensi Kerja *Drone Spreader* (Pupuk Granul SP 36)

Ulangan	Kapasitas Lapang Efektif	Kapasitas Lapang Teoritis	Efisiensi (%)
1	7,338	9,036	81,20
2	7,493	9,072	82,59
3	7,414	8,892	83,38
4	7,486	9	83,17
Rata-rata	7,433	9	82,58

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi pada Tabel 3.11, diperoleh nilai efisiensi dalam rentang sekitar 81–83%, yang menggambarkan kesesuaian antara kapasitas aktual dan kapasitas teoritis serta kestabilan distribusi pupuk. Variasi efisiensi tersebut dipengaruhi oleh keseimbangan antara kecepatan operasi dan debit keluaran alat, di mana distribusi material masih berlangsung merata tanpa adanya kehilangan yang signifikan akibat penyebaran yang tidak terkendali [2].

3.3. Uji Kesesuaian

Setelah dilakukan uji unjuk kerja menggunakan pupuk granul NPK 15 dan SP-36, selanjutnya dilakukan uji kesesuaian untuk membandingkan kinerja alat pada kedua kondisi tersebut guna menilai konsistensi dan kesesuaian performa *drone spreader*.

Tabel 3. 10 Hasil Uji Kesesuaian *Drone Spreader*

Parameter	Satuan	Hasil Uji
-----------	--------	-----------

		Kondisi 1 Pupuk NPK 15	Kondisi 2 Pupuk SP 36
- Kapasitas Lapang	ha/h	71	74
- Kecepatan Kerja saat Penebaran	m/s	50	50
- Efisiensi	%	79,12	82,58

Berdasarkan Tabel 3.12, penggunaan pupuk granul NPK 15 dan SP-36 menunjukkan perbedaan pada beberapa parameter kinerja, namun masih berada pada rentang yang relatif mendekati. Perbedaan karakteristik fisik pupuk, seperti ukuran dan berat jenis partikel, memengaruhi pola distribusi dan debit keluaran alat. Pupuk dengan berat jenis lebih tinggi cenderung menghasilkan distribusi yang lebih stabil karena lintasan jatuh partikel lebih terarah [8]. Secara umum, hasil uji menunjukkan bahwa *drone spreader* mampu bekerja cukup konsisten pada kedua jenis pupuk.

3.4. Uji Pelayanan

Uji pelayanan adalah pengujian yang dilakukan untuk menilai kelayakan suatu alat mesin pertanian dari aspek pelayanan kepada pengguna, yang meliputi ketersediaan petunjuk penggunaan (manual), informasi keselamatan, tanda peringatan bahaya, kemudahan pengoperasian, serta kejelasan informasi teknis lainnya, sehingga alat dapat digunakan secara aman, efektif, sesuai standar yang ditetapkan

Tabel 3. 11 Hasil Uji Pelayanan *Drone Spreader*

Keselamatan Kerja	: (Ada/tidak ada) tanda peringatan pada bagian-bagian berbahaya
Kemudahan Operasi	: (Ada/tidak ada) petunjuk penggunaan yang menggunakan Bahasa Indonesia

Berdasarkan hasil uji pelayanan yang disajikan pada Tabel 3. 13, aspek keselamatan kerja menunjukkan bahwa alat telah dilengkapi dengan tanda peringatan pada bagian-bagian yang berpotensi membahayakan. Keberadaan tanda tersebut berfungsi sebagai media informasi bagi pengguna untuk mengenali potensi risiko selama pengoperasian, sehingga dapat meningkatkan tingkat keselamatan kerja. Namun, pada aspek kemudahan operasi, alat belum dilengkapi dengan petunjuk penggunaan yang menggunakan Bahasa Indonesia. Kondisi ini dapat menjadi kendala bagi sebagian pengguna dalam memahami prosedur pengoperasian secara tepat, terutama bagi pengguna yang tidak terbiasa dengan bahasa asing. Ketiadaan petunjuk penggunaan dalam Bahasa Indonesia berpotensi meningkatkan risiko kesalahan dalam pengoperasian serta menurunkan efektivitas penggunaan alat di lapangan [9].

3.5. Uji Beban Berkesinambungan

Pengujian ini berguna untuk menguji ketahanan alat dan mesin dengan cara mengoperasikannya secara terus menerus dengan durasi dan beban kerja tertentu yang sebelumnya telah ditetapkan [10].

Tabel 3. 12 Hasil Uji Beban Berkesinambungan *Drone Spreader*

Pupuk	Tegangan awal baterai (volt)	Tegangan akhir baterai (volt)	Waktu hidup baterai (min)
NPK 15	58,80	50,30	9,0
SP36	59,1	50,7	8,7

Berdasarkan Tabel 3.14, uji beban berkesinambungan dilakukan melalui pengamatan tegangan awal, tegangan akhir, dan waktu hidup baterai selama pengoperasian *drone* secara kontinu. Hasil menunjukkan bahwa penurunan tegangan berlangsung relatif stabil tanpa fluktuasi ekstrem, yang mengindikasikan konsumsi energi berjalan konsisten selama proses penebaran [11]. Selain itu, waktu hidup baterai pada penggunaan pupuk NPK 15 dan SP-36 berada pada kisaran yang hampir seragam, sehingga perbedaan jenis pupuk tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kebutuhan daya sistem.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil seluruh tahapan pengujian, diperoleh pemahaman bahwa *drone spreader* bekerja menggunakan sistem penebaran berbasis gaya sentrifugal yang dipengaruhi oleh parameter operasional, terutama kecepatan terbang dan bukaan *Seed Metering Device* (SMD), terhadap pola distribusi

pupuk. Pengujian yang dilakukan menghasilkan data teknis dan operasional meliputi spesifikasi alat, kinerja penebaran, aspek pelayanan, hingga ketahanan baterai selama pengoperasian. Hasil analisis menunjukkan bahwa *drone spreader* memiliki efisiensi sebesar 78,62% pada pupuk granul NPK 15 dan 82,58% pada pupuk granul SP-36. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa karakteristik bahan memengaruhi performa distribusi alat. Hasil penelitian ini memberikan gambaran teknis dan operasional yang dapat menjadi tambahan kajian ilmiah terkait kinerja *drone spreader* dalam aplikasi pemupukan di lapangan.

REFERENSI

- [1] M. Ibnu, "Tantangan Sektor Pertanian dalam Memenuhi Kebutuhan Pangan Berkelanjutan," *JL*, vol. 20, no. 2, hlm. 135–148, Des 2024, doi: 10.33658/jl.v20i2.400.
- [2] C. Song, L. Liu, G. Wang, J. Han, T. Zhang, dan Y. Lan, "Particle Deposition Distribution of Multi-Rotor UAV-Based Fertilizer Spreader under Different Height and Speed Parameters," *Drones*, vol. 7, no. 7, hlm. 1–13, 2023, doi: 10.3390/drones7070425.
- [3] N. B. Bharad, V. R. Vagadia, A. L. Lakhani, B. M. Khanpara, dan M. S. Dulawat, "A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Sprayers Used in Modern Agriculture," *J. Sci. Res. Rep.*, vol. 30, no. 10, hlm. 573–585, Okt 2024, doi: 10.9734/jsrr/2024/v30i102483.
- [4] A. N. Ichniarsyah, E. Widiono, dan T. P. Purboningtyas, "Uji Kinerja Mesin Pengiris Singkong Tipe Vertikal," *JTEP-L*, vol. 10, no. 4, hlm. 530, Des 2021, doi: 10.23960/jtep-l.v10i4.530-536.
- [5] S. N. Rachmad, R. Permatasari, dan S. Cahyati, "PENGARUH MASSA JENIS PARTIKEL DAN KETINGGIAN PARTIKEL TERHADAP FLUIDISASI DI DALAM FLUIDIZED BED," 2018.
- [6] P. Zhao, X. Gao, Y. Su, Y. Xu, dan Y. Huang, "Investigation of seeding performance of a novel high-speed precision seed metering device based on numerical simulation and high-speed camera," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 217, hlm. 108563, Feb 2024, doi: 10.1016/j.compag.2023.108563.
- [7] L. Zhang *dkk.*, "Optimization Design and Experimental Study of Solid Particle Spreader for Unmanned Aerial Vehicle," *Drones*, vol. 8, no. 12, hlm. 726, Des 2024, doi: 10.3390/drones8120726.
- [8] R. Zinkevičienė *dkk.*, "Determination of Properties of Loose and Granulated Organic Fertilizers and Qualitative Assessment of Fertilizer Spreading," *Sustainability*, vol. 14, no. 7, hlm. 4355, Apr 2022, doi: 10.3390/su14074355.
- [9] O. Gök, P. Ersoy, dan G. Börühan, "The effect of user manual quality on customer satisfaction: the mediating effect of perceived product quality," *JPBM*, vol. 28, no. 4, hlm. 475–488, Jul 2019, doi: 10.1108/JPBM-10-2018-2054.
- [10] M. Salman dan H. P. Setiawan, "Pengujian Alat Pembajak Tanah Berpenggerak Motor Bakar 1,1 HP," vol. 10, no. 2, 2023.
- [11] T. Zhao, Y. Zhang, M. Wang, W. Feng, S. Cao, dan G. Wang, "A Critical Review on the Battery System Reliability of Drone Systems," *Drones*, vol. 9, no. 8, hlm. 539, Jul 2025, doi: 10.3390/drones9080539.