

## Uji Kinerja dan Implementasi Aplikator Pupuk Cair Berbasis *Variable Rate Application* untuk Tanaman Kedelai (*Glycine max*)

Performance Test and The Implementation of Liquid Fertilizer Applicator based on Variable Rate Application (VRA) for Soybean (*Glycine max*)

Miraj Fuadi\*, Lilik Sutiarso, R. Radi

Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Penulis korespondensi: Miraj Fuadi; Email: mirajfuadi@gmail.com

Tanggal submit: 13 Maret 2020; Tanggal revisi: 12 Mei 2020; Tanggal penerimaan: 9 Juni 2020

### ABSTRAK

Proses pemupukan merupakan salah satu tahapan yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas tanaman. Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus dengan dosis yang meningkat setiap tahunnya dapat mengganggu keseimbangan hara tanah. Oleh sebab itu dibutuhkan alat pemupuk berbasis *variable rate application* yang dapat mengatur dosis pupuk yang dibutuhkan oleh tanaman. Tujuan dari penelitian ini yaitu menguji kinerja alat pemupuk berbasis *variable rate* pada budidaya tanaman kedelai. Bahan yang digunakan adalah pupuk urea, SP-36, KCl, kacang kedelai (*Glycine max*) varietas Grobogan. Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa rol meter, stopwatch, timbangan, multitester, penggaris, jangka sorong dan aplikator pemupuk. Kinerja alat dan dampaknya terhadap pertumbuhan kedelai diobservasi pada demplot seluas 36 x 8 m<sup>2</sup> yang dibagi menjadi 6 petak seluas 12 x 4 m<sup>2</sup> dan tiap petaknya diberikan kode petak A1 hingga A6. Hasil pengujian alat pemupuk di lapangan diperoleh kapasitas lapang efektif (KLE), kapasitas lapang teoritis (KLT), dan efisiensi lapang (Ef) berturut-turut sebesar 624 m<sup>2</sup>/jam, 864 m<sup>2</sup>/jam, dan 72,27%. Dari hasil analisis pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa secara statistik pemberian pupuk menggunakan aplikator tidak secara signifikan mempengaruhi parameter tinggi tanaman tetapi secara signifikan berpengaruh nyata terhadap diameter batang, jumlah daun dan *coverage area*. Meskipun demikian masih dijumpai ketidakseragaman produktivitas tanaman kedelai yang ditunjukkan dengan nilai signifikansi sebesar 0,028. Analisis regresi dengan variabel SP-36 (X<sub>2</sub>) terhadap produktivitas didapatkan fungsi  $Y = -1,405 \cdot 10^{-4} + 0,12X_2 - 0,001X_2^2$  dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,581. Analisis regresi dengan variabel KCl (X<sub>3</sub>) terhadap produktivitas didapatkan fungsi  $Y = -2,546 \cdot 10^{-16} + 0,053X_3 - 2,063 \cdot 10^{-4} X_3^2$  dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,701.

**Kata kunci:** Uji kinerja; aplikator pupuk cair, variable rate, tanaman kedelai

### ABSTRACT

Provision of fertilizer is crucial for improving the quality and quantity of the yield. However, using chemical fertilizer continuously with increasing doses can disrupt the balance of land nutrients. Therefore, it is necessary to use a variable-rate liquid fertilizer device to control fertilizer dose required by the plant. The research aimed to evaluate the variable-rate liquid fertilizer performance. The fertilizer applicator characterized by effective field capacity (EFC), theoretically field capacity (TFC) and field efficiency (FE). The materials used were fertilizer (Urea, Sp-36, KCL), *Glycine max* seeds Grobogan variety. While the equipments were a set of variable-rate liquid fertilizer applicator, scale, rollmeter, analytic balance, multitester, and calipers. To observe the plant responses by fertilizer applicator, a demplot of 36 x 8 m<sup>2</sup> was divided in 6 plots of 12 x 4 m<sup>2</sup> (A1, A2, ... A6). The evaluation showed respectively the EFC, TFC and FE were 624 m<sup>2</sup>/h, 864 m<sup>2</sup>/h and 72.27%. The soybean growth showed that statistically the application of fertilizers using an applicator did not significantly affect plant height parameters but significantly affected the stem diameter, number of leaves and coverage area. Nevertheless, it was still found that soybean crop had different productivity, shown by a significance value of 0.028. Regression analysis with the fertilizer SP-36 (X<sub>2</sub>) variable on productivity obtained the function  $Y = -1.405.10^{-4} + 0.12X_2 - 0.001X_2^2$  with an R<sup>2</sup> of 0.581. Regression analysis with the fertilizer KCl (X<sub>3</sub>) variable on productivity obtained the function  $Y = -2.546.10^{-16} + 0.053X_3 - 2.063.10^{-4} X_3^2$  with an R<sup>2</sup> value of 0.701.

**Keywords:** Performance test, variable-rate liquid fertilizer, soybean crops

### PENDAHULUAN

Pertanian presisi merupakan sistem pertanian terpadu berbasis pada informasi dan produksi yang bertujuan meningkatkan efisiensi, produktivitas dan profitabilitas dari hulu ke hilir yang berkelanjutan, spesifik-lokasi serta meminimalkan dampak yang tidak diinginkan pada lingkungan (Whelan dan Taylor, 2013). Menurut Azis dkk. (2011), Sistem pertanian di Indonesia masih menerapkan teknologi perlakuan seragam atau URT (*Uniform Rate Technology*) saat proses pemupukan. Teknologi pemupukan ini memberikan perlakuan yang

sama terhadap lahan pertanian tanpa memperhatikan kondisi tanah baik sifat fisik seperti tekstur dan struktur tanah maupun sifat kimia seperti kandungan hara/nutrisi dan pH tanah.

Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus dengan dosis yang meningkat setiap tahunnya dapat menyebabkan tanah menjadi keras dan keseimbangan unsur hara tanah menjadi terganggu (Parnata, 2010). Pemberian pupuk pada budidaya kedelai masih berdasarkan rekomendasi yang bersifat umum yaitu 50-100 kg KCl/ha + 50-100kg SP-36/ha + 25-75 kg Urea/ha (Musaddad, 2008). Pertumbuhan tanaman tidak akan

Tabel 1. Rekomendasi N, P, dan K untuk tanaman kedelai pada setiap kelas hara tanah

Kelas hara tanah	Kategori	Takaran pupuk (kg/ha)	Waktu pemberian	
			10 HST (%)	30 HST (%)
N	Rendah	174 urea	70	30
	Sedang	152 urea	70	30
	Tinggi	117 urea	70	30
P	Rendah	104 SP-36	100	-
	Sedang	80 SP-36	100	-
	Tinggi	40 SP-36	100	-
K	Rendah	210 KCl	70	30
	Sedang	190 KCl	70	30
	Tinggi	150 KCl	70	30

Keterangan: HST: Hari setelah tanam  
Sumber: Permadi dan Haryati, 2015

optimal apabila kebutuhan unsur hara tidak tercapai (Azis dkk., 2011). Pemupukan berdasarkan kandungan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) tanah perlu dilakukan agar pemupukan lebih efisien dan kesuburan tanah tetap terjaga. Kebutuhan optimal hara N, P, dan K bagi tanaman kedelai tergantung pada hasil analisis tanah untuk mencapai hasil optimal yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Sebagai komoditas tambahan yang diusahakan secara individual oleh petani, budidaya kedelai tidak dijumpai dalam hamparan yang luas, melainkan pada spot-spot luasan yang hanya puluhan hektar atau kurang tiap hamparannya (Subandi dkk., 2007). Dengan demikian, perlu penelitian lebih lanjut mengenai alat pemupuk presisi yang dapat diaplikasikan pada lahan yang sempit dan mengetahui pengaruh pemberian pupuk secara terkontrol terhadap produktivitas dan pertumbuhan tanaman kedelai.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari – September 2019 terhitung dari *survey* dan *sampling* tanah, perancangan alat, uji coba alat, orientasi hingga pengujian NPK tanah, penanaman dan pengamatan pertumbuhan tanaman (Juli - September 2019) hingga analisa data. Lahan percobaan berlokasi di Ngemplak, Sleman, D.I Yogyakarta dengan luas 36 x 8 m<sup>2</sup>. Pada lahan tersebut dibagi menjadi 6 petak seluas 12 x 4 m<sup>2</sup> dan tiap petaknya diberikan kode petak A1 hingga A6. Setiap petak ditanami kedelai dengan cara ditugal dan dengan jarak tanam 40 cm x 20 cm. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Srihartanto dkk. (2015), jarak tanam 40 cm x 20 cm merupakan jarak tanam terbaik untuk meningkatkan produktivitas kedelai di DI Yogyakarta.

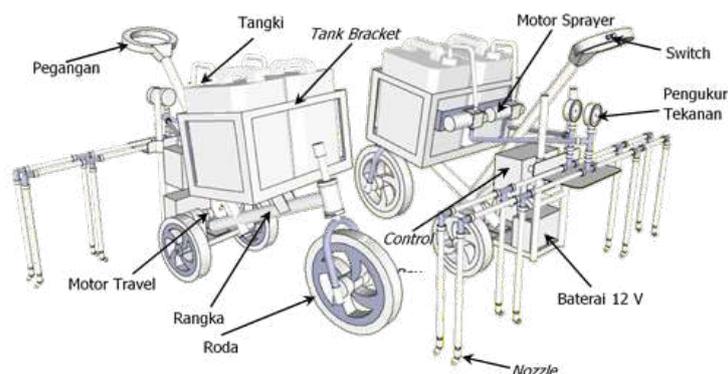
## Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah pupuk urea, SP-36, KCl, kacang kedelai (*Glycine max*) varietas Grobogan. Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa rol meter, stopwatch, timbangan, multimeter, penggaris, jangka sorong dan aplikator pemupuk. Aplikator ini dirancang untuk dioperasikan oleh satu orang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

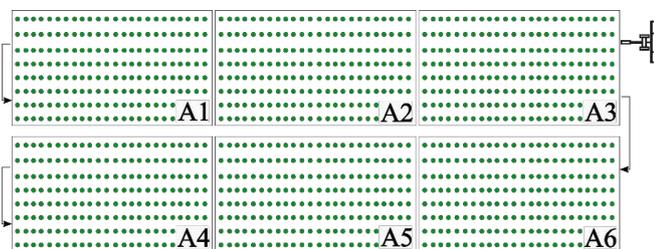
Komponen aplikator terdiri dari kerangka, roda, *control box*, *motor sprayer*, *motor gearbox*, pegangan, baterai aki 12 V, switch, pengukur tekanan, tangki dan *tank bracket*. Aplikator dijalankan menggunakan *motor gearbox* 12V yang dipasang di kedua roda belakang, sedangkan pupuk cair dalam tangki disuplai dengan *motor sprayer* 12V DC yang dipasang di bagian tank bracket. Kecepatan aplikator dan pengeluaran pupuk cair diatur dengan memutar *dimmer controller* di *control box*. Berdasarkan hasil uji laboratorium, debit yang dapat dicapai oleh motor sprayer berkisar 192,08 – 734,17 mL/menit dan kecepatan aplikator yang dapat ditempuh berkisar 0,08 – 0,81 m/s. Kombinasi kecepatan 0,2 m/s dengan rekomendasi nilai *dimmer level motor sprayer* memperoleh nilai koefisien variasi berkisar 4,54 – 6,45 % untuk pupuk urea dan 2,71 – 4,45 % untuk pupuk KCl. Nilai error yang didapat tidak lebih dari 7,82 % (Fuadi dkk., 2019).

## Uji Kinerja Alat Pemupuk di Lapangan

Untuk mengevaluasi kemampuan kerja aplikator pupuk cair yang dioperasikan pada kondisi yang optimal. Pengukuran parameter uji dilakukan setelah aplikator siap dioperasikan. Beberapa parameter uji yang diukur adalah lebar kerja efektif pipa pemupuk, kapasitas lapang efektif, kecepatan kerja aktual, waktu total operasi, waktu kerja tidak efektif, dan efisiensi lapang. Skema uji kinerja di lapangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Aplikator pupuk terkontrol atau *Variable-Rate Application (VRA)*



Gambar 2. Skema pemupukan

**Cara Perhitungan**

Kapasitas lapang efektif (KLE, m<sup>2</sup>/jam) dihitung dengan Persamaan 1. Kapasitas lapang teoritis dihitung dengan Persamaan 2, dan efisiensi lapang pemupukan (Ef, %) dihitung dengan Persamaan 3.

$$KLE = \frac{A}{t} \tag{1}$$

Dimana: KLE = kapasitas lapang efektif (m<sup>2</sup>/jam), A = luas lahan terpupuk (m<sup>2</sup>), dan t = waktu selama operasi (waktu lapang total) (jam).

$$KLT = 3600 \times Wt \times Vt \tag{2}$$

Dimana: KLT = kapasitas lapang teoritis, (m<sup>2</sup>/jam), Wt = lebar kerja teoritis alat pemupuk (m), dan Vt = kecepatan kerja teoritis (m/detik).

$$Ef = \left( \frac{KLE}{KLT} \right) \times 100\% \tag{3}$$

Dimana: Ef = efisiensi lapang pemupukan (%), KLE = kapasitas lapang efektif (m<sup>2</sup>/jam) dan KLT = kapasitas lapang teoritis (m<sup>2</sup>/jam).

**Uji Kandungan Hara Tanah**

Sampel tanah diambil di lahan uji yang terletak di Ngemplak, Sleman, D.I. Yogyakarta. Penentuan NPK tanah dilakukan melalui uji laboratorium untuk mendapatkan kandungan N-tersedia, P-tersedia, K-tersedia, kapasitas

pertukaran kation (KPK) dan tekstur tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan secara komposit pada kedalaman 0 - 20 cm dengan jumlah 1 sampel untuk setiap petaknya. Pengujian kandungan tanah dilakukan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta (UPNVY). Hasil dari uji laboratorium selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan nilai pada Tabel 2. Pemupukan dilakukan menggunakan 2 cara yaitu menggunakan aplikator (Urea dan KCl) dan manual (SP-36) dengan jumlah dosis sesuai hasil kandungan NPK tanah. Pemupukan SP-36 dilakukan manual dengan cara menaburi pupuk di dekat perakaran kedelai.

**Pertumbuhan Kedelai**

Pengamatan pertumbuhan tanaman dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan *coverage area* yang diambil setiap 7 hari sekali. Pemberian air irigasi dilakukan 3 kali yaitu sehari sebelum tanam, setelah pemupukan 10 HST dan 30 HST. Tinggi tanaman diukur dari pangkal tanaman pada permukaan tanah sampai pada titik tumbuh tertinggi. Jumlah daun dihitung setiap minggu dengan menghitung semua daun mulai dari daun *unifoliet* sampai daun yang sudah terbuka. Pengamatan *coverage area* pada tanaman kedelai menggunakan penggaris atau meteran yang diukur dari ujung terluar daun hingga batang tanaman secara tegak lurus. Pengukuran diameter batang menggunakan jangka sorong. Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun dimulai pada saat tanaman berumur 14 HST hingga 63 HST. Pengukuran produktivitas dilakukan dengan cara memanen kedelai pada luas petak 2 m x 0,8 m dan dilakukan 3 kali ulangan pada setiap petaknya. Kedelai yang sudah dipanen selanjutnya dijemur untuk memisahkan antara kulit dan biji kedelai. Biji kedelai kemudian ditimbang dan dikonversi ke ton/ha.

Data pertumbuhan tanaman yang diperoleh dianalisis menggunakan ANOVA satu arah untuk mengetahui beda nyata antara tiap petak pada beberapa parameter pertumbuhan dan hasil tanaman

Tabel 2. Klasifikasi kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang tersedia dalam tanah

Kelas hara tanah	Satuan	Klasifikasi				Sumber
		Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi	
N	%	0,1 – 0,2	0,21 – 0,5	0,51 – 0,75	> 0,75	Yamani, 2012
P	ppm	< 10	10 – 25	25 – 50	> 50	Horneck dkk., 2011
K	me/100 g	< 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 2,0	> 2,0	Horneck dkk., 2011

Tabel 3. Hasil pengujian sampel tanah

Petak	Sifat kimia tanah				Sifat fisik tanah		
	N (%)	P (ppm)	K (me/100 g)	KPK (me/100 g)	Debu (%)	Lempung (%)	Pasir (%)
A1	0,006	11,29	0,53	5,29	18,80	3,80	77,40
A2	0,008	16,43	1,08	6,52	16,20	12,40	71,40
A3	0,010	30,22	1,20	8,61	11,70	10,80	77,50
A4	0,007	10,43	0,54	4,97	9,20	8,60	82,20
A5	0,005	13,97	0,64	7,25	15,30	9,80	74,90
A6	0,008	38,02	0,63	7,15	18,10	9,60	72,30

kedelai. Apabila ada pengaruh nyata dilanjutkan pengujian menggunakan metode DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan taraf signifikansi 5%. Prediksi produktivitas kedelai dilakukan menggunakan uji regresi linier berganda menggunakan software IBM SPSS Modeler 16.0.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Kinerja Aplikator Pemupuk di Lapangan

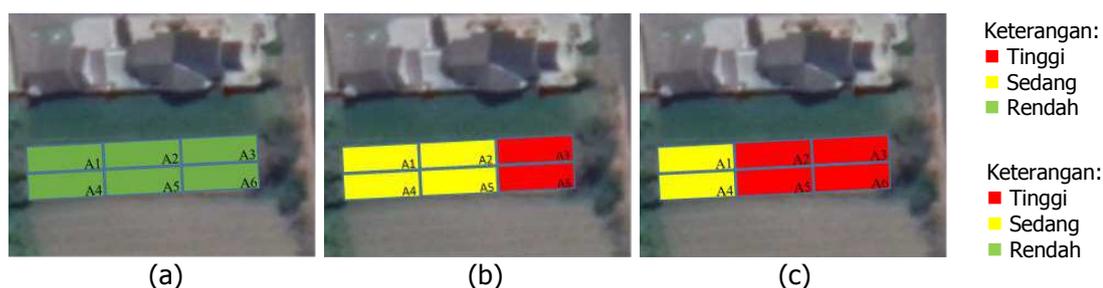
Pengujian aplikator pemupuk di lapangan didasarkan atas hasil pengujian N, P, dan K tanah sebelum tanam. Berdasarkan hasil uji lab tanah yang disajikan pada Tabel 3, tekstur tanah pada seluruh petak didominasi oleh pasir, dengan nilai KPK yang diperoleh rendah berkisar 4,97 – 7,25 me/100 g. Nilai N, P, dan K yang diperoleh kemudian diklasifikasikan berdasarkan kelas status hara rendah, sedang, dan tinggi dengan acuan Tabel 2.

Hasil dari klasifikasi kelas N, P, dan K tanah ditampilkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3(a), menunjukkan bahwa kandungan N-tersedia pada

seluruh petak rendah, sedangkan pada pada Gambar 3(b) dan 3(c) menunjukkan bahwa kandungan P-tersedia dan K-tersedia berada pada kategori sedang dan tinggi. Menurut Rahutomo dan Ginting (2018), tekstur tanah yang didominasi pasir, tanah yang masam, kandungan bahan organik rendah, dan KPK yang rendah akan berakibat pada berkurangnya kemampuan tanah menyerap hara dalam bentuk kation.

Pengujian di lapangan dilakukan saat tanaman berumur 10 HST. Kecepatan aplikator disesuaikan terlebih dahulu agar mendapatkan kecepatan sebesar 0,2 m/s. Berdasarkan hasil pengujian di lapangan diperoleh nilai  $\Delta V$  pemupukan urea dan KCl serta nilai efisiensi lapang yang tunjukan oleh Tabel 4 – Tabel 6. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai  $\Delta V$  pemupukan urea berkisar 649 – 1150 mL dan pemupukan KCl berkisar 965 – 1219 mL dengan nilai efisiensi lapang pemupukan sebesar 72,27%.

Nilai  $\Delta V$  yang diperoleh dari uji lapangan lebih tinggi dibandingkan dengan hasil uji lab dikarenakan permukaan tanah yang tidak rata serta luas permukaan roda yang kecil menyulitkan aplikator untuk bergerak seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4a. Selain itu



Gambar 3. Hasil uji laboratorium (a) kandungan N-tersedia tanah, (b) kandungan P-tersedia, dan (c) kandungan K-tersedia tanah

Tabel 4. Selisih volume pemupukan urea 10 HST

Petak	Kategori	Debit observasi (mL/menit)	Rekomendasi pemupukan (mL)	Waktu (s)	Volume observasi (mL)	$\Delta V$ (mL)
A1	Rendah	710	6162,2	143,9	6811,27	649,07
A2	Rendah	710	6162,2	144,6	6844,40	682,20
A3	Rendah	710	6162,2	152,6	7223,07	1060,87
A4	Rendah	710	6162,2	148,7	7038,47	876,27
A5	Rendah	710	6162,2	151,1	7147,33	985,13
A6	Rendah	710	6162,2	154,5	7313,00	1150,80

Tabel 5. Selisih volume pemupukan KCl 10 HST

Petak	Kategori	Debit observasi (mL/menit)	Rekomendasi pemupukan (mL)	Waktu (s)	Volume observasi (mL)	$\Delta V$ (mL)
A1	Sedang	640	5174,5	143,9	6139,73	965,23
A2	Tinggi	515	4085,1	144,6	4964,60	879,50
A3	Tinggi	515	4085,1	152,6	5239,27	1154,17
A4	Sedang	640	5174,5	148,7	6344,53	1170,03
A5	Tinggi	515	4085,1	151,1	5184,33	1099,23
A6	Tinggi	515	4085,1	154,5	5304,50	1219,40

Tabel 6. Hasil uji lapangan

A (m <sup>2</sup> )	t (jam)	Vt (m/s)	Wt (m)	KLE (m <sup>2</sup> /jam)	KLT (m <sup>2</sup> /jam)	Ef (%)
201,6	0,32	0,2	1,2	624	864	72,27



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Proses pemupukan 10 HST (b) Kondisi lahan saat 30 HST

karena kapasitas tangki yang kecil sehingga harus melakukan beberapa kali pengisian tangki. Pengisian

ulang yang membutuhkan cukup banyak waktu ini mempengaruhi nilai *Ef*. Kondisi tanaman pada 30 HST dapat kita lihat pada Gambar 4b, dimana roda dan dudukan tangki mengenai tanaman kedelai, dan apabila dipaksakan akan merusak tanaman. Sehingga pada pemupukan 30 HST dilakukan secara manual karena risiko terkena bunga yang akan berpengaruh terhadap hasil panen kedelai. Pemberian air dilakukan setelah pemupukan melalui irigasi atau sumur dengan bantuan mesin diesel.

### Pengaruh Pemupukan terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai

#### Tinggi tanaman

Berdasarkan hasil uji Duncan (Tabel 7) menunjukkan bahwa tinggi tanaman pada usia 14 HST

Tabel 7. Rata-rata tinggi tanaman pada berbagai umur pengamatan

Petak	Tinggi tanaman pada umur (HST)							
	14	21	28	35	42	49	56	63
A1	10,8 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>	24,2 <sup>a</sup>	29,65 <sup>a</sup>	32,3 <sup>a</sup>	33,0 <sup>a</sup>	33,2 <sup>a</sup>	33,6 <sup>a</sup>
A2	11,7 <sup>a</sup>	17,2 <sup>a</sup>	24,7 <sup>a</sup>	31,52 <sup>a</sup>	38,0 <sup>a</sup>	39,0 <sup>a</sup>	39,1 <sup>a</sup>	39,4 <sup>a</sup>
A3	10,6 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a</sup>	23,6 <sup>a</sup>	29,07 <sup>a</sup>	36,5 <sup>a</sup>	38,0 <sup>a</sup>	38,3 <sup>a</sup>	39,1 <sup>a</sup>
A4	8,6 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	21,6 <sup>a</sup>	29,48 <sup>a</sup>	35,9 <sup>a</sup>	36,8 <sup>a</sup>	37,0 <sup>a</sup>	37,3 <sup>a</sup>
A5	10,4 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>	22,4 <sup>a</sup>	29,15 <sup>a</sup>	34,1 <sup>a</sup>	35,9 <sup>a</sup>	36,1 <sup>a</sup>	36,5 <sup>a</sup>
A6	10,7 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	21,4 <sup>a</sup>	27,17 <sup>a</sup>	30,3 <sup>a</sup>	33,9 <sup>a</sup>	34,1 <sup>a</sup>	34,3 <sup>a</sup>
Sig.	0,075	0,247	0,579	0,555	0,291	0,446	0,435	0,422
CV	9,79	5,72	6	4,75	8,26	6,33	6,4	6,48

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama (huruf kecil vertikal) berbeda tidak nyata pada taraf 5% (Uji DMRT).

hingga 63 HST pada seluruh petak tidak berpengaruh nyata. Hal ini diduga terjadi karena dosis pupuk urea yang seragam. Menurut Wahyudin dkk. (2015), nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang berperan sebagai bahan dasar pembentukan klorofil dan penyusunan protein bagi tanaman yang diperlukan dalam pembentukan dan pertumbuhan vegetatif tanaman. Pernyataan tersebut sesuai dengan kandungan N-tersedia tanah yang seragam pada seluruh petak, sehingga pertumbuhan tinggi tanaman tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan untuk setiap petaknya.

### Jumlah daun

Pemberian pupuk urea pada 10 HST dan 30 HST dengan dosis yang sama pada tiap petaknya menunjukkan pertumbuhan yang seragam pada 21 HST – 49 HST (Tabel 8). Sedangkan jumlah daun pada usia 14 HST dan 56 HST menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap variasi pemupukan antar petak. Hal ini dikarenakan pada usia 0 -14 HST, kedelai belum menunjukkan pengaruh terhadap pemberian pupuk saat 10 HST sehingga jumlah daun antar petak menunjukkan nilai yang berbeda nyata dengan nilai signifikansi < 0,05. Selain itu perbedaan nyata pada usia 56 HST diduga karena faktor lingkungan seperti penyakit dan hama.

Hama dan penyakit pada tanaman kedelai sudah mulai terlihat pada usia 28 HST. Kedelai merupakan tanaman yang paling besar menghadapi ancaman serangan hama dan/atau penyakit sejak fase bibit sampai dengan pengisian polong (Marwoto, 1999). Penyakit yang terpenting pada kedelai adalah karat daun. Penyakit sangat merusak bila menyerang mulai

tanaman berumur 50 hari atau lebih muda. Selain menanam varietas toleran, pengendalian dengan fungisida dapat dianjurkan bila penyakit belum berkembang, dan tanaman masih berumur kurang dari 60 hari (Sumarno, 1995).

### Coverage area

Pengukuran luas cakupan tanaman atau *coverage area* dilakukan untuk melihat kerapatan antar tanaman. Pada Gambar 5, dapat kita lihat grafik pertumbuhan *coverage area* kedelai pada seluruh petak meningkat setiap minggunya. Rata-rata teringgi *coverage area* pada usia 42 HST ditunjukkan oleh petak A3 sebesar 2097, 56 cm<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil uji Duncan yang menunjukkan bahwa parameter *coverage area* pada usia 21 HST – 42 HST menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata terhadap perlakuan variasi pemupukan antar petak (Tabel 9). Hal tersebut terjadi karena pada usia 21 – 42 HST rata-rata tinggi tanaman dan jumlah daun pada setiap petak tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

### Diameter batang

Berdasarkan hasil uji Duncan (Tabel 10) menunjukkan bahwa perkembangan diameter batang pada umur 21 HST menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap perlakuan variasi pemupukan antar petak tetapi tidak berbeda nyata pada usia 28 HST hingga 63 HST. Sama halnya seperti parameter tinggi tanaman dan jumlah daun, perkembangan diameter batang dipengaruhi oleh kandungan nitrogen dalam tanah. Apabila dilihat pada hasil kandungan N tanah pada setiap petak yang seragam, seharusnya diameter

Tabel 8. Rata-rata jumlah daun pada berbagai umur pengamatan

Petak	Jumlah daun pada umur (HST)							
	14	21	28	35	42	49	56	63
A1	9,7 <sup>b</sup>	11,0 <sup>a</sup>	23,0 <sup>a</sup>	32,5 <sup>a</sup>	39,5 <sup>a</sup>	38,0 <sup>a</sup>	35,3 <sup>ab</sup>	30,0 <sup>a</sup>
A2	8,0 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	20,5 <sup>a</sup>	27,5 <sup>a</sup>	37,8 <sup>a</sup>	35,8 <sup>a</sup>	33,5 <sup>ab</sup>	28,7 <sup>a</sup>
A3	7,5 <sup>a</sup>	12,0 <sup>a</sup>	21,5 <sup>a</sup>	35,2 <sup>a</sup>	38,7 <sup>a</sup>	38,2 <sup>a</sup>	38,3 <sup>b</sup>	38,8 <sup>a</sup>
A4	10,0 <sup>b</sup>	10,5 <sup>a</sup>	18,3 <sup>a</sup>	27,7 <sup>a</sup>	32,7 <sup>a</sup>	30,7 <sup>a</sup>	27,8 <sup>a</sup>	25,7 <sup>a</sup>
A5	10,0 <sup>b</sup>	11,0 <sup>a</sup>	21,0 <sup>a</sup>	29,0 <sup>a</sup>	34,5 <sup>a</sup>	29,5 <sup>a</sup>	28,0 <sup>a</sup>	26,3 <sup>a</sup>
A6	9,7 <sup>b</sup>	10,5 <sup>a</sup>	20,3 <sup>a</sup>	30,5 <sup>a</sup>	40,3 <sup>a</sup>	35,7 <sup>a</sup>	35,2 <sup>ab</sup>	36,2 <sup>a</sup>
Sig.	0,00	0,33	0,63	0,135	0,58	0,082	0,029	0,079
CV	12,00	4,98	7,38	9,87	8,1	10,7	12,9	17,4

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama (huruf kecil vertikal) berbeda tidak nyata pada taraf 5% (Uji DMRT).

Tabel 9. Rata-rata *coverage area* pada berbagai umur pengamatan

Petak	<i>Coverage area</i> pada umur (HST)			
	21	28	35	42
A1	385,1 <sup>a</sup>	1061,0 <sup>a</sup>	1352,2 <sup>a</sup>	1807 <sup>a</sup>
A2	404,9 <sup>a</sup>	1019,0 <sup>a</sup>	1311,0 <sup>a</sup>	1953 <sup>a</sup>
A3	345,3 <sup>a</sup>	938,0 <sup>a</sup>	1478,0 <sup>a</sup>	2098 <sup>a</sup>
A4	355,5 <sup>a</sup>	877,0 <sup>a</sup>	1199,0 <sup>a</sup>	1545 <sup>a</sup>
A5	339,3 <sup>a</sup>	983,7 <sup>a</sup>	1323,0 <sup>a</sup>	1711 <sup>a</sup>
A6	279,1 <sup>a</sup>	767,8 <sup>a</sup>	1203,0 <sup>a</sup>	1841 <sup>a</sup>
Sig,	0,649	0,492	0,793	0,256
CV	12,34	11,28	7,91	10,47

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama (huruf kecil vertikal) berbeda tidak nyata pada taraf 5% (Uji DMRT).

batang pada setiap petak tidak menunjukkan perbedaan nyata.

### Produktivitas Kedelai

Pengukuran produktivitas tanaman kedelai dilakukan dengan cara mengambil biji pada setiap petak dengan ukuran 2 m x 0,8 m. Produktivitas tertinggi dihasilkan oleh petak A2 dengan nilai sebesar 3,84 ton/ha. Berdasarkan hasil uji Duncan (Tabel 11) menunjukkan bahwa produktivitas pada setiap petak memperlihatkan hasil yang berbeda nyata dengan nilai signifikansi 0,028. Produktivitas kedelai sangat dipengaruhi oleh ketiga unsur hara makro yaitu nitrogen, fosfor dan kalium. Unsur kalium berfungsi

Tabel 10. Rata-rata diameter batang pada berbagai umur pengamatan

Petak	Diameter batang pada umur (HST)							
	21	28	35	42	49	56	63	
A1	0,2 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	
A2	0,3 <sup>b</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	
A3	0,3 <sup>b</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	
A4	0,2 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>					
A5	0,2 <sup>a</sup>	0,3 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	
A6	0,3 <sup>b</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,4 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	
Sig,	0,003	0,101	0,202	0,159	0,068	0,072	0,074	
CV	8,82	6,2	5,69	6,04	6,85	6,45	6,57	

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama (huruf kecil vertikal) berbeda tidak nyata pada taraf 5% (Uji DMRT).

untuk memperkuat tanaman sehingga daun, bunga, dan buah tidak mudah rontok atau gugur serta salah satu sumber daya tahan tanaman terhadap kekeringan dan penyakit. Selain itu perbedaan hasil pada setiap petak diduga karena hama tanaman serta pencucian pupuk (*leaching*) karena irigasi. Serangan hama dapat menyebabkan penurunan hasil sampai 80%, bahkan tanaman gagal menghasilkan apabila tidak ada upaya pengendalian hama (Marwoto, 1999).

Pemberian air tanaman dengan sistem irigasi (Gambar 5) membuat resiko *leaching* lebih tinggi. Kedelai pada lahan sawah tadah hujan yang ditanam pada Musim Kemarau 2 (Juni-Agustus) akan menghadapi permasalahan kekurangan air pada fase generatif

Tabel 11. Bobot biji dan produktivitas kedelai pada setiap petak

Petak	Berat total biji (g)				Rendemen (%)	Produktivitas (ton/ha)
	1	2	3	x		
A1	503	362	455	440,0	56,22	2,8 <sup>ab</sup>
A2	612	610	620	614,0	56,31	3,8 <sup>c</sup>
A3	698	422	505	541,7	55,77	3,4 <sup>b<sup>c</sup></sup>
A4	418	405	315	379,3	56,79	2,4 <sup>a</sup>
A5	459	432	502	464,3	57,47	2,9 <sup>ab</sup>
A6	407	508	483	466,0	55,74	2,9 <sup>ab</sup>
Sig.						0,028
CV						16,98

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama (huruf kecil vertikal) berbeda tidak nyata pada taraf 5% (Uji DMRT).

apabila tidak ada suplai pengairan dari pompanisasi (air tanah) dan gangguan hama yang lebih berat (Subandi dkk., 2007). Pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai sangat terhambat jika mengalami kekeringan dibandingkan dengan kedelai yang terpenuhi kebutuhan airnya (Anjum dkk., 2013).



Gambar 5. Proses pengairan lahan

### Model Produktivitas Kedelai

Produktivitas kedelai kemudian dimodelkan untuk memprediksikan hasil produktivitas yang diperoleh melalui data pertumbuhan kedelai dan penggunaan pupuk. Data pertumbuhan kedelai yang digunakan yaitu pada saat tanaman berumur 42 HST. Pengujian diawali dengan uji korelasi untuk melihat seberapa besar hubungan antara variabel sebagai dasar dalam menentukan parameter yang digunakan untuk membuat model produktivitas. Ada tiga cara yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan yaitu jika

nilai  $r$  hitung (*Pearson Correlation*)  $> r$  tabel (0,632), nilai Sig. (*2-tailed*)  $< 0,05$  dan terdapat tanda bintang (\*) maka terdapat korelasi antar variable.

Berdasarkan hasil uji korelasi (Tabel 12) dapat disimpulkan bahwa tinggi tanaman tidak memiliki korelasi dengan produktivitas karena nilai  $r$  hitung lebih kecil dari nilai  $r$  tabel ( $-0,27 < 0,632$ ). Pada parameter jumlah daun dan *coverage area* memiliki korelasi dengan produktivitas yang ditunjukkan dengan nilai  $r$  hitung  $> r$  tabel 0,816 dan 0,938. Sedangkan parameter diameter batang memiliki nilai  $r$  hitung sebesar 0,61 sehingga memiliki hubungan yang kuat dengan variable produktivitas. Menurut Sujarweni (2014), nilai koefisien korelasi 0,41 sampai 0,70 memiliki hubungan yang kuat antara variable. Berdasarkan hasil uji korelasi, parameter-parameter yang digunakan dalam membuat model produktivitas yaitu jumlah daun, diameter batang dan *coverage area*. Berdasarkan hasil uji regresi linier berganda menggunakan SPSS didapatkan fungsi model Persamaan 4.

$$Y = -2,603 + 0,019P_1 - 0,389P_2 + 0,198P_3 \quad (4)$$

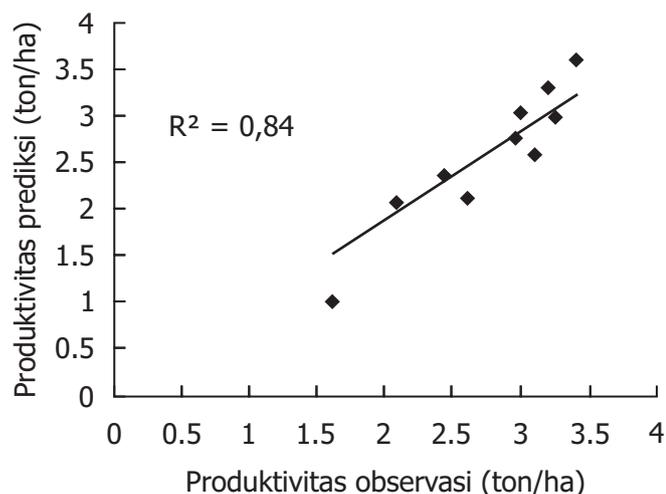
Dimana:  $Y$  adalah produktivitas (ton/ha),  $P_1$  adalah jumlah daun (helai),  $P_2$  adalah diameter batang (cm), dan  $P_3$  adalah jari-jari *coverage area* (cm).

Analisis regresi linier berganda selanjutnya yaitu analisis korelasi ganda ( $R$ ) dan analisis determinasi ( $R^2$ ) didapatkan nilai  $R$  dan  $R^2$  berturut-turut sebesar 0,949 dan 0,9. Menurut Sugiyono (2007), nilai  $R$  yang berkisar 0,8 – 1,0 menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel independen terhadap variabel dependen. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang sangat

Tabel 12. Uji korelasi pada parameter pertumbuhan dan produktivitas kedelai

		Tinggi	Jumlah daun	Diameter batang	Coverage area
Produktivitas	Pearson correlation	-0,27	0,816	0,61	0,938
	Sig. (2-tailed)	0,456	0,004	0,061	0

kuat antara jumlah daun, diameter batang dan coverage area terhadap produktivitas. Nilai R<sup>2</sup> yang didapatkan sebesar 0,9 menunjukkan bahwa persentase pengaruh variable independen (jumlah daun, diameter batang dan coverage area) terhadap variable dependen sebesar 90%. Pada Gambar 6 menunjukkan hubungan antara produktivitas (real) terhadap prediksi produktivitas berdasarkan fungsi model yang dibangun didapatkan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,84.



Gambar 6. Validasi model produktivitas kedelai dengan variabel pertumbuhan tanaman

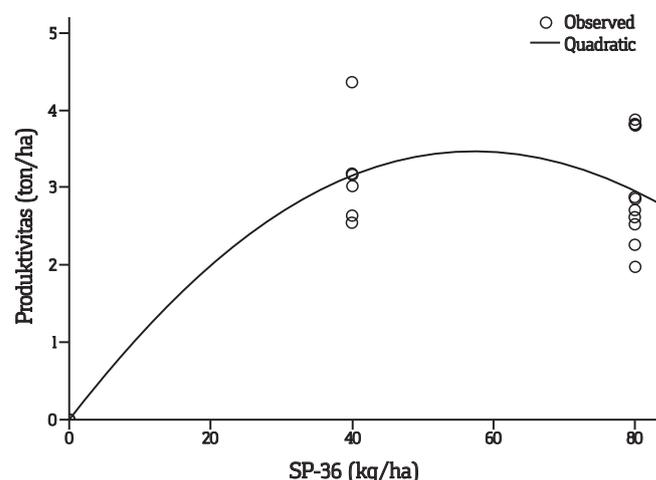
Model produktivitas terhadap penggunaan pupuk dianalisis menggunakan regresi non linier model kuadratik. Regresi nonlinear model kuadratik merupakan suatu metode untuk mendapatkan model linier yang menyatakan hubungan antara dua peubah yang terdiri dari variabel dependen (Y) dan variabel independen (X). Pada kasus ini, yang menjadi variabel dependen (Y) adalah produktivitas kedelai, dan yang menjadi variabel independen (X) adalah pupuk urea (X<sub>1</sub>), SP-36 (X<sub>2</sub>) dan KCl (X<sub>3</sub>).

Pemodelan dengan variabel independen pupuk urea (X<sub>1</sub>) tidak dapat dianalisis karena variasi pupuk yang digunakan hanya 1 variasi. Hasil uji regresi non linier dengan variabel independen pupuk SP-36 diperoleh nilai koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) berturut-turut sebesar 0,762 dan 0,581. Berdasarkan nilai R tersebut, menunjukkan

bahwa hubungan jumlah penggunaan pupuk SP-36 terhadap produktivitas memiliki korelasi yang kuat. Nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,581 menunjukkan bahwa persentase pengaruh variabel pupuk SP-36 terhadap produktivitas sebesar 58,1 %. Berdasarkan hasil regresi non linier didapatkan Persamaan 5.

$$Y = -1,405.10^{-4} + 0,12X_2 - 0,001X_2^2 \quad (5)$$

Berdasarkan analisis regresi linier model kuadratik hubungan antara pengaruh dosis SP-36 dengan produktivitas kedelai, diperoleh grafik pada Gambar 7.



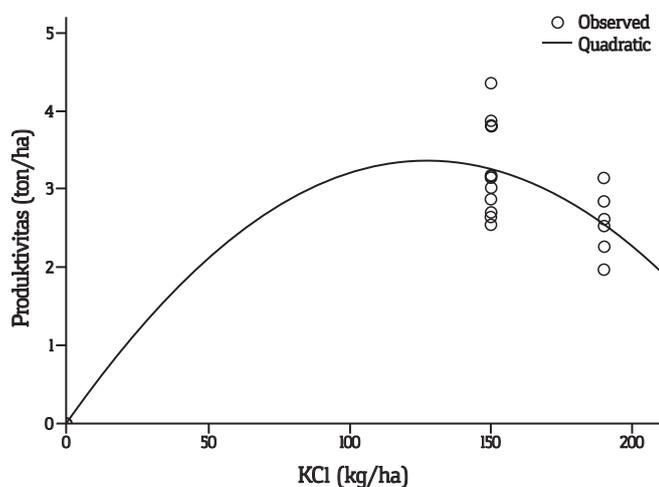
Gambar 7. Hubungan dosis SP-36 terhadap produktivitas

Hasil uji regresi non linier dengan variabel independen pupuk KCl diperoleh nilai koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) berturut-turut sebesar 0,837 dan 0,701. Berdasarkan nilai R tersebut, menunjukkan bahwa hubungan dosis KCl terhadap produktivitas kedelai memiliki korelasi yang sangat kuat. Nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,701 menunjukkan bahwa persentase pengaruh variabel pupuk KCl terhadap produktivitas kedelai sebesar 70,1%. Berdasarkan hasil regresi non linier didapatkan Persamaan 6.

$$Y = -2,546.10^{-16} + 0,053X_3 - 2,063.10^{-4}X_3^2 \quad (6)$$

Berdasarkan analisis regresi linier model kuadratik hubungan antara pengaruh penggunaan pupuk KCl

dengan produktivitas kedelai, diperoleh grafik yang ditampilkan pada Gambar 8. Hasil regresi non linier pada pupuk SP-36 dan KCl memiliki nilai  $R^2$  diatas 0,5 atau berpengaruh sebesar 50% terhadap produktivitas sedangkan sisanya sebesar 50% disumbangkan oleh variabel lain di luar penelitian ini. Faktor produksi yang lain juga dapat mempengaruhi produktivitas, antara lain luas lahan, jumlah pupuk, jumlah pestisida, iklim dan sistem irigasi (Arizka, 2019).



Gambar 8. Hubungan antara dosis KCl terhadap produktivitas kedelai

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian alat pemupuk di lapangan diperoleh kapasitas lapang efektif (KLE), kapasitas lapang teoritis (KLT) dan efisiensi lapang (Ef) berturut-turut sebesar 624 m<sup>2</sup>/jam, 864 m<sup>2</sup>/jam, dan 72,27%. Dari hasil analisis pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa secara statistik pemberian pupuk menggunakan aplikator tidak secara signifikan mempengaruhi parameter tinggi tanaman tetapi secara signifikan berpengaruh nyata terhadap diameter batang, jumlah daun, dan *coverage area*. Meskipun demikian masih dijumpai ketidakseragaman produktivitas tanaman kedelai yang ditunjukkan dengan nilai signifikansi sebesar 0,028 sehingga memerlukan kajian lebih lanjut. Hasil uji regresi linier berganda antara variabel pertumbuhan (P1 jumlah daun, P2 diameter batang, P3 *coverage area*) dengan produktivitas didapatkan fungsi  $Y = -2,603 + 0,019P_1 - 0,389P_2 + 0,198P_3$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,84. Analisis regresi non linier dengan variabel SP-36 (X2) terhadap produktivitas didapatkan fungsi  $Y = -1,405.10^{-4} + 0,12X_2 - 0,001X_2^2$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,581. Analisis regresi dengan variabel KCl (X3) terhadap produktivitas didapatkan fungsi  $Y = -2,546.10^{-16} + 0,053X_3 - 2,063.10^{-4}X_3^2$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,701.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia atas dukungan Hibah Penelitian Tesis Magister Tahun 2019 untuk membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Publikasi ini adalah bagian dari Penelitian Tesis di Program Magister Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak ada konflik kepentingan terkait dengan naskah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anjum, S. A., Ehsanullah, Xue, L., Wang, L., Saleem, M. F., & Huang, C. J. (2013). Exogenous benzoic acid (BZA) treatment can induce drought tolerance in soybean plants by improving gas-exchange and chlorophyll contents. *Australian Journal of Crop Science*, 7(5), 555–560.
- Arizka, A. A. (2019). Kajian Penerapan Mekanisasi Pertanian Berbasis Usaha Pelayanan Jasa Alat dan Mesin Pertanian (UPJA) untuk Sistem Produksi Padi di Kabupaten Banyumas, Purbalingga dan Banjarnegara. In *Universitas Gadjah Mada*.
- Azis, S, A., A. Setiawan, R., & Subrata, I. (2011). Disain dan Pengujian Metering Device untuk Alat Penjatah Pupuk Granular Laju Variabel (*Variable Rate Granular Fertilizer Applicator*). *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 25(2), 79–85.
- Balai Penelitian Tanah (BPT). (2007). Perangkat Uji Tanah Kering V.01 (*Upland Soil Test Kit*). In *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian*. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v1i1.304>
- Fuadi, M., Sutiarso, L., Radi, Virgawati, S., & Nugraheni, P. H. T. (2019). Design of liquid fertilizer applicator based on Variable Rate Application (VRA) for Soybean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012009>
- Horneck, D. A., Sullivan, D. M., Owen, J. S., & Hart, J. (2011). Soil Test Interpretation Guide. In *Rehabilitation* (Issue 3, pp. 1–8). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Marwoto. (1999). Rakitan teknologi PHT pada tanaman kedelai. *Prosiding Lokakarya Strategi Pengembangan Produksi*

- Kedelai*, 67–97. <http://www.ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/ippa/article/download/2598/2238>
- Musaddad, A. (2008). *Teknologi produksi kedelai, kacang tanah, kacang hijau, ubi kayu, dan ubi jalar*. Balai Penelitian Kacang- kacang dan Umbi-umbian.
- Parnata, A. S. (2010). *Meningkatkan Hasil Panen dengan Pupuk Organik*. PT. Agro Media Pustaka.
- Permadi, K., & Haryati, Y. (2015). Pemberian Pupuk N, P, dan K Berdasarkan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi untuk Meningkatkan Produktivitas Kedelai (Review). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 5(1), 1–8.
- Rahutomo, S., & Ginting, E. (2018). *Tingkat Pencucian N, P, K, dan Mg dari Aplikasi Beberapa Jenis Pupuk Leaching Level of N, P, K, and Mg from Application of*. 26(1), 37–47.
- Srihartanto, E., Anshori, A., & Iswandi, A. (2015). Produktivitas Kedelai dengan Berbagai Jarak Tanam di Yogyakarta. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi 2015*, 22, 151–154.
- Subandi, Harsono, A., & Kuntastyuti, H. (2007). Areal Pertanaman dan Sistem Produksi Kedelai di Indonesia. *Kedelai: Teknik Produksi Dan Pengembangan*, 104–129. <http://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/publikasi/monograf/kedelai-teknik-produksi-dan-pengembangan/>
- Sugiyono. (2007). *Metode Penelitian Bisnis*. In *Bandung: CV. Alfabeta*. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v3i2.7479>
- Sujarweni, V. W. (2014). *SPSS untuk Penelitian*. Pustaka Baru Press.
- Sumarno. (1995). Identifikasi Teknologi Usahatani Kedelai. *Balai Penelitian Tanaman Pangan Malang*. <https://doi.org/10.22146/agritech.38497>
- Wahyudin, A., Ruminta, R., & Bachtar, D. C. (2015). Pengaruh jarak tanam berbeda pada berbagai dosis pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung hibrida P-12 di Jatinangor. *Jurnal Kultivasi*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.24198/kltv.v14i1.12097>
- Whelan, B., & Taylor, J. (2013). *Precision Agriculture for Grain Production Systems*. *CSIRO Publishing, ISBN: 978-1-107-01232-0*. <https://media.neliti.com/media/publications/123270-ID-none.pdf>
- Yamani, A. (2012). Analisis Kadar Hara Makro Tanah pada Hutan Lindung Gunung Sebatung di Kabupaten Kotabaru. *Jurnal Hutan Tropis*, 12(2), 181–187.