

**KERAPATAN DAN BENTUK KRISTAL KALSIMUM
OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume)
PADA FASE PERTENGAHAN PERTUMBUHAN HASIL
PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K**

SKRIPSI

Oleh :

MEILISA DWI AYU NOVITA

0910910058



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUANALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**KERAPATAN DAN BENTUK KRISTAL KALSIMUM
OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume)
PADA FASE PERTENGAHAN PERTUMBUHAN HASIL
PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam Bidang Biologi**

Oleh :

MEILISA DWI AYU NOVITA

0910910058



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

KERAPATAN DAN BENTUK KRISTAL KALSIUM OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) PADA FASE PERTENGAHAN PERTUMBUHAN HASIL PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K

MEILISA DWI AYU NOVITA
0910910058

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 08 Juli 2013
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam Bidang Biologi

Menyetujui
Pembimbing

Dr. Serafinah Indriyani M.Si
NIP. 19630909 198802 0 001

Mengetahui
Ketua Program Studi S-1 Biologi
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Rodliyati Azrianingsih.,MSc.PhD
NIP. 197001281994122 001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Meilisa Dwi Ayu Novita

NIM : 0910910058

Jurusan : Biologi

Penulis Skripsi berjudul : Kerapatan dan Bentuk Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) pada Fase Pertengahan pertumbuhan Hasil Penanaman dengan Pupuk P dan K.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka Skripsi ini semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi Skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran

Malang, 8 Juli 2013

Yang menyatakan

Meilisa Dwi Ayu N.

0910910058

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.



**KERAPATAN DAN BENTUK KRISTAL KALSIMUM
OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume)
PADA FASE PERTENGAHAN PERTUMBUHAN HASIL
PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K**

Meilisa Dwi Ayu Novita^{*}, Serafinah Indriyani

**Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam, Universitas Brawijaya Malang.**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk kristal kalsium oksalat yang diamati, pengaruh dari pupuk P dan K terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada bagian tepi dan tengah umbi porang, serta bentuk-bentuk kristal, dan mengetahui dosis pemberian pupuk P dan K yang dapat menurunkan kerapatan total kristal kalsium oksalat. Penelitian dilakukan dengan RAK pola faktorial 4x4 menggunakan 3x ulangan. Faktor pertama adalah jenis pupuk yang terdiri dari dua taraf, yaitu P dan K. Faktor kedua adalah dosis masing-masing pupuk yang terdiri dari empat taraf yaitu 0; 2,16; 4,32; dan 6,36 g/12 kg tanah. Pengamatan kristal kalsium oksalat dilakukan dengan membuat preparat semi permanen, kemudian dilanjutkan dengan pengamatan mikroskopis kerapatan kristal kalsium oksalat yang meliputi bagian tepi dan tengah umbi serta bentuk-bentuk kristal. Data dianalisis statistik menggunakan ANOVA dengan $\alpha = 5\%$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umbi porang terdapat tiga bentuk kristal kalsium oksalat yaitu rafida kecil, rafida besar, druse, dan X1. Kombinasi pupuk P dan K hanya berpengaruh terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat rafida kecil. Pemberian pupuk P secara tunggal menghasilkan penurunan lebih baik terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat umbi porang dibandingkan dengan pupuk K tunggal, jika dibandingkan dengan kontrol persentase penurunan kerapatan total kristal kalsium oksalat sebesar 10,82% untuk pupuk P pada dosis 4,32 g/12 kg tanah sebanyak $32,14 \pm 1,423$ kristal / cm^2 .

Kata kunci : kerapatan kristal kalsium oksalat, kristal kalsium oksalat, porang , unsur K, unsur P

DENSITY AND FORM OF CALCIUM OXALATE CRYSTAL OF TUBER PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) ON MIDDLE PHASE OF GROWTH TREATED WITH P AND K FERTILIZERS

Meilisa Dwi Ayu Novita*, Serafinah Indriyani

Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Brawijaya University, Malang.

ABSTRACT

This aims of the research were to determine the crystal form were found, the effect of fertilizer P and K to the density of calcium oxalate crystals on the edges and the center bulbs porang, as well as forms of crystal, and knowing the dosage of fertilizer P and K which can decrease the total density of calcium oxalate crystals. The research was done by using 4x4 factorial RAK repeat 3x. The first factor is the kind of fertilizer that consists of two levels are P and K. The second factor is the dosage fertilizer each consists of four levels were 0; 2.16; 4.32, and 6.36 g/12 kg of soil. The observation of calcium oxalate crystal was done by made semi-permanent slide, then followed by microscopic observation density of calcium oxalate crystals that the edges and the center bulbs and crystal forms, and statistically analyzed using ANOVA of $\alpha = 5\%$. The results showed that the discovered three forms calcium oxalate crystals which small rafide, large rafide, druse, and X1. Treatment combination of P and K fertilizer just affect the density of small rafide calcium oxalate crystals . The single P treatment had a better effect to reduce the total density of calcium oxalate crystals of porang's tuber in middle phase of growth compared with single K treatment, when compared to the control decrease of percentage total density of calcium oxalate crystals as many as 10.82% for a single P treatment dose of 4.32 g/12 kg of soil that is $32.14 \pm 1,423$ crystals / cm^2 .

Keywords: calcium oxalate crystals, density of calcium oxalate crystals, K elements, P elements, porang

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan judul “Kerapatan dan Bentuk Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) pada Fase Pertengahan Pertumbuhan Hasil Penanaman dengan Pupuk P dan K”.

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Dr. Serafinah Indriyani M.Si., selaku pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan motivasi kepada penulis mulai dari ide penelitian, pelaksanaan hingga penyelesaian penulisan skripsi ini.
2. Proyek penelitian DPP/SPP Fakultas MIPA berdasarkan Surat Perjanjian Nomor 03/UN10.9/PG/2012 atas dana yang berikan untuk penelitian ini.
3. Ir. Retno Mastuti, M.Agr.Sc., D.Agr.Sc. dan Dr. Jati Batoro, M.Si., selaku dosen penguji pada ujian akhir skripsi atas kritik, koreksi, dan saran untuk perbaikan skripsi ini.
4. Dosen-dosen Jurusan Biologi Universitas Brawijaya atas ilmu dan pengetahuan yang diberikan selama menempuh ilmu di Universitas Brawijaya.
5. Ibu dan bapak tercinta serta keluarga, atas limpahan doa, semangat, dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya
6. Teman-teman mahasiswa UB dan sahabat-sahabat yang telah memberikan dukungan, semangat dan bantuan selama penulis menyelesaikan skripsi ini

Malang, 8 Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR LAMBANG	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Porang (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume).....	5
2.2 Perkembangbiakan Porang	6
2.3 Fungsi Unsur P dan K pada Tanaman.....	8
2.4 Pembentukan Kristal Oksalat	9
2.5 Pengaruh Kristal Kalsium Oksalat pada Manusia.....	12
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2 Rancangan percobaan	14
3.3 Pengamatan Mikroskopis Kristal Kalsium Oksalat	14
3.4 Analisis Data	15

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bentuk dan Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K Berdasarkan Bagian Umbi	16
4.2 Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K Berdasarkan Masing-Masing Bentuk Kristal.....	19
4.3 Kerapatan total kristal kalsium oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K	25

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28

DAFTAR PUSTAKA.....	39
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	34
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Normalitas data.....	37
2	Normalitas data hasil transformasi	37
3	Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kerapatan total dengan perlakuan P tunggal.....	37
4	Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kerapatan total dengan perlakuan K tunggal	38
5	Matrik rekapitulasi uji Games-Howell Kristal rafida kecil dengan perlakuan kombibasi pupuk P dan K.....	39
6	Uji Tukey kristal rafida besar dengan pupuk P tunggal	40
7	Uji Tukey kristal rafida besar denan pupuk K tunggal	41
8	Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kristal druse dengan perlakuan pupuk P tunggal	42
9	Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kristal druse dengan perlakuan pupuk K tunggal	43
10	Matrik rekapitulasi uji Mann-Whitney kristal X1 dengan perlakuan pupuk P tunggal	44
11	Matrik rekapitulasi uji Mann-Whitney kristal X1 dengan perlakuan pupuk P tunggal	44
12	Uji normalitas	45
13	Uji T tidak berpasangan kerapatan total	45
14	Uji T tidak berpasangan kristal rafida kecil.....	46
15	Uji T tidak berpasangan kristal rafida besar	46
16	Uji alternatif Mann-Whitney	47
17	Uji T tidak berpasangan Kristal X1	47

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Tanaman porang	6
2	Bulbil tanaman porang.....	7
3	Biosintesis oksalat	11
4	Tipe kristal dalam ginjal.....	13
5	Bentuk-bentuk kristal kalsium oksalat.....	16
6	Kristal kalsium oksalat pada monokotil	17
7	Kerapatan kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah umbi porang	18
8	Pengaruh pemberian kombinasi pupuk P dan K terhadap kristal rafida kecil	20
9	Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kristal rafida besar.....	21
10	Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kristal druse.....	22
11	Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kristal X1.....	24
12	Pengaruh dosis kombinasi pupuk P dan K tunggal terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat.....	26
13	Pengaruh dosis pupuk P dan K tunggal terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat.....	27
14	Denah RAK	35
15	Skema preparat mikroskopis	35
16	Porang hasil penanaman dengan pupuk P dan K.....	35
17	Corkbore	36
18	Umbi setelah dicorkbore.....	36
19	Mikrotom meja	36
20	Irisan umbi dalam larutan alkohol 96 %.....	36
21	Preparat umbi porang.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Denah RAK	34
2	Skema preparat umbi porang	34
3	Persiapan pengamatan Mikroskopis	34
4	Uji normalitas data.....	36
5	Transformasi data SQRT	36
6	Normalitas data hasil transformasi	36
7	Uji statistika kerapatan total	37
8	Uji statistika kristal rafida kecil.....	38
9	Uji statistika kristal rafida besar	39
10	Uji statistik kristal druse	41
11	Uji statistik kristal X1	43
12	Tabel hasil uji T tidak berpasangan kerapatan Kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah Umbi	44

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Simbol/singkatan	Keterangan
g	gram
kg	kilogram
cm ²	centimeter persegi
P	fosfor
K	kalium



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) merupakan tanaman penghasil umbi yang berpotensi dijadikan bahan pangan alternatif. Porang mempunyai prospek menarik sebagai makanan kesehatan karena kandungan serat yang tinggi, tanpa kolesterol, mengandung glukomanan cukup tinggi yang sangat baik untuk diet (Zamora, 2005). Porang sebagai salah satu anggota genus *Amorphophallus* dari familia Araceae merupakan tanaman yang memiliki siklus annual yaitu 12 sampai 13 bulan, satu siklus pertumbuhan dimulai pada musim penghujan ditandai dengan keluarnya tunas dari umbinya, kemudian melakukan proses pertumbuhan selama 6 sampai 7 bulan, selanjutnya pada musim kemarau tanaman memasuki masa dormansi yang berlangsung selama 5 sampai 6 bulan, masa dormansi tersebut ditandai dengan rebahnya tanaman dan mengering. Siklus pertumbuhan berikutnya akan berlangsung kembali pada awal musim penghujan dengan tangkai daun dan diameter tajuk daun yang lebih panjang atau lebar daripada siklus pertumbuhan tanaman porang sebelumnya (Mastuti dkk., 2008). Porang mengalami beberapa kali siklus pertumbuhan yang menambah berat umbi porang semakin tinggi, umbi porang biasanya dipanen pada siklus pertumbuhan ketiga. Setelah siklus pertumbuhan ketiga ini porang memasuki fase pertumbuhan generatif. Pada fase pertumbuhan generatif tersebut tanaman porang mengalami penurunan kualitas umbi yaitu penurunan kadar glukomanan hingga 40 % (Sumarwoto, 2005).

Satu siklus pertumbuhan porang mencakup tiga fase pertumbuhan sebelum mengalami dormansi yaitu fase awal pertumbuhan, fase pertengahan pertumbuhan dan fase akhir pertumbuhan. Menurut Saputra (2009), ketiga fase pertumbuhan tersebut menunjukkan dinamika sintesis oksalat dalam umbi. Pada fase awal pertumbuhan sintesis oksalat paling rendah, pada fase pertengahan pertumbuhan memiliki kandungan oksalat paling tinggi, dan fase akhir pertumbuhan kandungan oksalat menurun, namun tidak serendah fase awal pertumbuhan. Penelitian mengenai densitas dan bentuk kiral kalsium oksalat umbi porang varian B pada tiga

siklus pertumbuhan menunjukkan adanya variasi jumlah kristal kalsium oksalat berdasarkan volume dan bagian umbi (Mastuti dkk., 2008). Kerapatan kristal kalsium oksalat umbi porang varian A dan C menunjukkan bagian tengah lebih tinggi daripada bagian tepi umbi (Sakti, 2009). Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kerapatan kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah umbi porang pada fase pertengahan pertumbuhan dengan perlakuan pupuk P dan K.

Kristal kalsium oksalat yang terkandung dalam porang adalah bentuk persenyawaan antara kalsium dan asam oksalat yang tersebar di seluruh bagian tanaman seperti batang, daun, bunga, buah dan biji (Franceschi dan Horner, 1980). Kristal kalsium oksalat memiliki empat tipe yaitu druse, rafida, prisma, pasir, dan stiloid (Franceschi dan Nakata, 2005). Pada tanaman porang kristal yang paling banyak ditemukan adalah jenis rafida dan druse (Prychid, 2008). Besarnya kandungan kalsium oksalat dipengaruhi oleh umur tanaman dan atau lingkungan pertumbuhan. Kandungan kalsium oksalat pada umbi porang tua lebih tinggi dibandingkan dengan umbi porang yang muda (Mastuti dkk., 2008). Perbedaan habitat atau lingkungan dapat menyebabkan perbedaan dukungan lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman sehingga respon tanaman dapat bervariasi dan akhirnya dapat memberikan efek pada variabilitas komposisi kimiawi tanaman termasuk komposisi protein pada kristal kalsium oksalat (Grime, 2002). Menurut Rosmarkam dan Yuwono (2002), pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh kecepatan penyerapan hara yang juga tergantung dari status hara dalam tanah.

Unsur makro merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah banyak, jenis unsur makro terdiri dari enam yaitu N, P, K, S, Ca, dan Mg. Unsur NPK (Nitrogen Fosfor Kalium) merupakan unsur makro yang memegang peranan penting dalam pertumbuhan tanaman, sehingga hampir semua pupuk akan mengambil unsur ini sebagai poin penting, hanya yang membedakan adalah jumlah komposisi dan kandungan zat terlarut yang ada di dalamnya. Kondisi perbedaan komposisi NPK dilakukan untuk menyesuaikan dengan tahapan usia tanaman. Keadaan tanaman saat bibit, remaja, dewasa, dan indukan punya kebutuhan unsur makro yang berbeda. Oleh karena itu untuk perkembangan maksimal,

kebutuhan pupuk juga harus disesuaikan, agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan keinginan (Lingga dan Marsono, 2001).

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur makro yang memiliki peranan penting bagi tanaman untuk transformasi energi di dalam sel. Fosfor diperlukan dalam perubahan-perubahan karbohidrat dalam tanaman, seperti pada perubahan pati menjadi gula (Foth dan Turk, 1972). Peranan fosfor yang utama adalah pada proses fotosintesis, perubahan karbohidrat, glikolisis, metabolisme asam amino, metabolisme lemak dan proses transfer energi (Tisdale dan Nelson, 1975). Unsur P pada proses fotosintesis berperan dalam proses fotofosforilasi serta pembentukan senyawa ribulosa-1,5-bisfosfat (Marschner, 1997). Kalium (K) merupakan unsur makro yang dibutuhkan tanaman dalam melakukan proses fisiologis tanaman seperti asimilasi zat arang, pembelahan sel, serta pembentukan jaringan penguat. Kalium yang diserap oleh tanaman umumnya dalam bentuk K larut (*soluble K*) yang berada pada reaksi keseimbangan dengan K dapat dipertukarkan (*exchangeable K*) dan K yang tidak dapat dipertukarkan (*non-exchangeable K*). Kalium yang tidak dapat dipertukarkan meliputi K terfiksasi dan K struktural serta merupakan bentuk K yang lambat tersedia sehingga disebut K potensial (Kirkman dkk., 1994).

Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa pemberian pupuk P dan K memiliki korelasi negatif terhadap jumlah kristal kalsium oksalat, yaitu semakin tinggi dosis pupuk yang diberikan akan menurunkan jumlah kalsium oksalat (Indriyani, 2011). Di dalam tanaman antara unsur P dan K ada saling ketergantungan. Unsur K berfungsi sebagai media transportasi yang membawa hara-hara dari akar termasuk hara P ke daun yaitu berperan dalam pompa sodium-potasium. Kurangnya hara K dalam tanaman dapat menghambat proses transportasi dalam tanaman. Oleh karena itu, agar proses transportasi unsur hara maupun asimilat dalam tanaman dapat berlangsung optimal maka unsur hara K dalam tanaman harus optimal (Fitter dan Hay, 1991). Berdasarkan uraian di atas penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh unsur P dan K pada kerapatan kristal kalsium oksalat umbi porang pada fase pertengahan pertumbuhan dengan pengamatan secara mikroskopis.

1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini meliputi:

1. Apakah pemberian pupuk P dan K berpengaruh terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada bagian tepi dan tengah umbi porang, serta bentuk kristal apa saja yang diamati?
2. Apakah pemberian pupuk P dan K berpengaruh terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada masing-masing bentuk kristal?
3. Pada pemberian pupuk P dan K dosis berapakah yang dapat menurunkan kerapatan total kristal kalsium oksalat ?

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

1. Mengetahui pengaruh dari pupuk P dan K terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada bagian tepi dan tengah umbi porang, serta macam-macam bentuk kristal yang ditemukan.
2. Mengetahui pengaruh dari pupuk P dan K terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada masing-masing bentuk kristal
3. Mengetahui dosis pemberian pupuk P dan K yang dapat menurunkan kerapatan total kristal kalsium oksalat.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini adalah hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan bagi petani porang untuk membudidayakan porang dengan penggunaan pupuk P dan K yang dapat menurunkan kerapatan kristal kalsium oksalat pada umbi porang.

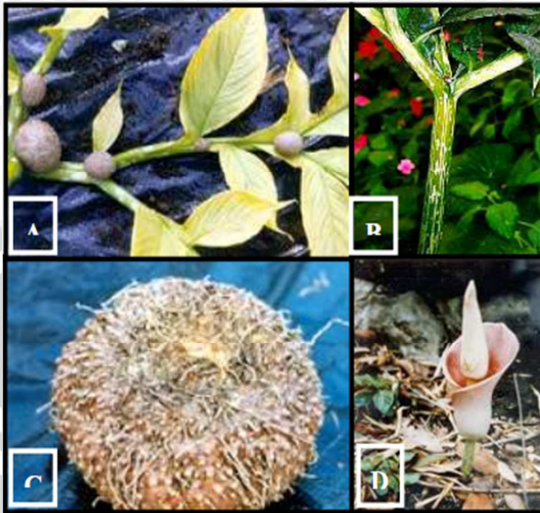
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Tanaman Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)

Porang merupakan tanaman yang banyak tumbuh liar di Indonesia, namun sekarang sudah banyak dibudidayakan karena tanaman ini memiliki banyak manfaat terutama sebagai sumber makanan, karena memiliki kandungan gizi yang cukup tinggi yaitu kandungan pati sebesar 76,5 %, protein 9,20 %, dan kandungan serat 20 %, serta memiliki kandungan lemak sebesar 0, 20 % (Syaefulloh, 1990). Menurut Antarlina dan Utomo (1997), dalam 100 gram umbi porang mengandung 1 g protein, 0,1 g lemak, 15,7 g karbohidrat, 4,2 mg besi, 0,07 mg thiamine, 5 mg asam askorbat, 0,19 % kalsium oksalat, 3,58 % glukomanan, dan 18,44 % pati.

Tanaman porang memiliki beberapa bagian antara lain daun, bunga, bulbil, dan umbi (Gambar 1). Bunga porang berbentuk jorong atau oval memanjang seperti lonceng. Tangkai bunga (*peduncle*) polos, hijau dengan banyak bintik berwarna pucat dan sangat mencolok, garis-garis pucat, berukuran 30-60 cm. Helaian daun membentang dengan ukuran panjang 60-200 cm dengan bentuk mirip pisau persegi panjang, besar, memanjang, tepi daun berwarna putih atau merah muda pucat mencolok. Pada permukaan bawah lebih jelas terlihat tulang-tulang daun yang kecil. Panjang tangkai daun 40-180 cm, di mana daun-daun yang lebih tua berada pada pucuk di antara tiga segmen tangkai daun yang kecil tak berambut. Bulbil berwarna coklat, tebal dan berada pada tiap segmen-segmen daun (Backer & Van den Brink, 1986). Umbi porang memiliki kandungan serat tinggi dan tanpa kolesterol sehingga dapat dijadikan sebagai makanan kesehatan terutama untuk diet (Zamora, 2005)



(IAS, 2003)

Gambar 1. Tanaman porang. Daun dan bulbil (A); tangkai daun (B); umbi (C); bunga (D)

Menurut Backer dan Van den Brink (1968) , klasifikasi porang adalah sebagai berikut:

Divisio : Antophyta

Class : Monocotyledoneae

Ordo : Arales

Family : Araceae

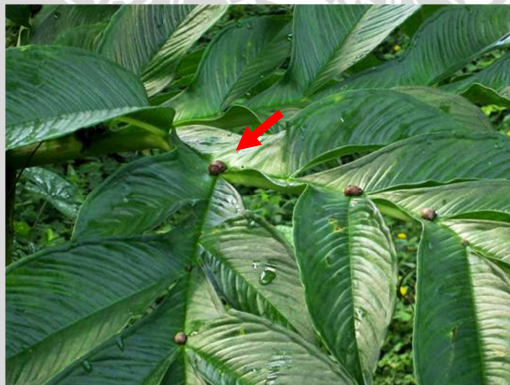
Genus : *Amorphophallus*

Species : *Amorphophallus muelleri* Blume

2.2 Perkembangbiakan Porang

Porang memiliki bulbil (Gambar 2) atau yang biasa disebut dengan katak sebagai alat perkembangbiakan. Perbanyakkan tanaman porang biasanya dilakukan dengan menanam umbi, irisan mata tunas, maupun kultur jaringan. Penanaman dengan menggunakan irisan mata tunas dan umbi memiliki waktu penen yang berbeda, jika ditanam dari umbinya memerlukan waktu 4-5 bulan setelah tanaman dorman untuk dipanen, sedangkan jika menggunakan mata tunas

porang dapat dipanen setelah umur 9-20 bulan. Penanaman dilakukan di dalam tanah yang tidak terlalu padat, dengan lubang tanam berkedalaman 10-15 cm yang telah diberi pupuk kandang (Jansen dkk., 1996). Rincian waktu dalam satu siklus hidup meliputi waktu semai 1,5-2 bulan, pertumbuhan dalam persemaian 1,5-2 bulan, fase vegetatif selama 5-6 bulan, dorman selama 4 bulan, pembungaan sampai buah masak 8-9 bulan (Sumarwoto, 2004). Satu siklus pertumbuhan porang mencakup tiga fase pertumbuhan sebelum mengalami dormansi yaitu fase awal pertumbuhan, fase pertengahan pertumbuhan dan fase akhir pertumbuhan. Menurut Saputra (2009), ketiga fase pertumbuhan tersebut menunjukkan dinamika sintesis oksalat dalam umbi. Pada fase awal pertumbuhan sintesis oksalat paling rendah, pada fase pertengahan pertumbuhan memiliki kandungan oksalat paling tinggi, dan fase akhir pertumbuhan oksalat menurun, namun tidak serendah fase awal pertumbuhan.



(Wikipedia, 2012)

Gambar 2. Bubil tanaman porang. Keterangan : tanda panah menunjukkan bulbil.

2.3 Kandungan Porang yang Bermanfaat dan yang Merugikan

Glukomanan adalah kandungan dari umbi porang yang biasa dimanfaatkan, glukomanan dimanfaatkan sebagai serat pangan

kerena memiliki beberapa sifat fungsional antara lain menurunkan kadar kolesterol dan gula dalam darah, meningkatkan fungsi pencernaan dan sistem imun, serta membantu menurunkan berat badan (Zhang dkk., 2005). Kegunaan lainnya adalah sebagai *drug delivery*, *bioadhesive properties improvement*, *cellular therapy*, bahan untuk immobilisasi sel, bahan enkapsulasi, film dan membran, bahan *coating*, kosmetik, emulsifier, surfaktan, dan lain-lain (Zhang dkk., 2005). Selain bermanfaat porang juga mengandung kristal kalsium oksalat yang dapat menyebabkan alergi berupa rasa gatal di mulut dan menyebabkan rasa panas. Dalam jumlah yang cukup tinggi, kristal kalsium oksalat menyebabkan abrasi mekanik pada saluran pencernaan dan tubulus yang halus di dalam ginjal. Secara kimia, kristal ini menyerap cairan kalsium yang penting untuk fungsi saraf dan serat-serat otot. Pada kasus yang ekstrim, penyerapan kalsium ini menyebabkan *hypocalcemia* dan kelumpuhan yang berakibat kematian (Brown, 2000).

2.4 Fungsi Unsur P dan K pada Tanaman

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman dipengaruhi oleh beberapa unsur yang memiliki peran tertentu, antara lain adalah unsur N, P, dan K yang merupakan unsur hara esensial bagi tanaman serta memiliki peranan yang sangat penting. Peran unsur N bagi tanaman yang paling penting adalah sebagai bahan dasar penyusun protein dan pembentukan klorofil yang berperan dalam proses fotosintesis. Unsur N diambil oleh tanaman dalam bentuk NO_3 dan NH_4 (Dobermann dan Fairhurst, 2000).

Unsur P atau fosfor merupakan unsur hara makro yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Tanaman menyerap unsur P dari tanah dalam bentuk ion fosfat terutama H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} yang terdapat dalam larutan tanah. Ion H_2PO_4^- banyak dijumpai pada tanah yang masam, sedangkan pada tanah yang memiliki pH basa bentuk HPO_4^{2-} lebih dominan. Selain ion-ion tersebut tanaman juga dapat menyerap unsur P dalam bentuk asam nukleat, fitin, dan fosfohumat. Unsur P memiliki peran dalam perkembangan akar, pembungaan, dan pemasakan biji (terutama pada suhu rendah) (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Kekurangan unsur fosfor dapat menyebabkan tanaman kerdil, daun berwarna kekuningan, dan kering. Unsur P dalam tanah tidak *mobil* terutama apabila pH rendah atau terlalu

tinggi, namun unsur P dalam daun *mobil* sehingga kekurangan unsur P akan terlihat dari kondisi daun yang berwarna hijau tua (Havlin dkk., 1999).

Unsur K merupakan unsur yang diserap tanaman dalam bentuk K^+ . Unsur kalium pada tanaman berfungsi untuk meningkatkan luas daun dan kandungan klorofil daun, serta menunda *senescence* (pelayuan daun), dan pertumbuhan tanaman. Gejala kekurangan unsur K dapat menyebabkan daun berwarna kekuningan yang dimulai dari ujung daun menuju tepi hingga ke pangkal daun (Dobermann dan Fairhurst, 2000) dan menyebabkan berkurangnya toleransi tanaman terhadap cekaman air, karena K berperan penting dalam mengatur stomata (Ma'shum dkk., 2003). Ketersediaan kalium bagi tanaman tergantung aspek tanah dan parameter iklim yang meliputi jumlah dan jenis mineral liat, kapasitas tukar kation, daya sangga, kelembapan, suhu, aerasi, dan pH tanah (Havlin dkk., 1999).

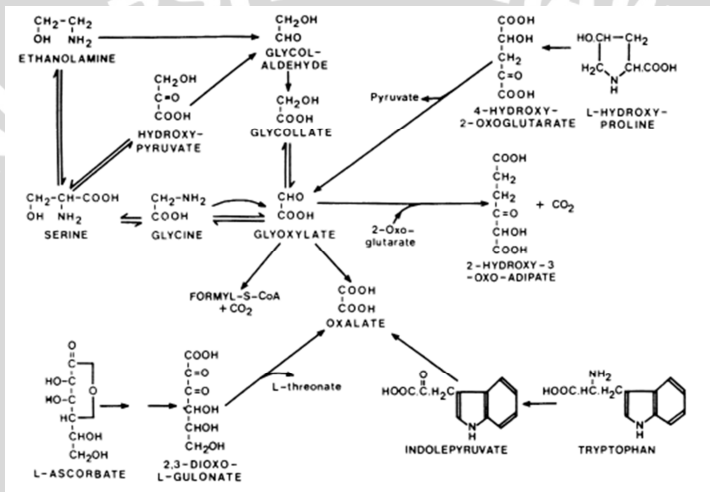
Pengaruh pemberian pupuk P dan K terhadap produksi oksalat pada setiap tanaman memiliki respon yang berbeda. Penelitian Rahman dkk. (2008) menunjukkan bahwa kandungan oksalat terlarut pada *Napiergrass* berkorelasi positif dengan konsentrasi K. Penelitian lain menunjukkan bahwa kandungan oksalat terlarut meningkat saat kandungan oksalat tidak larut menurun akibat pemberian unsur K. Penelitian Smith (1978) menunjukkan bahwa kandungan oksalat total pada *Setaria* memiliki korelasi positif terhadap pemberian unsur K. Namun biosintesis oksalat dapat dihambat dengan pemberian kombinasi N dan K. Pengaplikasian pupuk K dengan level N tinggi atau sedang akan meningkatkan akumulasi oksalat pada tanaman, sedangkan unsur P seperti superfosfat dapat menurunkan level oksalat pada tanaman sayuran. Adanya unsur P akan menurunkan produksi asam sitrat pada proses siklus Krebs yang akan berdampak pada penurunan produksi asam-asam lain pada siklus Krebs seperti asam oksaloasetat yang akan menghasilkan asam asetat dan oksalat. Selain itu juga akan menurunkan produksi asam glioksilat yang juga memproduksi oksalat pada jalur glioksilat. Pengaruh pemberian P terhadap produksi oksalat pada setiap tanaman berbeda tergantung pada genetik setiap tanaman (Rahman dan Kawamura, 2011).

2.5 Pembentukan Kristal Oksalat

Asam oksalat (COOH)₂ merupakan asam organik (dikarboksilat) yang paling sederhana dan ditemukan pada hampir seluruh jenis organisme termasuk tumbuhan, hewan, bakteri, dan jamur (Hodgkinson, 1977). Peranan asam oksalat pada berbagai jenis organisme telah dipelajari dari berbagai aspek dari yang menguntungkan organisme itu sendiri seperti pada jamur, sampai pada efek yang membahayakan bagi kehidupan seperti pembentukan dan penumpukan kristal kalsium oksalat yang menyebabkan penyakit ginjal pada manusia. Kristal kalsium oksalat mengandung berbagai protein yang berperan dalam proses pembentukannya (Hoyer dkk., 2001). Protein tersebut oleh Albeck dkk. (1996) dinamakan protein matriks yang meliputi *Asp-rich acidic proteins* (protein yang mengandung banyak asam amino asparagin) dan *Ser-rich glycoproteins* (glikoprotein yang mengandung banyak asam amino serin). Protein-protein tersebut mempunyai kemampuan yang sangat kuat untuk mengikat kalsium (Lanzalaco dkk., 1988). Hal ini didukung hasil riset Teng dkk. (1998) yang menyatakan bahwa asparagin bebas (*free Asp*) dapat meregulasi mikromorfologi dari pembentukan kristal kalsium karbonat. Variabilitas komposisi kimiawi tanaman termasuk komposisi protein dipengaruhi oleh keadaan habitat atau lingkungan yang berbeda sehingga respon tanaman dalam masa pertumbuhan juga bervariasi (Grime, 2002). Oksalat dapat dijumpai pada tanaman dalam bentuk garam terlarut (K, Na, dan NH_3 oksalat), sebagai asam oksalat atau sebagai Ca-oksalat tak larut. Asam oksalat pada tanaman terbentuk dalam cairan gel, yang berikatan dengan logam yaitu K, Na, NH_3 , atau kalsium yang membentuk garam. Asam oksalat ini banyak ditemukan pada sejumlah tanaman yang memiliki sifat racun, namun dapat hilang dengan proses pemasakan (Paul dan Palmer, 1972).

Oksalat disintesis melalui dua jalur biokimia yang berbeda yaitu glioksilat dan L-askorbat yang berperan sebagai prekursor (Gambar 3). Glioksilat memiliki gugus aldehida dan asam karboksilat. Alkil ester glioksilat disebut alkil glioksilat. Senyawa ini dibentuk dengan oksidasi organik glioksilat atau ozonolisis asam malat. Pada glioksisom, glioksilat serta suksinat akan diproduksi dalam jumlah besar dari isositrat oleh isositrat liase. Glioksilat dan

asetil KoA akan dikondensasi oleh malat sintase sehingga terbentuk malat dan KoA. Organel lain yang berperan dalam sintesis gliksilat adalah peroksisom. Peroksisom akan memperoleh glikolat yang mengalami fosforilasi hasil dari aktivitas RUBISCO pada kloroplas. Selanjutnya glikolat akan dioksidasi menjadi gliksilat dan ditransaminasi menghasilkan glisin dan oksalat.



(Hodgkinson, 1977)

Gambar 3. Biosintesis oksalat

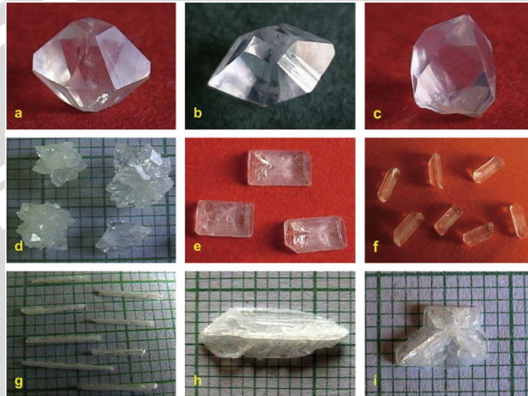
Kristal merupakan hasil tambahan yang terjadi pada berbagai proses metabolisme, yang paling sering ditemukan adalah kristal garam kalsium, terutama Ca-oksalat (kalsium oksalat). Kristal Ca-oksalat merupakan hasil akhir atau hasil sekresi dari suatu pertukaran zat yang terjadi di dalam sitoplasma. Kristal kalsium oksalat dapat terbentuk pada seluruh bagian tanaman dengan cara kalsium masuk ke dalam organ melalui xilem yang didistribusikan antar sel secara apoplas. Sebagian besar sel melakukan regulasi level kalsium dengan pemompaan keluar atau kompartemenisasi. Kristal ini terdapat di

dalam plasma atau vakuola sel dan larut dalam asam kuat (HCl dan H_2SO_4). Bentuk dari kristal Ca-oksalat bermacam-macam, ada yang berupa kristal panjang, jika padat serta ditemukan sendiri-sendiri disebut stiloid, kristal tunggal besar pada daun *Citrus* sp., kecil berbentuk prisma kecil seperti pasir pada tangkai daun *Amaranthus*, jarum/rafida pada daun *Ananas comosus*, daun *Mirabilis jalapa*, batang dan akar *Aloe* sp., bintang/roset (= majemuk) terdapat pada daun *Datura metel*, sisik, piramid, kristal majemuk dan terhimpun dalam kelompok bulat disebut druse, dan sebagainya. Kristal dapat ditemukan dalam sel yang sama rupanya dengan sel sekelilingnya, atau terdapat dalam sel yang khusus, berbeda dari sel lainnya dan disebut idioblas. Kalsium beserta oksalat yang dihasilkan oleh askorbat akan ditransfer menuju vakuola, seperti kristal rafida yang mentransfer kalsium dan oksalat melalui *crystal chamber membrane* dengan penambahan seluruh permukaan dari kristal yang masih muda. Sebaliknya kristal yang sudah tua tidak akan menerima tambahan kalsium dan oksalat walaupun sel tersebut masih hidup. Pembentukan kristal kalsium oksalat terjadi di dalam vakuola sel dari sel idioblas, tepatnya pada *membrane intravacuolar chamber* yaitu membran yang bersifat elastis, yang mengikuti pertumbuhan kristal yang sesuai dengan perkembangan sel (Webb, 1999).

2.6 Pengaruh Kristal Kalsium Oksalat pada Manusia

Konsumsi bahan makan yang mengandung kristal kalsium oksalat dapat menyebabkan pengendapan kristal kalsium oksalat dan membentuk batu ginjal. Selain itu keberadaan kalsium oksalat dalam makanan dapat menyebabkan berkurangnya kalsium dalam tubuh karena pengikatan yang dilakukan oleh oksalat (Kelsey, 1985 dalam Holloway dkk., 1989). Jenis batu ginjal yang paling sering ditemukan adalah terbentuk dari kristal kalsium oksalat. Konsumsi kalsium dalam jumlah sedikit dapat memicu terjadinya batu ginjal, hal ini disebabkan karena dengan sedikitnya kalsium yang dikonsumsi, maka oksalat yang diserap tubuh semakin banyak. Oksalat ini kemudian melalui ginjal dan dibuang ke urin. Dalam urin, oksalat merupakan zat mudah membentuk endapan kalsium oksalat. Gambar 4 menunjukkan beberapa jenis kristal yang dapat ditemukan dalam ginjal yaitu kristal yang terbentuk dari struvit (magnesium,

ammonium, fosfat), asam urat, kalsium oksalat, dan sistin (Lina, 2008)



(Chetan & Mihir., 2011)

Gambar 4. Tipe kristal dalam ginjal. Tipe prismatik (a, b), tipe piramida (c), tipe bintang (d), tipe segi empat (e), tipe *coffin* (f), jarum (g), *feather shaped dendritic* (h) dan bentuk X (i)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2012 hingga bulan Juni 2013 di Laboratorium Taksonomi Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan rancangan acak kelompok (RAK) pola faktorial 4×4 menggunakan tiga kali ulangan (Lampiran 1). Faktor pertama adalah jenis pupuk yang terdiri dari dua taraf, yaitu P dan K. Faktor kedua adalah dosis masing-masing pupuk yang terdiri dari empat taraf yaitu 0; 2,16; 4,32; dan 6,36 g/12 kg tanah. Bibit porang diperoleh dari umbi porang yang telah mengalami pertumbuhan vegetatif selama satu kali periode tumbuh, berasal dari Desa Sumberbendo, Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun. Porang ditumbuhkan hingga pertengahan fase pertumbuhan selama 4 bulan dalam media tanah sesuai kombinasi perlakuan P dan K dalam polibag ukuran $20 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$. Penyiraman dilakukan 2 hari sekali dengan air sumur.

3.3 Pengamatan Mikroskopis Kristal Kalsium Oksalat

Umbi porang yang telah dibersihkan diambil bagian tepi dan tengah secara horisontal menggunakan *corkbore*. Bagian tepi adalah jarak 1 cm dari kulit umbi, sedangkan bagian tengah yang dimaksud merupakan bagian pusat umbi. Potongan bagian tepi dan tengah diiris dengan ukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Masing-masing potongan diiris setebal 0,01 cm. Seluruh irisan umbi kemudian dimasukkan dalam botol film yang berbeda dan direndam dalam alkohol 96 % sebagai agen dehidrasi selama 1 - 2 hari. Berikutnya, larutan alkohol 96 % diganti NaOH 10 % sebagai agen penjernih yang direndam selama ± 1 jam. Kemudian irisan dibuat preparat dengan 3 irisan dalam 1 *slide glass* (Lampiran 2 dan 3).

Penghitungan kristal kalsium oksalat secara mikroskopis dilakukan per bidang pandang dengan perbesaran 100x. Jumlah

kristal kalsium oksalat total diperoleh dari 3 preparat dengan 3 bidang pandang yang berbeda sebagai ulangan per preparat. Data yang diperoleh yaitu bentuk kristal kalsium oksalat dan kerapatannya. Kerapatan kristal kalsium oksalat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan kristal kalsium oksalat} = \frac{\sum \text{kristal kalsium oksalat}}{\text{Luas bidang pandang (cm}^2\text{)}}$$

n = jumlah bidang pandang

Untuk mengetahui kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (X) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan kristal kalsium oksalat X} = \frac{\sum \text{kristal kalsium oksalat x}}{\text{Luas bidang pandang (cm}^2\text{)}}$$

n = jumlah bidang pandang

3.4 Analisis Data

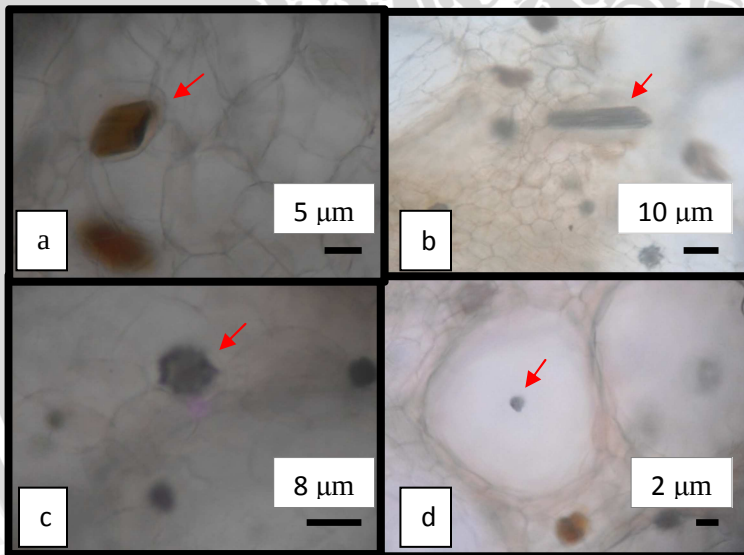
Data yang diperoleh berupa data kuantitatif yang dianalisis menggunakan program *SPSS Windows for Release 12*. Sebelumnya dilakukan uji normalitas data, jika diketahui data tidak homogen maka data ditransformasi menggunakan SQRT (Lampiran 4 dan 5). Analisis mengenai kerapatan kristal kalsium oksalat pada tiga bidang pandang pengamatan serta kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat dalam umbi menggunakan ANOVA (uji F) ($\alpha = 5\%$), yang dilanjutkan dengan uji Tukey untuk data yang terdistribusi normal dan homogen, sedangkan untuk data yang terdistribusi normal namun tidak homogen menggunakan uji Games-Howell, dan data yang tidak normal menggunakan uji Kruskal Wallis yang dilanjut dengan uji Mann-Whitney. Analisis kerapatan kristal kalsium oksalat pada bagian tepi dan tengah umbi porang menggunakan uji t ($\alpha = 5\%$).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

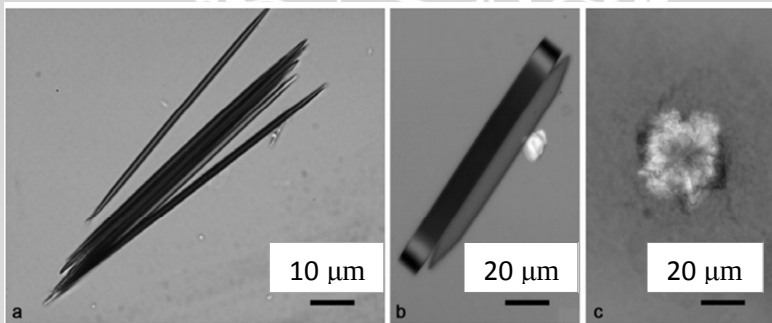
4.1 Bentuk dan Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K Berdasarkan Bagian Umbi

Berdasarkan pengamatan mikroskopis pada umbi porang ditemukan tiga bentuk kristal kalsium oksalat yaitu bentuk rafida kecil, rafida besar, druse, dan bentuk yang belum teridentifikasi namanya disebut X1 sesuai penelitian Endriyeni (2008) yang menyebutkan kristal X1 untuk kristal yang belum teridentifikasi. Bentuk-bentuk kristal tersebut ditemukan menyebar pada umbi porang (Gambar 5).



Gambar 5. Bentuk-bentuk kristal kalsium oksalat pada umbi porang fase pertengahan pertumbuhan. Bentuk rafida kecil (a); rafida besar (b); druse (c); dan bentuk X1 (d). Tanda panah menunjukkan kristal

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis bentuk rafida atau bentuk jarum yang diamati adalah yang masih dalam berkas, rafida kecil terlihat berupa kumpulan kristal rafida kecil yang berukuran $9,27 \pm 1,03 \mu\text{m}$, sedangkan untuk rafida besar terlihat lebih panjang dengan ukuran $27,81 \pm 5,45 \mu\text{m}$. Kristal rafida beralur lurus merupakan karakteristik kristal kalsium oksalat pada famili Araceae genus *Amorphophallus* (Prychid dkk., 2008). Kristal bentuk druse berbentuk lingkaran dengan sisi tidak rata seperti bintang banyak sisi dengan diameter berukuran $7,16 \pm 0,15 \mu\text{m}$. Kristal X1 merupakan kristal yang belum teridentifikasi namanya, kristal X1 berukuran kecil dalam sel / kantung glukomanan dengan ukuran $1,20 \pm 0,3 \mu\text{m}$. Bentuk-bentuk kristal kalsium oksalat pada setiap tumbuhan yang diamati ada perbedaan. Menurut Horner dan Wagner (1995) kristal kalsium oksalat secara umum ada lima tipe berdasarkan morfologi: rafida berbentuk jarum, persegi empat panjang atau stiloid berbentuk pensil, agregat berbentuk bunga disebut druse, agregat berbentuk blok disebut kristal pasir, dan berbagai bentuk prisma di antaranya seperti pada Gambar 6. Terdapat kesamaan bentuk kristal kalsium oksalat yang teramati pada umbi porang dengan hasil penelitian terdahulu.

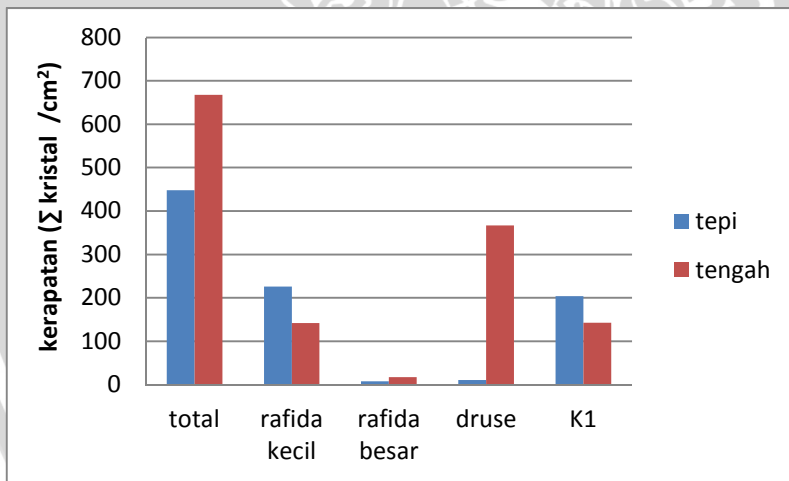


(Crowther, 2005)

Gambar 6. Bentuk kristal kalsium oksalat yang ditemukan pada monokotil. Bentuk rafida pada daun *Pandanus* sp. (a); bentuk stiloid pada daun *Cordyline* sp. (b); bentuk druse pada *Colocasia esculenta* (c)

Secara anatomi sel-sel penyusun umbi porang sebagian besar berupa sel idioblas atau disebut juga sel / kantung glukomanan yang berukuran 0,5-2 mm, lebih besar dari pada sel pati yaitu 10-20 kali ukuran sel pati. Sel glukomanan tidak berwarna saat diuji dengan larutan yodium, karena sel ini dikelilingi oleh sel parenkim berdinding tipis berisi granula pati, yang jumlah patinya tidak mampu memberikan warna biru ketika diuji dengan yodium (Ohtsuki, 1968). Bagian luar umbi tersusun dari sel-sel yang posisinya lebih rapat, sedangkan bagian dalam terdapat lapisan tebal yang berisi sel-sel yang ukurannya lebih besar yang mengandung butiran-butiran glukomanan berwarna kekuningan (Lahiya,1993).

Perlakuan pupuk P dan K memberikan hasil yang bervariasi terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah umbi porang (Gambar 7).



Gambar 7. Kerapatan kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah umbi porang fase pertengahan pertumbuhan hasil penanaman dengan pemberian pupuk P dan K

Kerapatan kristal kalsium oksalat tepi dan tengah umbi berdasarkan uji t tidak berpasangan (Lampiran 12) memiliki perbedaan, di mana kerapatan total bagian tengah umbi memiliki kerapatan kristal kalsium oksalat yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tepi umbi. Kerapatan kristal kalsium oksalat bentuk rafida kecil dan X1 bagian tepi umbi memiliki kerapatan lebih tinggi dibandingkan bagian tengah umbi, kristal bentuk rafida besar memiliki kerapatan paling rendah baik di bagian tepi maupun bagian tengah umbi, dan kristal druse memiliki kerapatan sangat tinggi.

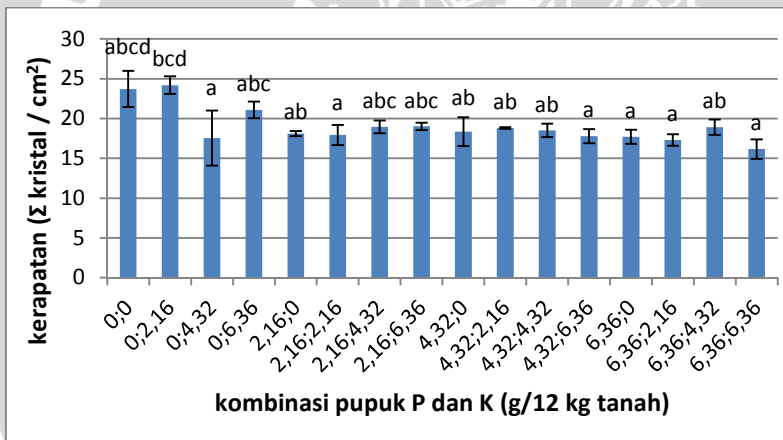
Perbedaan kerapatan kristal kalsium oksalat antara tepi dan tengah umbi diduga disebabkan dari tingkat metabolisme umbi pada kedua bagian, di mana bagian tengah umbi merupakan pusat sehingga metabolisme yang terjadi lebih tinggi daripada bagian tepi umbi (Sakti, 2009). Sesuai dengan hasil penelitian Sakti (2009) bahwa kerapatan kristal kalsium oksalat umbi porang bagian tengah lebih tinggi dibandingkan bagian tepi karena jumlah sel idioblas bagian tengah lebih banyak dibandingkan bagian tepi. Sintesis oksalat ditentukan oleh kehadiran ion Ca dan dua prekursor utama yaitu glioksilat dan l-askorbat untuk pembentukan idioblas kristal (Franceschi dan Horner, 1979; Webb, 1999). Sel dengan tingkat metabolisme yang tinggi akan mengalami peningkatan sintesis oksalat dari asam askorbat dan galaktosa, yang merupakan prekursor untuk formasi oksalat (Keates dkk., 2000), peningkatan nutrisi pada pertumbuhan tanaman juga mempengaruhi kerapatan kristal kalsium oksalat (Cao, 2003).

4.2 Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K Berdasarkan Masing-masing Bentuk Kristal

Hasil penelitian menunjukkan pemberian dosis kombinasi pupuk P dan K tidak mempengaruhi kerapatan total kristal kalsium oksalat, bentuk rafida besar, druse, dan X1, kecuali pada kerapatan kristal kalsium oksalat rafida kecil. Pemberian pupuk P dan K secara tunggal berpengaruh terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat, rafida besar, druse, dan X1 umbi porang.

Rata-rata kerapatan kristal kalsium oksalat bentuk rafida kecil (Gambar 8) menunjukkan kerapatan kristal kalsium oksalat

tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi pupuk P dan K dosis (0 g/12/kg tanah; 2,16 g/12/kg tanah), dan kerapatan kristal terendah terjadi pada perlakuan dengan kombinasi pupuk P dan K dosis (6,36 g/12 kg tanah; 6,36 g/12 kg tanah). Perlakuan kombinasi dosis pupuk P dan K berdasarkan uji Games-Howell (Lampiran 8) menunjukkan adanya pengaruh terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat yang terjadi pada kombinasi P dan K dosis (0 g/12 kg tanah; 2,16 g/12 kg tanah) menunjukkan jumlah rata-rata kerapatan total kristal kalsium oksalat yang beda nyata, terhadap jumlah kerapatan pada perlakuan dosis (2,16 g/12 kg tanah; 2,16 g/12 kg tanah), (2,16 g/12 kg tanah; 4,32 g/12 kg tanah), (4,32 g/12 kg tanah; 4,32 g/12 kg tanah), (4,32 g/12 kg tanah; 6,36 g/12 kg tanah), (6,36 g/12 kg tanah; 0 g/12 kg tanah), (6,36 g/12 kg tanah; 2,16 g/12 kg tanah), dan (6,36 g/12 kg tanah; 6,36 g/12 kg tanah).

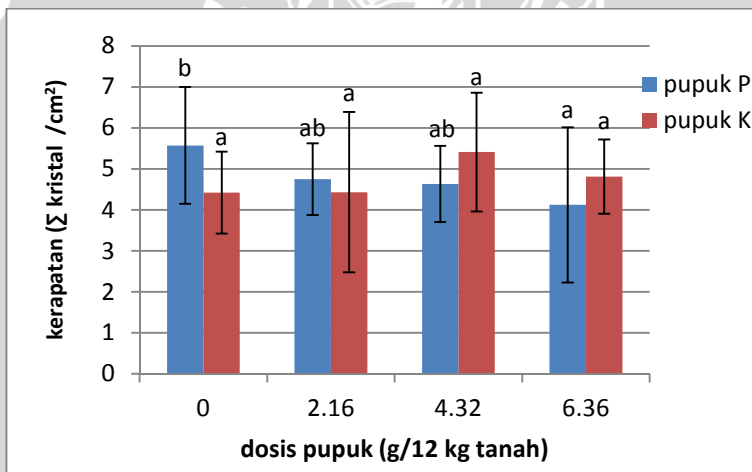


Gambar 8. Pengaruh pemberian kombinasi pupuk P dan K terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat rafida kecil. Keterangan: huruf yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada uji Games Howell dengan $\alpha = 5\%$

Gambar 9 menunjukkan bahwa pemberian dosis pupuk P secara tunggal berpengaruh terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat rafida besar. Hasil menunjukkan rata-rata kerapatan tertinggi

terjadi pada perlakuan tanpa pemberian pupuk P atau dengan dosis 0 g/12 kg tanah, dan rata-rata kerapatan kristal terendah terjadi pada perlakuan pupuk P dengan dosis 6,32 g/12 kg tanah. Berdasarkan uji Tukey dari keempat perlakuan ini antara perlakuan dosis 2,16 g/12 kg tanah; 4,32 g/12 kg tanah; dan 6,36 g/12 kg tanah tidak ada beda nyata, namun pada perlakuan tersebut ada beda terhadap dosis 0 g/12 kg tanah.

Kerapatan kristal tertinggi terjadi pada perlakuan dengan pemberian pupuk K dosis 4,32 g/12 kg tanah, dan yang terendah terjadi pada perlakuan tanpa pemberian pupuk K atau dengan dosis 0 g/12 kg tanah. Berdasarkan analisis statistik dengan uji Tukey (Lampiran 9) perlakuan keempat dosis pupuk K menunjukkan tidak ada beda nyata terhadap jumlah kerapatan pada perlakuan setiap dosis pupuk K yang diberikan .

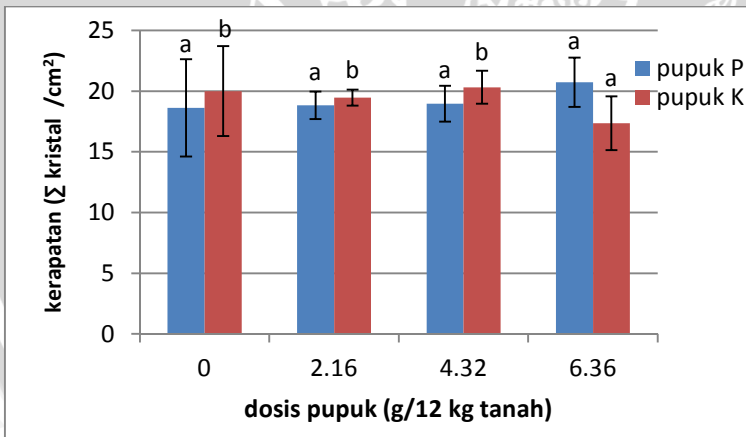


Gambar 9. Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat rafida besar. Keterangan: huruf yang sama menunjukkan pada jenis pupuk yang sama tidak ada beda nyata pada uji Tukey dengan $\alpha = 5\%$

Gambar 10 menunjukkan hasil nilai rata-rata kerapatan kristal kalsium oksalat druse terhadap perlakuan pupuk P. Hasil

pengamatan menunjukkan kebalikan dari hasil kerapatan kristal kalsium oksalat pada rafida kecil dan rafida besar dengan perlakuan pupuk P, yaitu rata-rata kerapatan kristal meningkat sesuai peningkatan dosis pupuk yang diberikan. Rata-rata kerapatan tertinggi terjadi pada perlakuan pemberian pupuk P dengan dosis 6,36 g/12 kg tanah, dan yang terendah terjadi pada perlakuan tanpa pemberian pupuk P atau dosis 0 g/12 kg tanah. Berdasarkan analisis ststistika dengan uji Games-Howell keempat perlakuan dosis pupuk P menunjukkan tidak ada beda nyata terhadap rata-rata kerapatan pada perlakuan pupuk P.

Kerapatan kristal kalsium oksalat druse pada setiap pemberian dosis pupuk K memiliki perbedaan, kerapatan kristal kalsium oksalat druse tertinggi terjadi pada perlakuan pemberian pupuk K dengan dosis 4,32 g/12 kg tanah, dan yang terendah terjadi pada perlakuan pupuk K dengan dosis 6,36 g/12 kg tanah. Berdasarkan uji Games-Howell (Lampiran 10) perlakuan keempat dosis pupuk K (Gambar 10) menunjukkan ada beda nyata terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada dosis 0 g/12 kg tanah; 2,16 g/12 kg tanah; dan 4,32 g/12 kg tanah terhadap dosis 6,36.

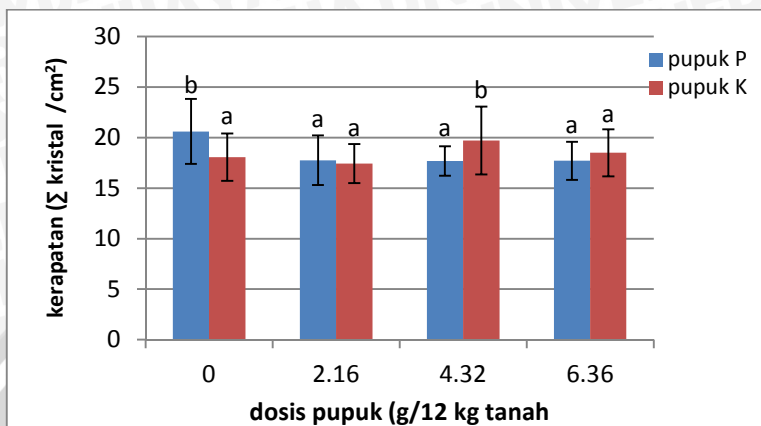


Gambar 10. Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat druse. Keterangan: huruf yang sama pada jenis pupuk yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada uji Games Howell dengan $\alpha = 5\%$

Gambar 11 menunjukkan hasil nilai rata-rata kerapatan kristal kalsium oksalat pada kristal bentuk X1 terhadap perlakuan pupuk P dan K secara tunggal. Analisis statistika yang dilakukan pada kristal X1 berbeda dengan bentuk kristal lain, karena data kerapatan kristal kalsium oksalat X1 terdistribusi tidak normal sehingga digunakan uji Kruskal Wallis sebagai uji lanjut yang setara dengan Anova (Lampiran 11) . Setelah uji kruskal Wallis dilakukan dan diketahui ada beda yang di tunjukkan oleh nilai sig. $<0,05$ maka dilakukan uji lanjut Mann-Whitney untuk mengetahui perbedaan kerapatan kristal kalsium oksalat berdasarkan dosis pupuk yang diberikan.

Rata-rata kerapatan tertinggi terjadi pada perlakuan tanpa pemberian pupuk P atau dosis 0 g/12 kg tanah, dan yang terendah terjadi pada perlakuan pupuk P dengan dosis 4,32 g/12 kg tanah. Berdasarkan analisis ststistika dengan uji Mann-Whitney keempat perlakuan dosis pupuk P menunjukkan pada dosis 0 g/12 kg tanah ada beda nyata terhadap dosis 2,16 g/12 kg tanah; 4,32 g/12 kg tanah; dan 6,36 g/12 kg tanah, sedangkan di antara ketiga dosis tersebut tidak ada beda nyata rata-rata kerapatan pada perlakuan pupuk (Lampiran 11)

Rata-rata kerapatan kristal pada setiap pemberian dosis pupuk K (Gambar 11) memiliki perbedaan, rata-rata kerapatan tertinggi terjadi pada perlakuan pemberian pupuk K dengan dosis 4,32 g/12 kg tanah, dan yang terendah terjadi pada perlakuan pupuk K dengan dosis 2,16 g/12 kg tanah. Berdasarkan hasil analisis statistika dengan uji Mann-Whitney perlakuan keempat dosis pupuk K menunjukkan ada beda nyata terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat pada dosis 0 g/12 kg tanah; 2,16 g/12 kg tanah; dan 6,36 g/12 kg tanah terhadap dosis 4,32 g/12 kg tanah.



Gambar 11. Pengaruh pemberian pupuk P dan K tunggal terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat X1. Keterangan: huruf yang sama pada jenis pupuk yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada uji Kruskal Wallis dengan $\alpha = 5\%$

Kerapatan kristal kalsium oksalat bentuk rafida besar, dan X1 pada perlakuan P secara tunggal memiliki pengaruh yang lebih baik menurunkan kerapatan kristal kalsium oksalat umbi porang dibandingkan dengan pemberian pupuk K secara tunggal kecuali bentuk druse. Kerapatan kristal kalsium oksalat bentuk rafida kecil memiliki pengaruh terhadap perlakuan kombinasi pupuk P dan K. Pupuk P seperti superfosfat dapat menurunkan kandungan oksalat pada tanaman sayuran (Singh, 1974). Hasil penelitian Adebooye dan Oloyede (2007) menunjukkan bahwa kadar oksalat dalam *Trichosanthes cucumerina* tidak dipengaruhi oleh tingkat P. Jika tanaman tumbuh pada kondisi P terbatas, maka membutuhkan mekanisme untuk mengakses unsur P. Salah satu mekanisme tanah untuk serapan P adalah produksi asam oksalat oleh tanaman. Cannon dkk. (1995) mengamati bahwa konsentrasi total P tanah menurun dengan meningkatnya oksalat. Penelitian Rahman dkk. (2008) yang dilakukan pada *Napiergrass* menunjukkan bahwa kandungan oksalat terlarut berkorelasi positif dengan konsentrasi K. Smith (1972) melaporkan bahwa kandungan oksalat total *Setaria* meningkat dengan peningkatan laju penerapan K.

4.3 Kerapatan Total Kristal Kalsium Oksalat Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Pemberian Pupuk P dan K

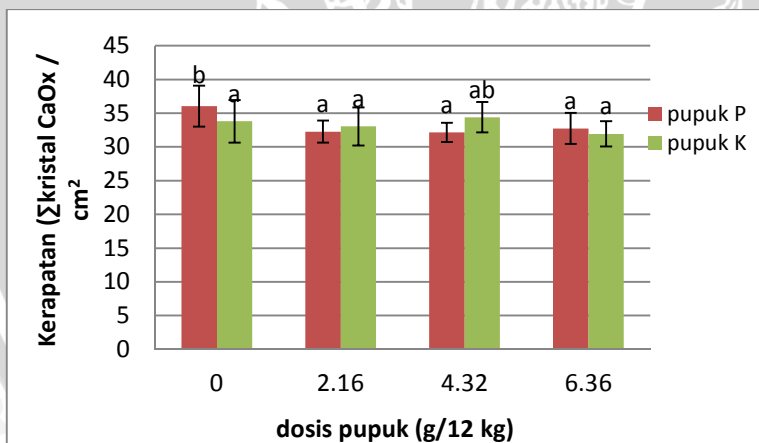
Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi pupuk P dan K tidak berpengaruh terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat umbi porang, namun pada perlakuan pupuk P dan K secara tunggal berpengaruh terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat umbi porang.

Pada perlakuan dengan pupuk P dosis yang dapat menghasilkan kerapatan total kristal kalsium oksalat paling rendah adalah dosis 4,32 g/12 kg tanah sebanyak $32,14 \pm 1,423$ kristal / cm², sedangkan perlakuan tanpa pemberian pupuk atau dosis 0 g/12 kg tanah memiliki kerapatan paling tinggi sebanyak $36,04 \pm 3,028$ kristal/cm². Berdasarkan uji Games Howell (Lampiran 7) perlakuan P secara tunggal menunjukkan ada beda nyata pada dosis 0 g/12 kg tanah terhadap dosis pupuk P 2,16 g/12 kg tanah, 4,32 g/12 kg tanah, dan 6,36 g/12 kg tanah. Hara P dalam tanaman sangat diperlukan dalam pembentukan ATP, dan energi dari ATP sangat diperlukan dalam serapan hara-hara yang lain seperti K, P, Cu karena serapan hara-hara tersebut berlangsung melalui proses difusi yang memerlukan banyak energi ATP (Salisbury and Ross, 1992). Unsur P dapat membatasi produksi asam sitrat pada siklus Krebs sehingga produksi asam-asam lainnya termasuk asam oksalat dapat terbatas atau menurun (Rahman dan Kawamura, 2011).

Perlakuan dengan pupuk K pada dosis 6,36 g/12 kg tanah memiliki kerapatan total kristal kalsium oksalat paling rendah sebanyak $31,94 \pm 1,883$ kristal / cm², sedangkan kerapatan kristal kalsium oksalat paling tinggi terjadi pada perlakuan dengan dosis pupuk K 4,32 g/12 kg tanah sebanyak $34,41 \pm 2,274$ kristal / cm². Penelitian Rahman dkk. (2008) yang dilakukan pada *Napiergrass* menunjukkan bahwa kandungan oksalat terlarut berkorelasi tinggi dengan konsentrasi pupuk K. Smith (1972) melaporkan bahwa kandungan oksalat total *Setaria* meningkat dengan peningkatan laju penerapan K.

Hasil penelitian menunjukkan kerapatan total kristal kalsium oksalat bervariasi terhadap pemberian masing-masing dosis pupuk. Dibandingkan dengan kontrol penurunan kerapatan total kristal kalsium oksalat pada perlakuan pupuk P dan K secara tunggal

diketahui bahwa perlakuan dengan pupuk P berpengaruh lebih baik daripada pupuk K. Pada perlakuan dengan pupuk P persentase penurunan kerapatan total kristal kalsium oksalat tertinggi terjadi pada dosis 4,32 g/12 kg tanah yaitu sebesar 10,82 % dan penurunan terendah pada dosis 6,36 g/12 kg tanah yaitu sebesar 9,13 %. Adanya unsur P dan K dapat menurunkan produksi oksalat melalui pembatasan produksi asam-asam dari siklus Krebs terutama pembatasan produksi asam sitrat dan asam malat yang berperan pada sintesis oksalat (Caliskan, 2000). Namun pada hasil ini unsur P yang paling tinggi menurunkan kerapatan total kristal kalsium oksalat, hal ini diduga unsur P dapat diserap oleh tanah dengan kondisi pH yang bermacam-macam. Penyerapan dari ion-ion fosfat sangat dipengaruhi oleh pH, yaitu apabila tanaman hidup di habitat dengan pH lebih rendah (asam), tanaman lebih banyak menyerap ion orthofosfat primer, tetapi pada pH yang lebih tinggi (basa) ion orthofosfat sekunder yang lebih banyak diserap tanaman. Bentuk P lain yang dapat diserap tanaman adalah pirofosfat dan metafosfat dan P-organik hasil dekomposisi bahan organik seperti fosfolipid, asam nukleat dan phytin (Foth, 1994).



Gambar 12. Pengaruh dosis pupuk P tunggal dan K tunggal terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat. Keterangan: huruf yang sama pada jenis pupuk yang sama menunjukkan tidak ada beda nyata pada uji Games Howell dengan $\alpha = 5\%$.

Perbedaan kerapatan total kristal kalsium oksalat ini selain di pengaruhi oleh keadaan nutrisi, intensitas cahaya dan juga di pengaruhi oleh faktor genetik (Cao, 2003). Hasil penelitian Cao (2003) menyebutkan bahwa tingkat substrat nutrisi terbukti mempengaruhi kuantitas idioblas kalsium oksalat pada *Dieffenbachia*. Ketika tanaman diperlakukan dengan tingkat nitrogen (N) yang berbeda, jumlah kristal kalsium oksalat tertinggi ditemukan pada tanaman yang tumbuh dengan tingkat N di bawah 200 ppm, yang merupakan tingkat optimal dari N untuk pertumbuhan *Dieffenbachia*. Dengan demikian, tampak bahwa kuantitas kristal CaOx berkaitan erat dengan pertumbuhan optimum *Dieffenbachia*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan pada umbi porang terdapat tiga bentuk kristal kalsium oksalat yaitu bentuk rafida kecil, rafida besar, druse, dan X1. Pada bagian tepi umbi porang paling banyak ditemukan kristal bentuk rafida kecil dan di bagian tengah umbi porang banyak ditemukan bentuk druse. Pemberian kombinasi pupuk P dan K tidak berpengaruh terhadap kerapatan total kalsium oksalat, bentuk rafida besar, druse, dan X1, tetapi berpengaruh terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat rafida kecil. Pemberian pupuk P dan K secara tunggal berpengaruh terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat umbi porang. Pemberian pupuk P secara tunggal menghasilkan penurunan terhadap kerapatan total kristal kalsium oksalat lebih baik dibandingkan pupuk K, dengan persentase penurunan kerapatan total kristal kalsium oksalat dibandingkan kontrol sebesar 10,82 % untuk pupuk P pada dosis 4,32 g/12 kg tanah yaitu sebanyak $32,14 \pm 1,423$ kristal/cm².

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian serupa hingga pada fase panen, agar dapat diaplikasikan oleh petani porang untuk mengurangi jumlah kalsium oksalat, serta ulangan dalam penelitian ini perlu ditambah untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adebooye, O. C. & F. M. Oloyede. 2007. Effect of phosphorus on the fruit yield and food value of two landraces of *Trichosanthes cucumerina* L.- Cucurbitaceae. *Food Chem.* 100:1259-1264.
- Albeck, S., Addadi, L., & Weiner, S. 1996. Regulation of calcite crystal morphology by intracrystalline acidic proteins & glycoproteins. *Conn.Tiss. Res.* 35, 365-370.
- Antarlina, S.S. & J.S. Utomo. 1997. Substitusi tepung ubijalar pada pembuatan mie kering. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pangan. PATPI. Denpasar.
- Backer, A. & R.C.B Van den Brink. 1986. Flora of java III. The rijksherbarium. Leyden. Hal 113
- Brown. D. 2000. Aroids: Plants of the *Arum* family. Second Edition, Timber Press, Portl& Oregon
- Caliskan, Mahmut. 2000. The metabolism of oxalic acid. *Turkey Journal Zoology*,24:103-106.
- Cannon, J. P., E. B. Allen, M. F. Allen, L. M. Dudley & J. J. Jurinak. 1995. The effects of oxalates produced by *Salsola tragus* on the phosphorus nutrition of *Stipa pulchra*. *Oecologia* 102:265-272.
- Cao, H. 2003. Thesis : The distribution of calcium oxalate crystals in genus *Dieffenbachia* Schott. and the relationship between environmental factors and crystal quantity and quality. University Of Florida. Florida.
- Chetan, K.C & J. J. Mihir.. 2011.*In vitro* crystallization, characterization and growth-inhibition study of urinary type struvite crystals. *Journal of Crystal Growth*. Vol(362): 330-337
- Crowther, A. 2005. Re-viewing raphides: Issues with the identification and interpretation of calcium oxalate crystals in microfossil assemblages. School of Social Science The University of Queensland St Lucia. Australia. 107 p.
- Dobermann, A & T. Faihurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & nutrient management. Potash & Potash Institute of Canada

- Endriyeni, E. 2009. Analisis anatomi kristal kalsium oksalat pada beberapa varian porang (*Amorphophallus oncophyllus* Prain ex Hook.F.) di Klangon, kecamatan Saradan, Madiun, Jawa Timur. Skripsi. Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya. Malang
- Fitter A.H. & R.K.M Hay. 1991, Fisiologi lingkungan tanaman. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Foth,H.D. 1994. Dasar-dasar ilmu tanah. Terjemahan : Soenartono Adisumarto. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Foth, H.,D. & L.,M. Turk. 1972. Fundamental of soil science. John Wiley & Sons, Inc. New York. Sidney. London & Toronto.
- Franceschi V.R., & H.T. Horner. 1980. Calcium oxalate crystals in plants. *Bot Rev* 46:361–427.
- Franceschi VR, Horner HT, Jr. 1979. Use of *Psychotria punctata* callus in study of calcium oxalate crystal idioblast formation. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 92(S): 61-75.
- Franceschi, V. R. & P. A. Nakata. 2005. Calcium oxalate in plant: Formulation & Function. *Annual Review of Plant Biology* 56: 41-71
- Grime, J. P. 2002. Plant strategies, vegetation process & ecosystem properties. 2nd edition. John Wiley. Chichester.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tidale, & W.L. nelson. 1999. Soil fertility & fertilizer. An introduction to nutrient management. sixth edition. Prentice hall. Upper Saddle River. New Jersey
- Hodgkinson, A. 1977. Oxalic Acid in Biology & Medicine. Academic Press, London.
- Holloway, W. D., M. E. Argall, W. T. Jealous, J.A. Lee & J. H. Bradbury. 1989. Organic acids & calcium oxalate in tropical root crop. *Journal Agriculture Food Chemistry* 37 : 337-341
- Horner, H.T., Jr. & B.L.Wagner. 1995. Calcium oxalate formation in higher plants. In S.R. Khan (ed.), Calcium Oxalate in Biological Systems, pp 53–72. Boca Raton: CRC Press.
- Hoyer, J.R., J.R. Asplin, & L. Otvos. 2001. Phosphorylated osteopontin peptides suppress crystallization by inhibiting the growth of calcium oxalate crystals. *Kidney Int* 60: 77–82

- IAS. 2006. *Amorphophallus muelleri* Bl.. <http://www.aroid.org/genera/speciespage.php?genus=amorphophallus&species=mue> lleri. Diakses tanggal 10 Nopember 2012.
- Indriyani, S. 2011. Pola pertumbuhan porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) dan pengaruh lingkungan terhadap kandungan oksalat dan glukomanan umbi. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Airlangga. Surabaya
- Jansen P.C.M., C.V.D. Wilk, & W.L.A. Hetterscheid. 1996. *Amorphophallus* sp in PORSEA 9: Plant yield non seed carbohydrate. M. Flanch & Rumawan (eds). Bogor
- Keates SE, Tarlyn NM, Loewus FA, Franceschi VR. 2000. L-ascorbic acid and L-galactose are sources for oxalic acid and calcium oxalate in *Pistia stratiotes*. *Phytochemistry* 53(4): 433-440.
- Kirkman, J.H., A. Basker, A. Surapaneni, & A.N. MacGregor. 1994. Potassium in the soils of New Zealand- a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37:207-227.
- Lahiya, A.A. 1993. Budidaya tanaman iles-iles dan penerapannya untuk sasaran konsumsi serta industri. Seri Himpunan Peninggalan Penulisan Yang Berserakan. (terjemahan dari Scheer, J.V., G.H.W.D. Dekker, and E.R.E. Helewijn. 1937/1938/1940). Bandung.
- Lanzalaco AC, P.B. Singh , S.A. Smesko, G.H. Nancollas, G. Sufrin, M. Binette, & J.P. Binette . 1988. The influence of urinary macromolecules on calcium oxalate monohydrate crystal growth. *J Urol* 139P: 190-195
- Lina, N. 2008. Tesis : Faktor-faktor risiko kejadian batu saluran kemih pada laki-laki. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Lingga, P, & Marsono, 2001. petunjuk penggunaan pupuk. penebar swadaya. Jakarta.
- Ma'shum, M., Mahrup, Sukartono, I.G.M. Kusnarta, & Silawibawa, IP. 2003. Water capturing on various rainfed vertisol's managements in southern lombok. *Agroteksosos Journal*. Fakultas Pertanian UNRAM.
- Marshner, H. 1997. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. Academic Press Harcourt Brace and Company. Tokyo

- Mastuti, R., S. Indriyani, & A. Roosdiana. 2008. Identifikasi kandungan asam oksalat terlarut dan tak larut serta kuantitas kristal kalsium oksalat secara mikroskopis dalam umbi tanaman porang (*Amorphophallus oncophyllus* Prain ex Hook.f.) pada berbagai fase perkembangan. Laporan Research Grant IM-HERE Jurusan Biologi FMIPA UB.
- Ohtsuki, T. 1968. Studies on reserve carbohydrates of four *Amorphophallus* species, with special reference to mannan. *Bot. Mag. Tokyo* 81:119-126.
- Paul, F. & J. Palmer. 1972. Chemistry organic. Pentice Hall. London
- Prychid, C. J., R. S. Jabaily & P. J. Rudall. 2008. Cellular ultrastructure & crystal development in *Amorphophallus* (Araceae). *Annals of Botany* 101 : 983-995
- Rahman, M. M., M. Yamamoto, M. Niimi and O. Kawamura. 2008. Effect of nitrogen fertilization on oxalate content in Rhodesgrass, Guineagrass and Sudangrass. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21:214-219.
- Rahman, M.M., & O. Kawamura. 2011. Oxalate accumulation in forage plants: some agronomic, climatic & genetic aspects. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24(3):439-448.
- Rosmarkam, A. & N.W. Yuwono. 2002. Ilmu kesuburan tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Hal 42-80.
- Sakti, M. A. E. 2009. Densitas dan distribusi kristal kalsium oksalat dalam umbi dua varians porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) di KPH Saradan, Jawa timur pada siklus pertumbuhan ketiga. Skripsi. Jurusan Biologi. Fakultas MIPA. Universitas Brawijaya. Malang.
- Salisbury F.B. & C.W.Ross. 1992. Plant fisiology. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California. 681 pp.
- Saputra, R.A. 2009. Kandungan asam oksalat terlarut dan tidak terlarut pada umbi dua varian porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) di KPH Saradan, Madiun Jawa Timur pada Siklus Pertumbuhan Ketiga. Prosiding. Universitas Brawijaya. Malang.
- Singh, P. P. 1974. Influence of light intensity, fertilizers and salinity on oxalate and mineral concentration of two vegetables

- (*Chenopodium album* L. and *Chenopodium amaranthicolor* L.). *Plant Foods Hum. Nutr.* 24:115-125.
- Smith, F. W. 1972. Potassium nutrition, ionic relations, and oxalic acid accumulation in three cultivars of *Setaria sphacelata*. *Aust. J. Agric. Res.* 23:969-980.
- Smith, F. W. 1978. The effect of potassium and nitrogen on ionic relations and organic acid accumulation in *panicum maximum* var. *trichoglume*. *Plant Soil* 49:367-379.
- Sumarwoto. 2004. Pengaruh pemberian pupuk dan ukuran bulbil terhadap pertumbuhan Iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume) pada tanah ber-Al tinggi. *Ilmu Pertanian* 11 (2) : 45-53
- Sumarwoto. 2005. Iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume) : Deskripsi dan sifat-sifat lainnya. *Jurnal Biodiversitas* 6:185-190
- Syaefulloh S. 1990. Studi Karakteristik glukomanan dari sumber 'Indegenous' ileles-iles (*Amorphophallus oncophyllus*) dengan variasi proses pengeringan dan basis perendaman. Program Studi Teknologi Pasca panen. IPB, Bogor
- Teng H. H., P. M. Dove., C. A.Orme, & J. J. De Yoreo. 1998. Thermodynamics of calcite growth: A baseline for understanding biomineral formation. *Science* 282, 724-727.
- Tisdale, S.L. & W.L. Nelson. 1975. Soils fertility & fertilizers. 3rd Ed. Collier Mc Millan Intern, Inc. New York.
- Webb, M. A. 1999. Cell-mediated crystalization of calcium oxalate in Plant. *Plant Cell* 11 : 751-761
- Wikipedia. 2012. Bulbil Porang. [http://upload.wikimedia.org/wikipedia /id/ e/e8/ Porang_bulbil.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/id/e/e8/Porang_bulbil.JPG). Tanggal akses 25 Maret 2012.
- Zamora, A. 2005. Carbohydrates - chemical structure. [http://www. scientificpsychic.com /fitness/carbohydrate2html](http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrate2html). Diakses tanggal 10 Nopember 2012.
- Zhang, Y.Q., B.J. Xie, & K. Gan. 2005. Advance in the application of konjac glucomannan & its derivatives. *Carbohydrate Polymer* 60 : 27-31.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah RAK

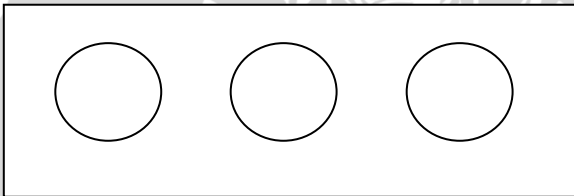
P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K	P&K
P ₁₅	P ₄	P ₉	P ₃	P ₇	P ₁₂	P ₁₁	P ₈	P ₁₆	P ₅	P ₁	P ₆	P ₁₃	P ₂	P ₁₀	P ₁₄
P ₄	P ₁₅	P ₆	P ₁₃	P ₉	P ₃	P ₇	P ₅	P ₁	P ₁₆	P ₁₀	P ₁₂	P ₁₄	P ₁₁	P ₂	P ₈
P ₈	P ₉	P ₄	P ₃	P ₁₆	P ₁₄	P ₂	P ₁₁	P ₁₂	P ₅	P ₁₃	P ₇	P ₆	P ₁₅	P ₁	P ₁₀

Gambar 14. Denah RAK

Keterangan:

P : Perlakuan dengan kombinasi pupuk P dan K

Lampiran 2. Skema preparat umbi



Gambar 15. Skema preparat mikroskopis

Lampiran 3. Persiapan pengamatan mikroskopis



Gambar 16. Porang hasil penanaman dengan pupuk P dan K.



Gambar 17. Corkbore



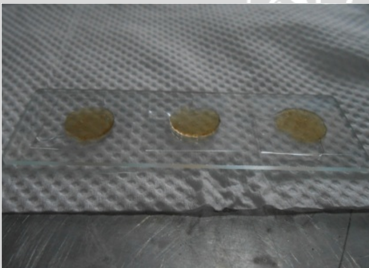
Gambar 18. Umbi setelah di corkbore



Gambar 19. Mikrotom



Gambar 20. Irisan umbi dalam larutan alkohol 96 %



Gambar 21. Preparat umbi porang

Lampiran 4. Hasil uji normalitas data sebelum di transformasi
Tabel 1. Normalitas data

		SMEAN (kerapatan_ total)	SMEAN (rafida_kecil)	SMEAN (rafida_besar)	SMEAN (druse)	SMEAN(K1)
N		48	48	48	48	48
Normal Parameters ^a	Mean	1115.8298	367.1064	24.6596	377.9787	346.1489
	Std. Deviation	182.86262	98.45708	13.33253	91.71684	105.26703
Most Extreme Differences	Absolute	.172	.191	.198	.151	.216
	Positive	.172	.191	.198	.151	.216
	Negative	-.096	-.101	-.108	-.121	-.138
Kolmogorov-Smirnov Z		1.192	1.324	1.373	1.048	1.495
Asymp. Sig. (2-tailed)		.117	.060	.046	.222	.023

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 5. Transformasi SQRT

```

COMPUTE trans_kerapatan_total=SQRT(kerapatan_total_1).
EXECUTE.
COMPUTE trans_rafida_kecil=SQRT(rafida_kecil_1).
EXECUTE.
COMPUTE trans_rafida_besar=SQRT(rafida_besar_1).
EXECUTE.
COMPUTE trans_druse=SQRT(druse_1).
EXECUTE.
COMPUTE trans_K1=SQRT(K1_1).
EXECUTE.
SAVE OUTFILE='E:\data anyarq.sav'
/COMPRESSED.

```

Lampiran 6. Normalitas data hasil transformasi
Tabel 2. Normalitas data hasil transformasi

		trans_ kerapatan_ total	trans_rafida_ kecil	trans_rafida_ besar	trans_druse	trans_K1
N		48	48	48	48	48
Normal Parameters ^a	Mean	33.2996	19.0080	4.7669	19.2834	18.4255
	Std. Deviation	2.66707	2.43415	1.40610	2.50178	2.60580
Most Extreme Differences	Absolute	.161	.164	.146	.145	.198
	Positive	.161	.164	.143	.132	.198
	Negative	-.086	-.082	-.146	-.145	-.112
Kolmogorov-Smirnov Z		1.115	1.139	1.014	1.003	1.374
Asymp. Sig. (2-tailed)		.166	.149	.256	.267	.046

a. Test distribution is Normal.

Lampiran 7. Uji statistika kerapatan total

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:trans_kerapatan_total

F	df1	df2	Sig.
5.020	15	32	.000

a. Design: Intercept + P + K + P * K

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:trans_kerapatan_total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	205.779 ^a	15	13.719	3.415	.002
Intercept	53225.506	1	53225.506	1.325E4	.000
P	122.642	3	40.881	10.177	.000
K	40.772	3	13.591	3.383	.030
P * K	42.365	9	4.707	1.172	.345
Error	126.545	32	4.017		
Total	53559.830	48			
Corrected Total	334.324	47			

a. R Squared = .616 (Adjusted R Squared = .435)

Tabel 3. Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kerapatan total dengan perlakuan P tunggal:

	P1	P2	P3	P4
	0	2,16	4,32	6,36
P1	0	-	NS (0,07)	S (0,03)
P2	2,16	-	NS (0,99)	NS (0,98)
P3	4,32		-	NS (0,86)
P4	6,36			-

Tabel 4. Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kerapatan total dengan perlakuan pupuk K tunggal:

		X1 0	K2 2,16	K3 4,32	K4 6,36
X1	0	-	NS (0,92)	NS (0,94)	NS (0,32)
K2	2,16		-	NS (0,57)	NS (0,67)
K3	4,32			-	S (0,03)
K4	6,36				-

Lampiran 8. Uji statistik kristal rafida kecil

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: trans_rafida_kecil

F	df1	df2	Sig.
3.450	15	32	.002

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: trans_rafida_kecil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	217.501 ^a	15	14.500	7.609	.000
Intercept	17342.628	1	17342.628	9.101E3	.000
P	117.694	3	39.231	20.588	.000
K	12.354	3	4.118	2.161	.112
P * K	87.454	9	9.717	5.099	.000
Error	60.977	32	1.906		
Total	17621.106	48			
Corrected Total	278.478	47			

Tabel 5. Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kristal rafida kecil dengan perlakuan kombinasi pupuk P dan K:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
P1	-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P2		-	NS	NS	NS	S	S	NS	NS	NS	S	S	S	S	NS	S
P3			-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P4				-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P5					-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P6						-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P7							-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P8								-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P9									-	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P10										-	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P11											-	NS	NS	NS	NS	NS
P12												-	NS	NS	NS	NS
P13													-	NS	NS	NS
P14														-	NS	NS
P15															-	NS
P16																-

Keterangan :

S = Signifikan

NS= Nonsignifikan

P1= dosis 0;0

P2= dosis 0;2,16

P3= dosis 0;4,32

P4= dosis 0;6,36

P5= dosis 2,16;0

P6= dosis 2,16;2,16

P7= dosis 2,16;4,32

P8= dosis 2,16;6,36

P9= dosis 4,32;0

P10= dosis 4,32;2,16

P11= dosis 4,32;4,32

P12= dosis 4,32;6,36

P13= dosis 6,36;0

P14= dosis 6,36;2,16

P15= dosis 6,36;4,32

P16= dosis 6,32;6,36

Lampiran 9. Uji statistika kristal rafida besar

Levene's Test of Equality of Error Variancesa

Dependent Variable:trans_rafida_besar

F	df1	df2	Sig.
1.736	15	32	.093

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:trans_rafida_besar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45.038 ^a	15	3.003	2.006	.048
Intercept	1090.735	1	1090.735	728.877	.000
P	13.090	3	4.363	2.916	.049
K	7.715	3	2.572	1.719	.183
P * K	24.233	9	2.693	1.799	.107
Error	47.887	32	1.496		
Total	1183.660	48			
Corrected Total	92.924	47			

a. R Squared = ,485 (Adjusted R Squared = ,243)

Tabel 6. Uji Tukey kristal rafida besar dengan pupuk P tunggal

trans_rafida_besar

Tukey HSD

P	N	Subset	
		1	2
6.36	12	4.1172	
4.32	12	4.6295	4.6295
2.16	12	4.7483	4.7483
0	12		5.5728
Sig.		.592	.253

The error term is Mean Square(Error) = 1,496.

Tabel 7. Uji Tukey kristal rafida besar dengan pupuk K tunggal

trans_rafida_besar

Tukey HSD

K	N	Subset
		1
0	12	4.4165
2.16	12	4.4333
6.36	12	4.8131
4.32	12	5.4047
Sig.		.217

Lampiran 10. Uji statistika kristal druse

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:trans_druse

F	df1	df2	Sig.
6.732	15	32	.000

a. Design: Intercept + PK

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:trans_druse

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	163.870 ^a	15	10.925	2.683	.009
Intercept	17848.811	1	17848.811	4.384E3	.000
P	33.522	3	11.174	2.744	.059
K	63.825	3	21.275	5.225	.005
P * K	66.523	9	7.391	1.815	.104
Error	130.298	32	4.072		
Total	18142.979	48			
Corrected Total	294.168	47			

a. R Squared = ,557 (Adjusted R Squared = ,349)

Tabel 8. Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kristal druse dengan perlakuan pupuk P tunggal:

	P1 0	P2 2,16	P3 4,32	P4 6,36
P1	0	-	NS (0,99)	NS (0,39)
P2	2,16	-	NS (0,99)	NS (0,054)
P3	4,32		-	NS (0,10)
P4	6,36			-

Tabel 9. Matrik rekapitulasi uji Games-Howell kristal druse dengan perlakuan pupuk K tunggal:

		X1 0	K2 2,16	K3 4,32	K4 6,36
X1	0	-	NS (0,95)	NS (0,99)	NS (0,18)
K2	2,16		-	NS (0,24)	S (0,03)
K3	4,32			-	NS (0,05)
K4	6,36				-

Lampiran 11. Uji statistika kristal X1

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable:trans_X1					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	134.563 ^a	15	8.971	1.555	.144
Intercept	16296.011	1	16296.011	2.825E3	.000
P	76.060	3	25.353	4.395	.011
K	33.840	3	11.280	1.956	.141
P * K	24.663	9	2.740	.475	.880
Error	184.576	32	5.768		
Total	16615.149	48			
Corrected Total	319.138	47			

a. R Squared = ,422 (Adjusted R Squared = ,151)

Tabel 10. Matrik rekapitulasi uji Mann-Whitney kristal X1 dengan perlakuan pupuk P tunggal:

		P1 0	P2 2,16	P3 4,32	P4 6,36
P1	0	-	S (0,02)	S (0,01)	S (0,05)
P2	2,16		-	NS (0,84)	NS (0,79)
P3	4,32			-	NS (0,95)
P4	6,36				-

Tabel 11. Matrik rekapitulasi uji Mann-Whitney kristal X1 dengan perlakuan pupuk K tunggal:

		X1 0	K2 2,16	K3 4,32	K4 6,36
X1	0	-	NS (0,31)	NS (0,19)	NS (0,66)
K2	2,16		-	S (0,03)	NS (0,18)
K3	4,32			-	NS (0,39)
K4	6,36				-

Lampiran 12. Tabel hasil uji T kerapatan kristal kalsium oksalat bagian tepi dan tengah umbi.

Tabel 12. Uji normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test						
		Kerapatan total1	Kerapatan_ rafida_kecil 1	kerapatan_ rafida_besa r1	kerapatan_ druse1	kerapatanX 1_1
N		96	96	96	96	96
Normal Parameters ^a	Mean	557.9362	183.5426	12.4362	189.0319	173.0638
	Std. Deviation	1.49434E2	67.80560	9.27768	190.42724	63.52841
Most Extreme Differences	Absolute	.111	.122	.138	.279	.109
	Positive	.111	.122	.138	.279	.109
	Negative	-.058	-.057	-.090	-.177	-.063
Kolmogorov-Smirnov Z		1.085	1.194	1.349	2.737	1.065
Asymp. Sig. (2-tailed)		.190	.116	.052	.000	.206
a. Test distribution is Normal.						

Tabel 13. Uji T tidak berpasangan kerapatan total bagian tepi dan tengah

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Kerapatan	Equal variances assumed	.271	.604	-10.739	94	.000	-220.68085	20.54862	-261.48062	-179.88108
	Equal variances not assumed			-10.739	93.856	.000	-220.68085	20.54862	-261.48144	-179.88026

Tabel 14. Uji T tidak berpasangan kristal rafida kecil bagian tepi dan tengah

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
										95% Confidence Interval of the Difference
		F	Sig.							t
		Nilai_kerapatan	Equal variances assumed	.057	.811	7.706	94	.000	83.93617	10.89288
Equal variances not assumed				7.706	93.914	.000	83.93617	10.89288	62.30785	105.56449

Tabel 15. Uji T tidak berpasangan kristal rafida besar bagian tepi dan tengah

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
				F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
		Lower	Upper							
kerapatan_rafida_besar1	Equal variances assumed	.740	.392	-5.550	94	.000	-9.17021	1.65228	-12.45085	-5.88957
	Equal variances not assumed			-5.550	93.072	.000	-9.17021	1.65228	-12.45128	-5.88915

Tabel 16. Uji alternatif Mann-Whitney kristal druse bagian tepi dan tengah

Test Statistics ^a	
	kerapatan_druse 1
Mann-Whitney U	2.500
Wilcoxon W	1178.500
Z	-8.468
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000
a. Grouping Variable: kerapatan_druse	

Tabel 17. Uji T tidak berpasangan kristal X1 bagian tepi dan tengah

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
kerapatanK1_1	Equal variances assumed	.011	.918	5.355	94	.000	61.10638	11.41168	38.44822	83.76454
	Equal variances not assumed			5.355	93.068	.000	61.10638	11.41168	38.44527	83.76750