

**KANDUNGAN OKSALAT UMBI PORANG
(*Amorphophallus muelleri* Blume) HASIL PENANAMAN
DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K**

SKRIPSI

oleh
DHIKE ARDHIAN
0910910042



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

KANDUNGAN OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) HASIL PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K

SKRIPSI

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

oleh

DHIKE ARDHIAN

0910910042



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

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

KANDUNGAN OKSALAT UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) HASIL PENANAMAN DENGAN PERLAKUAN PUPUK P DAN K

DHIKE ARDHIAN
0910910042

Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 11 Juni 2013
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam Bidang Biologi

Menyetujui
Pembimbing

Dr. Serafinah Indriyani, M.Si.
NIP. 19630909 198802 2 001

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

Rodliyati Azraningsih, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700128 199412 2 001

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhike Ardhian

NIM : 0810910042

Jurusan : Biologi

Penulis Skripsi berjudul: Kandungan Oksalat Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Hasil Penanaman dengan Perlakuan 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, 11 Juni 2013
Yang menyatakan

Dhike Ardhian
0810910042

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.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Kandungan Oksalat Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Hasil Penanaman dengan Perlakuan Pupuk P dan K

Dhike Ardhian, Serafinah Indriyani
Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Brawijaya, Malang
2013

ABSTRAK

Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) merupakan jenis tanaman umbi yang memiliki potensi dan prospek yang bagus untuk dikembangkan di Indonesia. Namun adanya kandungan oksalat yang tinggi pada porang berdampak negatif bagi tubuh manusia sehingga perlu dilakukan upaya untuk menurunkan oksalat dengan pupuk P dan K. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kandungan oksalat umbi porang dengan perlakuan kombinasi pupuk P dan K dan mengetahui jenis serta dosis pupuk yang berpotensi menurunkan kandungan oksalat umbi porang. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok pola faktorial 4x4 dengan ulangan tiga kali. Umbi porang dengan berat 100 g ditanam di polibag selama empat bulan dan diberi pupuk P dan K masing-masing dengan dosis 0; 2,16; 4,32; dan 6,36 $\frac{g}{12 \text{ kg tanah}}$. Umbi porang yang telah dipanen dianalisis kandungan oksalat terlarut dengan metode volumetri, sedangkan untuk menganalisis kandungan oksalat tidak terlarut digunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Data kandungan oksalat dianalisis dengan ANOVA dilanjutkan dengan menggunakan uji Tukey dengan $\alpha = 5\%$. Kombinasi pupuk P dan K serta pupuk P tunggal tidak mempengaruhi kandungan oksalat umbi porang. Pupuk K tunggal mempengaruhi kandungan oksalat umbi porang. Dosis pupuk K secara tunggal yang berpotensi menurunkan kandungan oksalat total porang adalah 2,16 $\frac{g}{12 \text{ kg tanah}}$ dengan penurunan kandungan oksalat total sebesar 34,3 %.

Kata kunci : oksalat, pupuk K, pupuk P, spektrofotometri, volumetri

Oxalate Content of Porang Corm (*Amorphophallus muelleri* Blume) Planting With Conduct Of Fertilizer P And K

Dhike Ardhian, Serafinah Indriyani

Biology Department, Mathematics and Natural Sciences Faculty, Brawijaya University
2013

ABSTRACT

Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) is a corm crop that has potential and good prospects for developed in Indonesia. However, there are a high oxalate content in porang corm cause negative impact on the human body so the efforts to reduced the oxalate with fertilizer P and K is necessary. The purpose of this study was to determine the effect of P and K fertilizer application on oxalate content of porang corm and to know P or K fertilizer doses that can reduce the oxalate content. Research methods using Randomized Block Design with a 4x4 factorial pattern repeated three times. Porang with weight 100 g planted in polybag for four months and given fertilizer P and K at 0; 2.16; 4.32, and 6.36 $\frac{g}{12 \text{ kgs soil}}$. The harvested porang corm were analyzed by volumetric method for soluble oxalate content, whereas Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) for insoluble oxalate content. Oxalate content were analyzed by ANOVA, followed by using the Tukey test with $\alpha = 5 \%$. Combination of P and K along with single P fertilizer did not affect to oxalate content of porang corm. Single K fertilizer affect to oxalate content of porang corm. Single K fertilizer dose with the potential to reduce oxalate content of porang dose of fertilizer was 2.16 $\frac{g}{12 \text{ kg soil}}$ with percentage of reduced total oxalate 34.3 %.

Keywords: oxalate, K fertilizer, fertilizer P, spectrophotometry, volumetric

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Mu yang tiada terhingga hingga hamba dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Kandungan Oksalat Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Hasil Penanaman dengan Perlakuan Pupuk P dan K sebagai tugas yang diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program S-1 Biologi FMIPA, Universitas Brawijaya.

Penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang membantu dan memberikan kontribusi pemikirannya selama proses penyelesaian skripsi ini, terutama untuk:

- 1) Widodo S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Jurusan Biologi Universitas Brawijaya.
- 2) Dr. Serafinah Indriyani M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar dalam membimbing penulis dan senantiasa meluangkan waktu dan pikiran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
- 3) Ir. Retno Mastuti, M.Agr.Sc., D.Agr.Sc. dan Dr. Jati Batoro, M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi perbaikan skripsi ini.
- 4) Semua dosen Jurusan Biologi Universitas Brawijaya yang telah mengajar, mendidik, dan membagi ilmunya pada penulis selama ini.
- 5) Kedua orang tuaku, terima kasih atas doa dan dukungannya.
- 6) Teman-teman, terima kasih atas doa, semangat, dan dukungannya.
- 7) Semua pihak yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Akhirnya penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan mengingat segala keterbatasan yang ada pada diri penulis. Besar harapan penulis semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, 11 Juni 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	I
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Deskripsi Umum Porang	
2.1.1 Klasifikasi.....	4
2.1.2 Daun.....	4
2.1.3 Batang, Umbi, dan Bulbil.....	5
2.1.4 Bunga.....	6
2.1.5 Buah.....	7
2.2 Oksalat.....	7
2.3 Biosintesis Oksalat.....	8
2.4 Fase Pertumbuhan dan Kandungan Oksalat Umbi Porang.....	9
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kandungan Oksalat Tanaman.....	10
2.6 Fosfor (P).....	13
2.7 Kalium (K).....	14

2.8 Pengaruh Kalium dan Fosfor pada Biosintesis Oksalat.....	15
2.9 Analisis Secara Kimiawi.....	16

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
3.2 Rancangan Penelitian.....	19
3.3 Analisis Kandungan Oksalat Terlarut.....	19
3.4 Analisis Kandungan Oksalat Tidak Terlarut...	20
3.5 Analisis Data.....	20

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kandungan Oksalat Terlarut, Tidak Terlarut, dan Total Umbi Porang Hasil Penanaman Dengan Perlakuan Pemberian Pupuk P dan K.....	21
4.2 Jenis dan Dosis Pupuk yang Berpotensi Menurunkan Kandungan Oksalat pada Umbi Porang.....	24

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	27
5.2 Saran.....	27

DAFTAR PUSTAKA.....	28
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	31
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Morfologi porang.....	5
2	Biosintesis oksalat.....	9
3	Metode Titrasi.....	17
4	Kandungan oksalat pada tiap-tiap dosis pupuk K tunggal yang diberikan pada penanaman porang.....	24



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Uji statistik oksalat terlarut.....	31
2	Uji statistik oksalat tidak terlarut.....	33
3	Uji statistik oksalat total.....	35
4	Denah penelitian.....	37



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

<u>Simbol/singkatan</u>	<u>Keterangan</u>
C	Karbon
Ca	Kalsium
K	Kalium
N	Nitrogen
P	Fosfor
ppm	<i>part per million</i>

<u>Simbol/singkatan</u>	<u>Nama Unit</u>
α	alfa (taraf signifikansi)
μL	mikroliter
μM	mikromolar
cm	centimeter
g	gram
mg	miligram
mm	milimeter
kg	kilogram

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) merupakan salah satu tanaman herba familia Araceae yang akan bertunas di awal musim penghujan dan umbinya dapat dipanen pada musim kemarau (Kasno dkk., 2009). Bagian tanaman porang yang banyak dimanfaatkan oleh manusia adalah umbinya. Umbi porang memiliki diameter yang mampu mencapai 40 cm dengan tinggi umbi sekitar 30 cm. Umbi porang berbentuk bundar namun agak pipih serta memiliki tonjolan - tonjolan yang merupakan tunas atau anak umbi. Tunas utamanya berada di atas tengah - tengah lingkaran umbi. Komposisi zat gizi yang terkandung dalam porang berbeda antara satu varietas dengan varietas lain. Hal ini dipengaruhi oleh umur tanaman dan keadaan tanah habitatnya (Lingga, 1992). Menurut Utomo & Antarlina (1997), setiap 100 g 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. Kadar pati yang tinggi ini dapat dijadikan salah satu alasan untuk menjadikan porang sebagai salah satu tanaman pangan. Namun demikian, seringkali masyarakat kurang menyukai pengkonsumsian porang karena adanya kandungan oksalat dalam jumlah tinggi pada umbinya yang dapat menyebabkan rasa gatal serta dapat menimbulkan efek negatif bagi tubuh apabila dikonsumsi.

Oksalat merupakan asam dikarboksilat yang memiliki dua atom C pada masing - masing gugus karboksilat sehingga letak dua gugus karboksilat akan berdampingan. Letak gugus karboksilat yang berdampingan ini menyebabkan asam oksalat memiliki konstanta disosiasi yang lebih besar dibandingkan dengan asam - asam organik lainnya. Hal ini menyebabkan oksalat lebih kuat dibandingkan dengan senyawa homolognya dengan rantai C yang lebih panjang (Liebman, 2002). Oksalat pada tanaman tersimpan dalam dua bentuk yaitu oksalat larut air dan oksalat tidak larut air. Pengkonsumsian oksalat yang tidak larut dalam air dapat menurunkan bioavailabilitas kalsium dalam

tubuh dan dapat menyebabkan batu ginjal (Noonan & Savage, 1999). Konsentrasi asam oksalat dalam jumlah tinggi akan berbahaya dan menyebabkan gastroenteritis, *shock*, kejang, tingginya kalsium plasma, dan kerusakan jantung (Holloway dkk., 1989).

Oksalat yang larut dalam air atau oksalat terlarut dihasilkan dari pengikatan oksalat pada logam alkali atau mineral seperti ammonium dan thallium yang dapat larut dalam air (Liebman, 2002). Oksalat terlarut akan diabsorpsi melalui difusi pada usus besar manusia. Penyerapan oksalat tergantung dari kondisi diet manusia dan sumber oksalat. Pada umumnya penyerapan oksalat bersifat terbatas. Oksalat terlarut dapat berikatan dengan ion kalsium untuk membentuk kalsium oksalat yang tidak terlarut. Oksalat terlarut dan kalsium dapat mengendap di urin dan membentuk batu ginjal (Noonan & Savage, 1999).

Oksalat yang tidak larut dalam air atau oksalat tidak terlarut dihasilkan dari persenyawaan kalsium dengan asam oksalat. Bentuk dari kalsium oksalat bervariasi antara satu tanaman dengan tanaman lain. Bentuk dari kristal kalsium oksalat yang umum ditemui adalah berbentuk seperti jarum, bunga karang, melintang seperti huruf H, dan beberapa di antaranya tampak seperti berambut. Bentuk - bentuk ini terdistribusi dalam sel yang berada di bawah kendali genetik serta berperan khusus dalam proses fisiologis sel tanaman (Holloway dkk., 1989).

Setiap proses metabolisme sel seperti biosintesis oksalat, tanaman memerlukan unsur - unsur makro maupun mikro yang diambil dari lingkungan. Unsur - unsur tersebut di antaranya adalah kalium dan fosfor. Kalium merupakan unsur makro yang dibutuhkan tanaman dalam melakukan proses fisiologis tanaman seperti asimilasi zat arang, pembelahan sel, serta pembentukan jaringan penguat (Kirkman dkk., 1994). Fosfor (P) merupakan unsur makro yang berperan dalam pertumbuhan tanaman dan hampir berperan dalam semua proses biokimia tanaman (Yon, 1994). Penambahan pupuk P dan K pada porang berkorelasi negatif terhadap kandungan oksalat. Unsur P dan K berfungsi untuk membatasi produksi asam sitrat pada siklus Krebs sehingga produksi asam - asam lainnya seperti asam oksalat juga menurun (Smith, 1978; Rahman & Kawamura, 2011). Sintesis oksalat tertinggi adalah pada fase pertengahan pertumbuhan porang,

sedangkan pada fase akhir pertumbuhan porang hanya sedikit melakukan biosintesis oksalat (Saputra, 2009). Pemberian pupuk P dan K diduga dapat bekerja secara optimal pada saat porang melakukan biosintesis oksalat pada level optimum yaitu pada fase pertengahan pertumbuhan.

Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui adanya hubungan antara kandungan oksalat pada tanaman porang dengan perlakuan pemberian pupuk P dan K yang selanjutnya akan dianalisis secara volumetri untuk analisis oksalat terlarut dan spektrofotometri untuk analisis oksalat tidak terlarut.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini adalah:

1. Apakah terdapat perbedaan kandungan oksalat umbi porang yang diperlakukan dengan pemberian pupuk P dan K ?
2. Jenis pupuk apa dan dosis berapakah yang berpotensi menurunkan kandungan oksalat total umbi porang?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbedaan kandungan oksalat umbi porang yang diperlakukan dengan pemberian pupuk P dan K.
2. Mengetahui jenis pupuk dan dosis pupuk yang berpotensi menurunkan kandungan oksalat total umbi porang.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menentukan jenis dan dosis pupuk yang dapat menurunkan kandungan oksalat umbi porang. Dengan demikian dapat menjadi panduan petani porang untuk memperoleh umbi porang dengan kandungan oksalat rendah sehingga umbi porang lebih aman untuk dikonsumsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi umum porang

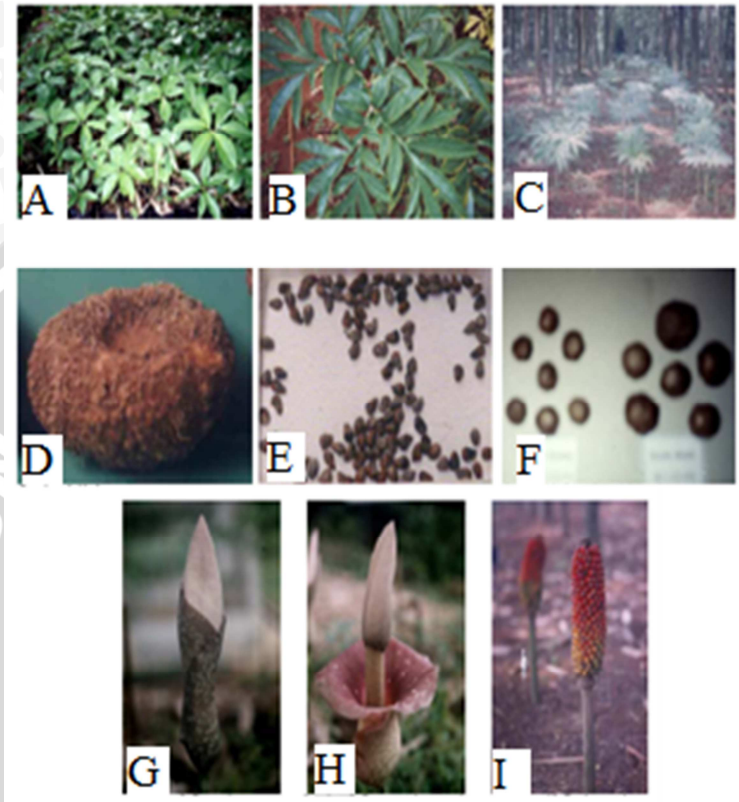
2.1.1 Klasifikasi

Klasifikasi porang menurut Rignanese (2006) adalah:

Kingdom	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Liliopsida
Ordo	: Arales
Familia	: Araceae
Genus	: <i>Amorphophallus</i>
Spesies	: <i>A. muelleri</i> Blume

2.1.2 Daun

Daun *Amorphophallus muelleri* Blume memiliki warna hijau muda sampai hijau tua dan terdapat bercak putih kehijauan dengan variasi yang cukup tinggi pada bagian tangkai daun atau batang semunya. Permukaan tangkai daun bertekstur halus dan licin (Gambar 1 A-C), sedangkan bagian permukaan daun bertekstur halus bergelombang. Anak helaian daun berbentuk elips atau lanset dengan ujung daun runcing. Saat *flushing* (pergantian daun dalam satu periode tumbuh), jumlah helaian anak daun berturut - turut 3, 4 - 5, 5 - 6 akhirnya 6 helaian anak daun bercabang - cabang dengan tiga anak tangkai daun. Tepi daun berwarna ungu muda pada daun muda, hijau pada daun umur sedang, dan kuning pada daun tua dengan garis tepi daun 0,3 - 0,5 mm. Diameter kanopi daun bervariasi tiap periode tumbuhnya. Diameter kanopi daun pada satu periode tumbuh, dua periode tumbuh, dan tiga periode tumbuh masing - masing sekitar 25 - 50 cm, 40 - 75 cm, dan 50 - 150 cm (Sumarwoto, 2005).



(Sumarwoto, 2005)

Gambar 1. Morfologi porang. Daun porang (A-C); Umbi porang (D); Bulbil (E,F); Bunga porang (G,H); Buah porang (I)

2.1.3 Batang, Umbi, dan Bulbil

Batang bersatu berada di sebelah atas umbi dan terdapat di dalam tanah. Diameter batang semu yang diukur 10 cm dari permukaan tanah bervariasi. Diameter batang semu pada satu periode tumbuh, dua periode tumbuh, dan tiga periode tumbuh masing - masing sekitar 5 - 10 mm, 15 - 25 mm, dan 25 - 50 mm. Warna luar umbi batang adalah kuning kecoklatan sampai krem, sedangkan warna bulbil (umbi daun atau umbi tetas atau “katak”) adalah coklat (Gambar 1 D). Bagian dalam umbi batang berwarna kuning - kuning

kecoklatan dan pada bulbil berwarna kuning saja. Umbi batang berbentuk bulat agak lonjong berserabut akar dengan bangun teratur. Bobot umbi batang pada satu periode tumbuh, dua periode tumbuh, dan tiga periode tumbuh masing - masing sekitar 50 - 200 g, 250 - 1350 g, dan 450 - 3350 g. Umbi batang memiliki permukaan halus sedikit kasar dan pada bulbil bertekstur kasar. Bulbil terletak pada percabangan tulang daun dan anak daun serta di atas percabangan tangkai daun pada umbi batang. Bulbil berbentuk bulat simetris pada bagian tengah dan lonjong pada percabangan tulang daun (Gambar 1 EF). Diameter bulbil bagian sentral sekitar 10 - 45 mm. Bobot bulbil sekitar 1 - 23 g, diameternya sekitar 1 - 5 cm dengan susunan jaringan bulbil yang halus. Masa dorman umbi dan bulbil sekitar empat sampai enam bulan. Tinggi tanaman termasuk tangkai daun pada satu priode tumbuh, dua periode tumbuh, dan tiga periode tumbuh adalah masing – masing 20 - 50 cm, 40 - 75 cm, dan 75 – 175 cm, namun semua itu sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tumbuhnya (Sumarwoto, 2005).

2.1.4 Bunga

Bunga porang berbentuk seperti tombak dengan ujung tumpul dengan diameter sekitar 4 - 7 cm dan tinggi 10 - 20,5 cm serta bersifat uniseksual (Gambar 1 GH). Bunga muncul pada awal musim hujan namun ada beberapa yang akan berbunga pada musim kemarau. Bunga tersusun atas seludang bunga, putik, dan benang sari. Seludang bunga porang agak bulat, pendek, semi tegak, dan hanya terdapat satu buah. Bagian bawah seludang bunga berwarna hijau keunguan bercak putih dan bagian atas berwarna jingga bercak putih. Tinggi seludang bunga sekitar 20 - 28 cm dengan diameter 6 - 8 cm, putik porang berwarna merah hati. Bagian bunga betina memiliki tinggi 6 - 9 cm dihitung dari tongkol dan memiliki diameter 2 - 4 cm. Benang sari terletak di atas putik serta terdiri dari dua jenis benang sari yaitu benang sari fertil berwarna hijau di bagian bawah dan benang sari steril berwarna kuning kecoklatan di bagian atas. Bagian bunga jantan memiliki tinggi 6 – 7,5 cm dari tongkol dan memiliki diameter 2 - 3 cm. Tangkai bunga memiliki tinggi 24 - 45 cm dari permukaan umbi, berdiameter 16,5 - 28 mm, memiliki permukaan yang licin (Sumarwoto, 2005) dan berwarna hijau muda sampai hijau tua bercak putih (Ambarwati & Murti, 2001).

2.1.5 Buah

Buah porang memiliki tipe buah berdaging dan majemuk dengan warna hijau waktu muda, kuning kehijauan mulai tua dan oranye - merah waktu tua (Gambar 1 I). Tandan buah berbentuk lonjong meruncing ke pangkal dengan diameter 40 - 80 mm dan tinggi 10 - 22 cm. Buah yang dihasilkan dapat mencapai 100 - 450 butir dan rata - rata menghasilkan 300 butir per tongkol buah. Buah berbentuk oval dengan diameter 8 - 15,5 mm dan panjang sekitar 10 - 18 mm. Tiap buah terdapat sekitar dua sampai empat lembaga (biji atau *ovule*) dengan masa dorman satu sampai dua bulan. Umur buah masak sekitar delapan sampai sembilan bulan dari mulai pembungaan (Sumarwoto, 2005).

2.2 Oksalat

Oksalat atau asam etadionat memiliki rumus kimia $H_2C_2O_4$ (HOOC-COOH) dan merupakan asam organik kuat. Oksalat merupakan asam dikarboksilat yang terdiri dari dua atom C pada masing - masing molekul sehingga dua gugus karboksilat terletak berdampingan. Hal ini menyebabkan konstanta disosiasi oksalat lebih besar dibanding asam - asam organik lainnya dan lebih kuat dibandingkan senyawa homolognya dengan rantai atom C lebih panjang. Media dengan asam kuat ($pH < 2$) menyebabkan asam oksalat yang terionisasi menjadi menurun. Bagian anionnya merupakan agen pereduktor. Oksalat dibagi menjadi dua jenis yaitu oksalat terlarut dan tidak terlarut (Liebman, 2002).

Oksalat yang larut dalam air atau oksalat terlarut dihasilkan dari pengikatan oksalat pada logam alkali atau mineral seperti ammonium dan thallium yang dapat larut dalam air. Contoh dari oksalat terlarut adalah $Li_2C_2O_4$, $Na_2C_2O_4$, $K_2C_2O_4$, $Rb_2C_2O_4$, $Cs_2C_2O_4$, MgC_2O_4 , $(NH_4)_2C_2O_4$ dan $H_2C_2O_4$. Kelarutan oksalat murni dalam air adalah 8 % pada 10 °C dan apabila telah berikatan dengan logam alkali membentuk garam netral maka kelarutan dalam air sekitar 5 - 25 %. Fungsi dari oksalat terlarut adalah sebagai aktivator enzim metabolisme dan meregulasi keseimbangan ion sel tanaman (Liebman, 2002).

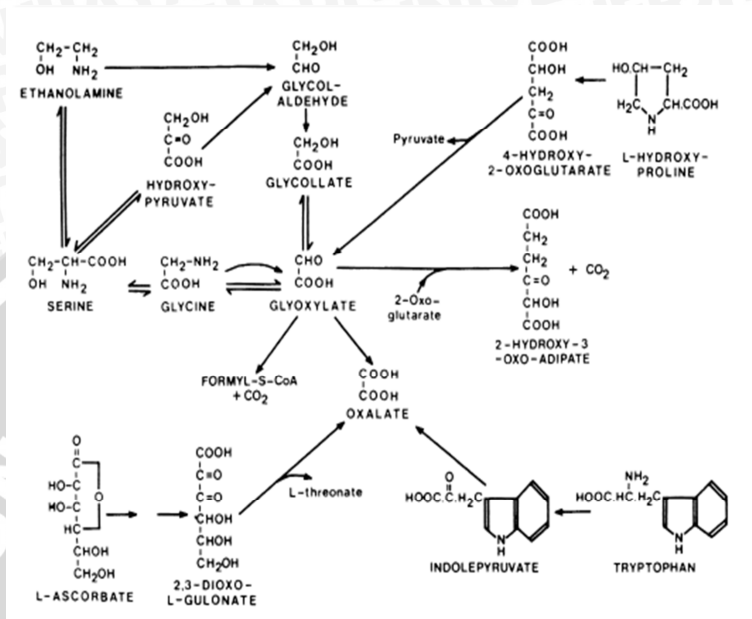
Oksalat yang tidak larut dalam air atau oksalat tidak terlarut dihasilkan dari persenyawaan kalsium dengan asam oksalat.

Persenyawaan ini menghasilkan suatu zat ergastik dalam bentuk kristal. Kristal kalsium oksalat merupakan jenis kristal yang paling umum ditemui pada tanaman tingkat tinggi. Manfaat keberadaan kalsium oksalat dalam sel tumbuhan adalah pengikat racun oksalat, meregulasi kelebihan atau kekurangan kalsium (Ilarslan dkk., 2001), sebagai pertahanan diri terhadap herbivor (Franceschi & Nakata, 2005), dan lain - lain. Efek pengkonsumsian kalsium oksalat dapat mengakibatkan pengendapan kalsium oksalat pada ginjal dan membentuk batu ginjal (Holloway dkk., 1988).

2.3 Biosintesis Oksalat

Oksalat merupakan asam kuat yang disintesis melalui beberapa jalur biokimia yang berbeda seperti jalur glioksilat, siklus Krebs, dan perombakan triptophan (Gambar 2). Prekursor yang berperan dalam sintesis oksalat adalah glioksilat dan L-askorbat. Glioksilat memiliki gugus aldehida dan asam karboksilat. Alkil ester glioksilat 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. Selain glioksisom yang berperan dalam sintesis glioksilat adalah peroksisom. Peroksisom akan memperoleh glikolat yang mengalami fosforilasi hasil dari aktivitas RUBISCO pada kloroplas. Selanjutnya glikolat akan dioksidasi menjadi glikosilat dan ditransaminasi menghasilkan glisin dan oksalat.

Tumbuhan akan menyimpan kalsium oksalat sebagai mekanisme pertahanan sekaligus untuk mengurangi bahaya dari asam oksalat yang bersifat asam kuat sehingga tidak akan membahayakan sel tanaman. Kalsium yang akan berikatan dengan oksalat diambil dari saluran xilem yang didistribusikan antar sel melalui jalur apoplas. Dalam idioblas, kalsium yang diterima akan dikumpulkan melalui aktifitas dari pemompaan. Kalsium dan oksalat akan ditransfer ke vakuola (Franceschi & Nakata, 2005).



(Hodgkinson, 1977)

Gambar 2. Biosintesis oksalat

2.4 Fase Pertumbuhan dan Kandungan Oksalat pada Umbi Porang

Tanaman porang memiliki beberapa periode pertumbuhan. Satu periode pertumbuhan berlangsung 12 - 13 bulan dan dimulai pada musim penghujan ditandai dengan munculnya tunas dari umbi porang yang akan tumbuh selama enam sampai tujuh bulan. Setelah itu tanaman porang akan rebah dan memasuki masa dormansi di musim kemarau selama lima sampai enam bulan. Tanaman porang akan muncul kembali pada musim hujan dengan tangkai daun dan diameter tajuk daun yang lebih besar serta memiliki umbi yang semakin besar (Sumarwoto, 2005). Satu periode 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. Fase awal pertumbuhan ditandai dengan sintesis oksalat yang paling rendah karena pertumbuhan tanaman porang belum optimal

sehingga sintesis oksalat masih belum banyak. Pada fase pertengahan pertumbuhan diketahui kandungan oksalat yang tertinggi. Hal ini disebabkan oleh fotosintesis tanaman porang yang optimal sehingga sintesis oksalat juga semakin tinggi. Pertumbuhan optimal ditandai dari morfologi tanaman porang yang lebih besar sehingga memerlukan banyak oksalat untuk mengatur keseimbangan elektrolit dan aktivitas enzim dalam sel tanaman porang. Pada fase akhir pertumbuhan kandungan oksalat semakin menurun namun tidak serendah pada kandungan oksalat fase awal pertumbuhan. Hal ini diduga oksalat telah digunakan selama pertumbuhan. Selain itu, fase ini akan memasuki masa dormansi sehingga tidak terjadi sintesis oksalat dan aktivitas metabolisme lainnya.

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Kandungan Oksalat Tanaman

Faktor - faktor internal maupun eksternal lain yang mempengaruhi hasil kandungan oksalat pada tanaman antara lain salinitas, kalsium tanah, musim, temperatur, kelembapan tanah, genetik, varietas, bagian tanaman dan tingkat kematangan atau umur panen. Tanaman yang ditanam di tanah dengan salinitas rendah dapat memaksimalkan sintesis prekursor yang digunakan untuk mensintesis oksalat sehingga kandungan oksalat menjadi tinggi. Selain itu adanya unsur klor (Cl) yang terserap tanaman dapat bersaing dengan kation dan menekan sintesis oksalat (Gul dkk., 2000; Singh, 1974).

Unsur kalsium juga berperan penting dalam pembentukan kristal kalsium oksalat. Kandungan oksalat terlarut pada tanaman dapat menurun seiring kandungan oksalat tidak terlarut yang meningkat setelah diberi pupuk Ca dengan dosis tinggi. Unsur Ca tidak berpengaruh pada jalur biosintesis oksalat sehingga diketahui bahwa sebagian oksalat terlarut akan digantikan oleh oksalat tidak terlarut pada saat pupuk Ca diaplikasikan pada tanaman (Rahman & Kawamura, 2011).

Variasi musim dan temperatur juga memiliki dampak yang signifikan terhadap level oksalat pada tanaman. Tanaman tropis umumnya memiliki kandungan oksalat yang lebih tinggi dibandingkan kandungan oksalat pada tanaman yang tumbuh di daerah *temperate* (empat musim) sehingga diduga ada hubungan antara temperatur dan akumulasi oksalat. Hubungan variasi musim

dan temperatur terhadap kandungan oksalat masih diperdebatkan dan diperlukan penelitian lebih lanjut (Rahman & Kawamura, 2011).

Kelembapan tanah dapat mempengaruhi kandungan oksalat terutama kandungan oksalat tidak terlarut beberapa jenis tanaman. Tanaman dari keluarga Amaranthaceae yang ditanam di tanah dengan level kelembapan tinggi akan mengakumulasi oksalat dalam jumlah tinggi pada bagian daun dan ranting. Apabila terdapat stres kelembapan yang menurun drastis maka kandungan oksalat tidak terlarut akan menurun drastis sehingga dapat digunakan sebagai upaya untuk menekan kandungan oksalat total pada musim gugur. Kapasitas pengikatan air oleh tanah juga berpengaruh pada kandungan oksalat total pada umur sekitar empat minggu dan mulai tidak menunjukkan pengaruh pada umur delapan minggu. Kandungan oksalat beberapa jenis tumbuhan lain seperti rumput - rumputan justru tidak terpengaruh oleh kelembapan tanah (Rahman & Kawamura, 2011).

Variasi diurnal diduga juga memiliki pengaruh pada kandungan oksalat pada beberapa jenis tanaman. tanaman yang diambil pada waktu siang dan malam hari menunjukkan kandungan oksalat yang berbeda. Pada sampel tanaman yang diambil pada siang hari ternyata memiliki kandungan oksalat paling rendah dan sampel yang diambil pada malam hari memiliki kandungan oksalat paling tinggi. Namun variasi diurnal tidak mempengaruhi kandungan oksalat pada tanaman *Setaria*. Hal ini diduga karena proses fotorespirasi bukan merupakan prasyarat terjadinya sintesis oksalat tanaman *Setaria* (Rahman & Kawamura, 2011).

Oksalat merupakan produk metabolit sekunder yang dapat ditemui di semua tanaman. Namun setiap tanaman memiliki kandungan oksalat yang berbeda - beda beberapa jenis tanaman pada genus *Halogeton*, *Rumex* dan *Oxalis* memiliki kandungan oksalat yang tinggi. Tanaman dari genus *Setaria*, *Cenchrus* dan *Pennisetum* memiliki kandungan oksalat yang tergolong sedang, sedangkan jenis tanaman lain memiliki kandungan oksalat yang relatif rendah. Beberapa tanaman biasanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Pemberian tanaman secara berlebihan yang mengandung oksalat tinggi sebagai pakan ternak dapat meracuni ternak dan mengakibatkan gagal ginjal pada ternak. Beberapa jenis tanaman yang berpeluang meracuni ternak namun tetap dijadikan pakan ternak adalah *Setaria*, *Halogeton*, *Oxalis*, *Phytolacca*, *Portulaca*,

Chenopodium, *Bassia*, *Sarcobatus*, *Amaranthus*, *Salsola*, *Beta*, *Rheum*, dan lain - lain (Jones dkk., 1970).

Kandungan oksalat juga dapat berbeda antar varietas dalam satu spesies. Perbedaan ini lebih terkait dengan variasi genetik antar individu. Faktor genetik akan memberikan ekspresi fenotip yang berbeda seperti ukuran daun, ukuran sel, tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan lain - lain. Percobaan kandungan oksalat pada berbagai jenis kultivar suatu tanaman dapat dimanfaatkan untuk memilih kultivar tanaman yang memiliki kandungan oksalat paling rendah sehingga meminimalkan bahaya keracunan oksalat pada manusia maupun hewan ternak (Rahman & Kawamura, 2011).

Kandungan oksalat pada berbagai bagian tanaman juga berbeda - beda. Pada sebagian besar tanaman, kandungan oksalat tertinggi terdapat pada bagian daun diikuti dengan bagian batang tanaman. Hal ini dapat dikaitkan dengan mekanisme pertahanan tanaman terhadap herbivora yang lebih memilih memakan bagian daun tanaman dibanding bagian tanaman lain sehingga tanaman akan mengakumulasi oksalat dalam jumlah tinggi pada bagian daun. Bagian tanaman yang memiliki vakuola sel yang besar juga berpotensi untuk menyimpan kristal kalsium oksalat dalam jumlah besar (Rahman & Kawamura, 2011).

Tingkat kematangan atau masa panen juga mempengaruhi kandungan oksalat pada tanaman. Umumnya, tanaman pada masa pertumbuhan memiliki kandungan oksalat yang lebih tinggi dibanding tanaman yang sudah tua (siap dipanen). Pada saat awal masa pertumbuhan, kandungan oksalat tanaman akan meningkat dengan cepat sedangkan pada tanaman tua terjadi penurunan kandungan oksalat. Kandungan oksalat akan mencapai level tertinggi pada masa puncak pertumbuhannya. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan tanaman yang tinggi terhadap oksalat untuk mendukung pertumbuhannya. Selain itu juga proses fotosintesis yang optimal dapat menghasilkan prekursor untuk sintesis oksalat. Masa panen sebaiknya dilakukan pada saat tanaman sudah tua sehingga kandungan oksalat tanaman sudah relatif rendah. Hal ini tentunya juga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang pemilihan masa panen yang tepat untuk mendapatkan tanaman dengan kandungan oksalat terendah pada berbagai masa pertumbuhan tanaman (Rahman & Kawamura, 2011).

Upaya mengurangi kandungan oksalat pada tanaman dapat dilakukan pada masa pasca panen. Upaya sederhana yang dapat dilakukan untuk mengurangi kandungan oksalat adalah dengan cara merebus atau merendam tanaman atau bahan makanan yang mengandung oksalat. Kandungan oksalat pada biji dapat direduksi dengan cara direndam di air dan dikecambahkan. Perendaman akan membuat air masuk ke dalam jaringan tanaman atau biji sehingga konsentrasi oksalat terlarut menjadi sedikit dalam konsentrasi air yang tinggi. Proses perebusan juga dapat menurunkan kandungan oksalat pada bahan makanan manusia (Rahman & Kawamura, 2011).

2.6 Fosfor (P)

Unsur P (fosfor) merupakan salah satu unsur makronutrien yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Kadar unsur P dalam tanaman berkisar 0,1 - 0,4 % lebih rendah dibandingkan dengan kadar unsur N dan K. Unsur P dalam tanaman memiliki fungsi yang penting dalam penyimpanan energi atau menjaga integritas struktural sel. Unsur P merupakan komponen dari gula fosfat, asam nukleat, nukleotida, koenzim, fosfolipid biomembran, dan lain - lain. Asam nukleat merupakan senyawa yang memiliki peran utama dalam hal pewarisan gen dan sifat yang akan berpengaruh pada perkembangan dan pertumbuhan tanaman. Pada membran, unsur P akan berikatan dengan beberapa senyawa membentuk suatu jembatan antara digliserida dan molekul lainnya seperti amina, asam amino atau alkohol, serta membentuk fosfatidilkolin (lesitin) yang akan menjaga integritas membran sel. Selain pembentukan makromolekul asam nukleat dan fosfolipid, unsur P juga digunakan untuk membentuk senyawa penyimpan dan perpindahan energi. Senyawa ATP dan ADP merupakan bentuk senyawa yang umum digunakan organisme untuk penyediaan energi dalam melakukan setiap aktivitas biologis. Energi dalam ATP maupun ADP terletak pada pemecahan pirofosfat yang dilepaskan pada proses fosforilasi. Unsur P juga digunakan untuk membatasi produksi asam sitrat pada tanaman sehingga produksi asam sitrat dapat terkontrol. Apabila asam sitrat terkontrol maka pembentukan asam - asam lainnya yang menghasilkan oksalat juga dapat terkontrol. Unsur P diperlukan dalam proses fotosintesis terutama dalam proses fotofosforilasi serta pembentukan senyawa ribulosa-1,5-bisfosfat. Unsur P juga digunakan sebagai regulator reaksi biokimia melalui fosforilasi yang dapat mengaktivasi atau

inaktivasi protein yang dianggap faktor kunci sinyal transduksi. Tanaman menyerap unsur P dalam bentuk orthofosfat primer dan sekunder (H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-}). Pada tanah yang memiliki pH di atas 7,22 jumlah orthofosfat sekunder lebih banyak dibandingkan dengan orthofosfat primer namun laju penyerapan orthofosfat sekunder oleh tanaman lebih lambat dibandingkan dengan penyerapan orthofosfat primer. Jaringan muda dekat ujung akar tanaman merupakan bagian tanaman yang paling aktif menyerap unsur P. Konsentrasi unsur P relatif tinggi terdapat pada daerah ujung tanaman diikuti oleh akumulasi unsur P yang rendah pada bagian pemanjangan akar (Marschner, 1995).

Fosfat yang diserap tanaman tidak langsung direduksi, namun justru terdapat pada senyawa organik dan anorganik yang teroksidasi. Fosfor dalam bentuk organik berfungsi sebagai penyusun membran sitoplasma (fosfolipid), simpanan dalam biji (fitin), gula fosfat, nukleoprotein, koenzim, dan lain - lain. Ion fosfat dapat diserap tanaman melalui difusi. Ion yang terdapat di permukaan akar akan menuju rongga luar akar melalui difusi maupun melalui aktivitas *carrier* yang akan membawa ion masuk ke rongga dalam akar dengan melibatkan penggunaan energi ATP (Elfiati, 2005). Unsur P dapat membatasi produksi asam sitrat pada siklus Krebs sehingga produksi asam - asam lainnya termasuk asam oksalat dapat terbatas atau menurun (Rahman & Kawamura, 2011).

2.7 Kalium (K)

Unsur K (kalium) merupakan mineral kation valensi satu yang memiliki radius ion terhidrasi 0,331 nm dan energi hidrasi 314 j mol^{-1} . Tanaman membutuhkan penyerapan unsur K yang tinggi untuk mendukung proses metabolisme pada sel tanaman yang ditandai oleh tingginya mobilitas pada tanaman pada semua level dalam individu sel, jaringan serta pembuluh angkut xylem dan floem. Unsur K merupakan mineral kation yang banyak ditemukan pada sitoplasma yang memberikan kontribusi terhadap potensial osmotik dari sel dan jaringan pada tanaman glikofitik (Marschner, 1997)

Unsur K juga diperlukan dalam proses aktivasi enzim. Sekitar 80 % enzim metabolisme memerlukan unsur K sebagai aktivatornya. Enzim yang teraktivasi terkonsentrasi pada bagian jaringan meristem pucuk maupun meristem akar sehingga proses pertumbuhan sel menjadi sangat cepat serta jaringan primer dapat terbentuk. Unsur K

juga berperan dalam transport karbohidrat ke nodul dalam proses sintesis asam amino. Unsur K juga menstimulir tarikan osmotik pada jaringan tanaman sehingga air akan masuk ke dalam akar tanaman. Pengendalian turgor tanaman penting dilakukan untuk menjaga proses metabolik dan fotosintesis. Adanya unsur K dapat mengoptimalkan penggunaan air yang tersedia pada media. Unsur K juga berperan dalam pergerakan stomata yang dikendalikan oleh tekanan turgor sel di sekitar stomata akibat adanya *influx* K. Proses pergerakan stomata berperan dalam pengendalian transpirasi tanaman serta serapan air yang mengandung unsur hara dalam tanah. Pengendalian tarikan osmotik akan mempengaruhi serapan unsur-unsur seperti kalsium untuk masuk ke dalam tanaman sehingga produksi kalsium oksalat dapat terkontrol (Havlin dkk., 1999).

Unsur K juga berperan dalam pembentukan ATP yang berasal dari proses fotosintesis dan respirasi. ATP merupakan sumber energi utama yang digunakan untuk melakukan semua aktivitas fisiologi tanaman. Selain itu, jumlah CO₂ yang terbentuk dalam gula selama proses fotosintesis meningkat akibat meningkatnya kandungan unsur K dalam tanaman. Hal ini berkaitan dengan salah satu fungsi unsur K yang dapat mengoptimalkan respirasi sehingga pengikatan CO₂ oleh tanaman dapat terjadi secara maksimal. Gula yang berasal dari asimilasi CO₂ hasil fotosintesis akan diangkut ke seluruh jaringan tumbuhan. Translokasi gula menggunakan ATP sebagai sumber energi sehingga kebutuhan tanaman terhadap unsur K yang berperan dalam sintesis ATP harus terpenuhi. Gula akan disimpan atau digunakan untuk pertumbuhan tanaman. Unsur K dapat mempengaruhi biosintesis oksalat jika dikaitkan dengan penyediaan energi. Namun hal ini masih diperlukan penelitian lebih lanjut (Havlin dkk., 1999).

2.8 Pengaruh Kalium dan Fosfor Pada Biosintesis Oksalat

Informasi tentang pengaruh unsur P dan K pada biosintesis oksalat masih sangat sedikit. Penelitian Rahman & Kawamura (2011) menunjukkan bahwa kandungan oksalat larut meningkat saat kandungan oksalat tidak larut menurun akibat pemberian unsur K. Penelitian Smith (1978) menunjukkan bahwa kandungan oksalat total pada *Panicum* memiliki korelasi negatif terhadap pemberian unsur K sehingga pemberian unsur K dapat menurunkan kandungan oksalat. 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 unsur P menurunkan produksi asam glioksilat yang juga memproduksi oksalat pada jalur glioksilat. Informasi tentang pengaruh pupuk P pada biosintesis oksalat juga berbeda - beda antar spesies tanaman dan tergantung pada genetik masing - masing tanaman (Rahman & Kawamura, 2011).

2.9 Analisis Secara Kimiawi

Analisis kandungan oksalat dapat dilakukan melalui metode volumetri dan spektrofotometri. Volumetri atau metode titrasi merupakan salah satu metode pengujian atau analisis kuantitatif yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur maupun senyawa dalam suatu larutan yang dapat dilakukan secara cepat, akurat, dan mudah. Titrasi didasarkan pada suatu reaksi yang digambarkan sebagai persamaan (1) :



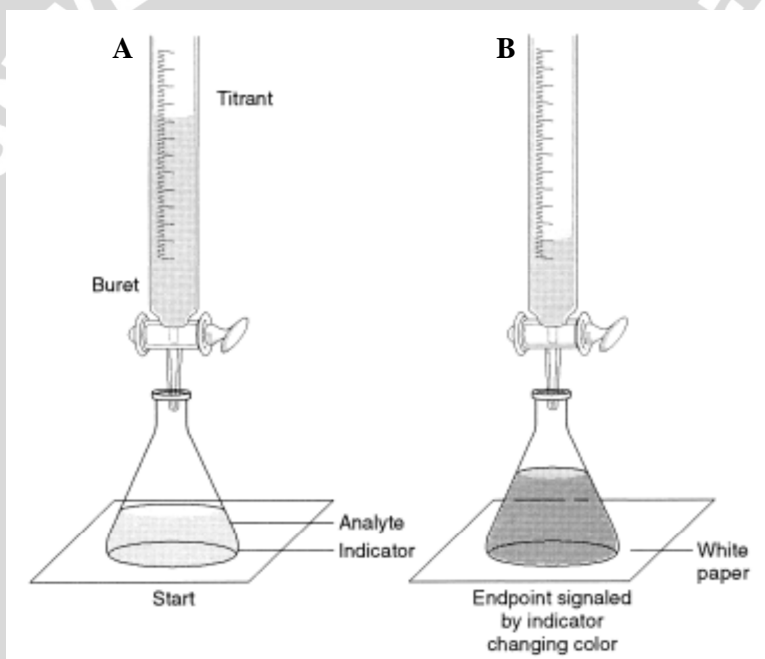
keterangan:

- A : penitrasi (titran)
- B : senyawa yang dititrasi
- A dan b : jumlah mol dari A dan B

Volumetri (titrasi) dilakukan dengan cara mereaksikan larutan standar yang telah diketahui konsentrasinya dalam volume tertentu dari buret yang digunakan untuk bereaksi dengan sempurna larutan yang belum diketahui konsentrasinya (Gambar 3). Untuk mengetahui bahwa reaksi berlangsung sempurna, maka digunakan larutan indikator yang ditambahkan ke dalam larutan yang dititrasi. Larutan standar disebut titran (Wiley, 2009).

Metode titrasi memerlukan beberapa persyaratan yang harus diperhatikan, seperti reaksi harus berlangsung secara stoikiometri dan tidak terjadi reaksi samping, harus berlangsung secara cepat, harus kuantitatif, harus dapat diketahui titik akhirnya dengan tajam (jelas perubahannya) pada titik ekivalennya, dan harus ada indikator, baik langsung atau tidak langsung. Tahap pertama yang harus

dilakukan sebelum melakukan titrasi adalah pembuatan larutan standar. Suatu larutan dapat digunakan sebagai larutan standar bila memenuhi persyaratan seperti mempunyai kemurnian yang tinggi, mempunyai rumus molekul yang pasti, tidak bersifat higroskopis dan mudah ditimbang, larutannya harus bersifat stabil, dan lain - lain. Larutan yang memiliki sifat - sifat ini disebut larutan standar primer sedangkan larutan standar sekunder adalah larutan standar yang bila akan digunakan untuk standardisasi harus distandardisasi lebih dahulu dengan larutan standar primer (Wiley, 2009).



(Wiley, 2009)

Gambar 3. Metode titrasi. Titrant di buret untuk dicampurkan di senyawa yang dititrasi (A) dan perubahan warna oleh indikator saat reaksi berjalan sempurna (B)

Spektrofotometri merupakan suatu metode analisa yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu

lajur larutan berwarna pada panjang gelombang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dengan detektor fototube. Spektrofotometri menggunakan alat yang disebut spektrofotometer yaitu alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Absorbansi radiasi oleh suatu sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan dialirkan oleh suatu percam untuk menghasilkan spektrum tertentu yang khas untuk komponen yang berbeda. Spektrum serapan dapat diperoleh dengan menggunakan sampel dalam berbagai bentuk gas, lapisan tipis cairan, larutan dalam berbagai pelarut, dan bahkan zat padat. Prinsip kerja spektrofotometri berdasarkan hukum Lambert Beer, bila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagian lagi dipancarkan (Bredy, 1999).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan September 2012 sampai Juni 2013 di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Kultur Jaringan, dan Mikroteknik Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang dipakai menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial 4x4 dengan ulangan tiga kali. Bahan yang digunakan adalah umbi porang dengan berat rata - rata sekitar 100 g atau berumur satu tahun dari Desa Sumberbendo, Kesatuan Pemangku Hutan Saradan, Kabupaten Madiun yang ditumbuhkan selama empat bulan dalam media tanam tanah yang diberi perlakuan kombinasi pupuk P dan K dalam polibag ukuran 20 x 40 x 40 cm³. Pemberian pupuk P dan K mengacu pada rekomendasi Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Konsentrasi pupuk P dan K yang diberikan masing – masing adalah 0; 2,16; 4,32; dan 6,36 ^g/₁₂ kg tanah tanah. Penyiraman dilakukan dua hari sekali dengan air.

3.3 Analisis Kandungan Oksalat Terlarut

Kandungan oksalat terlarut dalam umbi porang hasil perlakuan dengan pemberian pupuk P dan K dianalisis secara volumetri (AOAC, 1984). Umbi porang yang telah dikupas dan diparut, ditimbang sebanyak 25 g. Parutan kemudian dilarutkan dalam 100 mL air panas, dikocok selama 15 menit dan disaring dengan kertas Whatman no.1 sehingga didapat filtrat. Filtrat ditambahkan dengan H₂SO₄ 4 N sebanyak 10 mL dan dititrasi dengan KMnO₄ 0,0892 N. Proses titrasi dapat dihentikan apabila larutan telah berubah warna menjadi merah muda. Kemudian dicatat volume KMnO₄ yang digunakan dan dikonversi nilai titrasi menjadi nilai kandungan oksalat terlarut dengan rumus:

$$\frac{\text{Volume Titrasi(ml)} \times \text{Konsentrasi KMnO}_4 \text{ (N)} \times \text{BE Oksalat} \times 1000}{\text{Berat Sampel (g)}}$$

Keterangan:

Konsentrasi $\text{KMnO}_4 = 0,0892 \text{ N}$

Berat Ekuivalen Oksalat = 45

3.4 Analisis Kandungan Oksalat Tidak Terlarut

Analisis kandungan asam oksalat tidak terlarut pada umbi hasil perlakuan dengan pemberian pupuk P dan K menggunakan metode spektrofotometri (AOAC, 1984). Umbi porang yang telah dikupas dan diparut, ditimbang sebanyak 5 g. Setelah itu dilakukan pengabuan dalam *furnace* dengan suhu 600 - 800 °C selama 30 menit dan didinginkan selama tiga jam. Hasil pengabuan ditambah dengan HNO_3 : aquades (1:1) sebanyak 10 mL. Kemudian dipanaskan hingga volume menjadi 5 mL. Campuran disaring pada labu ukur 25 mL sehingga didapat filtrat. Filtrat hasil penyaringan ditambah aquades hingga batas labu ukur. Sampel dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Nilai kandungan Ca hasil AAS dikonversi menjadi nilai kandungan oksalat tidak terlarut dengan rumus :

$$\frac{\text{ppm Ca } (\mu\text{g/ml}) \times \text{Berat Molekul CaC}_2\text{O}_4 \times \text{Volume Pelarut (ml)}}{\text{Berat Sampel (g)} \times \text{Berat Molekul Ca}}$$

Keterangan:

Berat Molekul $\text{CaC}_2\text{O}_4 = 128$

Volume Pelarut = 25 ml

Berat Molekul Ca = 40

3.5 Analisis data

Data kuantitatif hasil volumetri dan spektrofotometri dianalisis dengan menggunakan program SPSS *for windows release 16*. Analisis statistik kandungan oksalat terlarut dan tidak terlarut menggunakan ANOVA (uji F). Apabila terdapat beda nyata antar perlakuan maka dilanjutkan dengan menggunakan uji Tukey dengan $\alpha = 5 \%$.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kandungan Oksalat Terlarut, Tidak Terlarut, dan Total Umbi Porang Hasil Penanaman dengan Perlakuan Pupuk P dan K

Kombinasi pupuk P dan K serta pupuk P tunggal tidak mempengaruhi kandungan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total pada umbi porang. Pupuk K tunggal mempengaruhi kandungan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total pada umbi porang. Pemberian pupuk K tunggal dosis $2,16 \text{ g}/_{12} \text{ kg tanah}$ cenderung menurunkan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total secara nyata yaitu masing - masing $271,61 \pm 56,61 \text{ ppm}$, $93,61 \pm 47,87 \text{ ppm}$, dan $365,22 \pm 93,25 \text{ ppm}$, sedangkan pemberian pupuk K tunggal dosis $4,32 \text{ g}/_{12} \text{ kg tanah}$ cenderung meningkatkan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total secara nyata yaitu masing - masing $394,23 \pm 51,52 \text{ ppm}$, $162,58 \pm 54,45 \text{ ppm}$, dan $556,81 \pm 115,35 \text{ ppm}$. Peningkatan kandungan oksalat yang dihasilkan pada pemberian K tunggal $4,32 \text{ g}/_{12} \text{ kg tanah}$ tidak berbeda nyata dengan kandungan oksalat yang dihasilkan tanaman kontrol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa untuk menurunkan kandungan oksalat umbi porang maka dapat dilakukan dengan pemberian pupuk K dengan dosis $2,16 \text{ g}/_{12} \text{ kg tanah}$ (Gambar 4).

Faktor - faktor yang mempengaruhi kandungan oksalat adalah faktor eksternal (faktor dari lingkungan) dan internal (faktor dari tanaman). Faktor eksternal antar individu yang diduga mempengaruhi hasil ini adalah kelembapan atau kadar air di dalam tanah maupun di sekeliling tanaman, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi hasil fotosintesis tanaman, komposisi tanah dan lain - lain. Faktor internal yang mempengaruhi lebih pada faktor genetik antar individunya yang mempengaruhi fisiologi tanaman (Rahman & Kawamura, 2011).

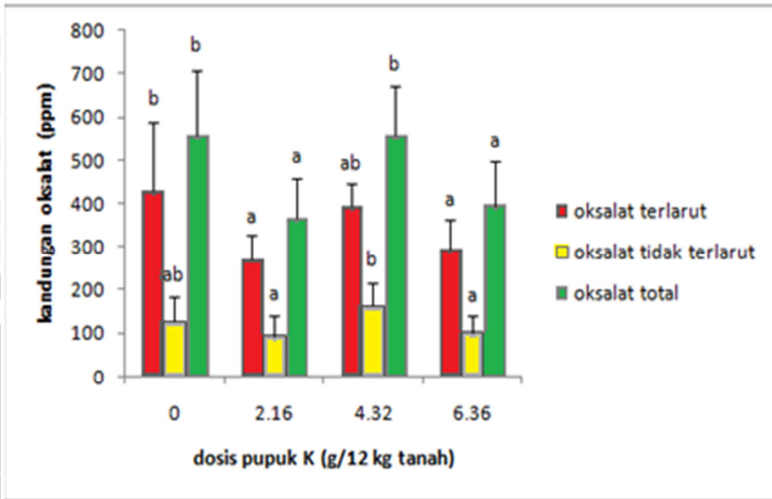
Hasil menunjukkan pola pengaruh yang sama antara kandungan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total. Apabila dibandingkan dengan jenis tanaman monokotil lain pada jenis rumput - rumputan (*Pennisetum purpureum*), kandungan oksalat terlarut meningkat sedangkan kandungan oksalat tidak terlarut menurun seiring dengan peningkatan dosis pupuk K yang diberikan (Rahman & Kawamura, 2011). Hal ini ternyata tidak berlaku pada kandungan oksalat

porang. Kandungan oksalat terlarut dan tidak terlarut porang memiliki pola atau *trend* sama yang berarti apabila kandungan oksalat terlarut tinggi maka kandungan oksalat tidak terlarut juga tinggi. Hal ini diduga karena adanya kesinambungan antara oksalat terlarut dan oksalat tidak terlarut pada porang. Oksalat tidak terlarut merupakan hasil dari pengikatan kalsium oleh sebagian dari oksalat terlarut (asam oksalat) sehingga membentuk kalsium oksalat (Franseschi & Nakata, 2005). Pernyataan tersebut membuktikan bahwa jumlah oksalat tidak terlarut ditentukan oleh jumlah oksalat terlarut. Apabila kandungan oksalat terlarut sedikit maka kandungan oksalat tidak terlarut juga sedikit.

Kandungan oksalat tidak terlarut lebih rendah dibanding oksalat terlarut. Kandungan oksalat terlarut berkontribusi lebih dari 50 % pada kandungan oksalat total tanaman porang. Hal ini menunjukkan bahwa pada fase pertengahan pertumbuhan, oksalat belum banyak berikatan dengan kalsium dan disimpan dalam vakuola sehingga kandungan oksalat terlarut lebih banyak dibanding kandungan oksalat tidak terlarut (kalsium oksalat). Selain itu, pada fase ini diduga vakuola umbi tanaman porang masih belum mencapai ukuran maksimal. Pembentukan kalsium oksalat sudah terjadi pada saat fase awal pembentukan daun dan diferensiasi jaringan tanaman. Idioblas kalsium umumnya terpisah secara teratur dan terdapat penambahan kalsium oksalat yang secara berkelanjutan terbentuk seiring dengan berkembangnya atau bertambah besarnya ukuran jaringan. Sel yang masih sangat muda dan aktif membelah masih sedikit menyimpan unsur kalsium intraseluler dalam vakuola. Pembentukan idioblas pada jaringan tanaman dapat meminimalisir level kalsium pada sel berdekatan yang dapat mengakibatkan dampak yang sangat berbahaya pada regulasi biokimia tanaman, proses seluler, dan jalur transduksi. Kalsium intraseluler akan diikat oksalat membentuk kalsium oksalat. Tujuan dari pengikatan kalsium oleh sebagian oksalat adalah mengurangi bahaya dari oksalat yang merupakan salah satu asam kuat sehingga dapat mengurangi kerusakan sel tanaman. Vakuola pada sel dewasa memiliki ukuran besar dan dapat dijadikan sebagai penyimpanan kalsium oksalat yang berasal dari saluran xilem dan dikumpulkan melalui aktivitas dari pemompaan (Franseschi & Nakata, 2005).

Kandungan oksalat terlarut dan tidak terlarut pada tanaman porang berumur sekitar empat bulan tergolong tinggi dibanding

dengan fase awal pertumbuhan (satu sampai dua bulan) dan fase akhir pertumbuhan (lima sampai enam bulan). Kandungan oksalat pada porang yang terendah adalah pada fase awal pertumbuhan sedangkan pada fase akhir pertumbuhan kandungan oksalat cenderung menurun dibanding kandungan oksalat pada fase pertengahan pertumbuhan namun masih tergolong tinggi dibanding fase awal pertumbuhan (Saputra, 2009). Kandungan oksalat pada fase pertengahan pertumbuhan yang relatif tinggi diduga karena tanaman porang mengalami pertumbuhan optimal yang ditunjukkan dengan morfologi tanaman porang yaitu bertambah besarnya diameter daun porang dan tingginya tangkai daun porang yang mencapai ukuran maksimal pada umur sekitar 20 minggu sebelum pada akhirnya tanaman porang akan mengalami fase akhir pertumbuhan dan dormansi. Pertumbuhan optimal porang juga berdampak pada biosintesis oksalat yang diketahui memiliki hubungan dengan proses fotosintesis dan metabolisme karbohidrat yang terjadi secara maksimal pada fase pertengahan pertumbuhan tanaman porang. Kandungan oksalat akan meningkat seiring dengan fase pertumbuhan tanaman porang yang terjadi fotosintesis paling aktif. Kandungan oksalat bukan merupakan produk primer dari proses fotosintesis. Proses fotosintesis akan mensintesis beberapa prekursor yang akan digunakan untuk mensintesis produk sekunder termasuk beberapa asam organik yaitu oksalat. Oksalat akan disintesis pada beberapa jalur. Prekursor terpenting dalam mensintesis oksalat adalah glioksilat dan asam L-askorbat. Selain itu juga terdapat glukosa, asam asetat, dan beberapa asam lain dari siklus Krebs yang diketahui juga berperan dalam sintesis oksalat pada tanaman. Glikolat, asam isositrat, dan asam oksaloasetat juga diketahui memberikan unsur karbon dalam sintesis oksalat pada tanaman (Caliskan, 2000).



Gambar 4. Kandungan oksalat pada tiap - tiap dosis pupuk K tunggal yang diberikan pada penanaman porang
 Keterangan : huruf yang berbeda pada jenis oksalat yang sama menunjukkan beda nyata berdasarkan uji Tukey ($\alpha = 0,05$). $N = 3 \pm SD$ (*Standard Deviation*)

4.2 Jenis dan Dosis Pupuk yang Berpotensi Menurunkan Kandungan Oksalat pada Umbi Porang

Penambahan pupuk K pada media tanam porang diduga berpengaruh pada sintesis oksalat porang sedangkan penambahan pupuk P pada media tanam porang tidak atau kurang berpengaruh pada sintesis oksalat porang sehingga pemberian pupuk K pada saat penanaman porang berpotensi menurunkan kandungan oksalat total umbi porang. Pupuk K tunggal dengan dosis 2,16 $\frac{g}{12 \text{ kg tanah}}$ mampu menurunkan kandungan oksalat total sebanyak 34,4 % dan dosis pupuk K tunggal 6,36 $\frac{g}{12 \text{ kg tanah}}$ mampu menurunkan kandungan oksalat total sebanyak 28,7 %. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pemberian dosis pupuk K yang berpotensi menurunkan kandungan oksalat umbi porang adalah dosis 2,16 $\frac{g}{12 \text{ kg tanah}}$.

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; Smith, 1978). Akan tetapi hanya unsur K yang berpengaruh pada kandungan oksalat terlarut, tidak terlarut, dan total umbi porang yang diuji. Hal ini diduga akibat sifat unsur K berupa mineral kation yang dapat terserap pada muatan negatif permukaan partikel tanah inorganik maupun organik. Penyerapan kation pada permukaan partikel tanah menjadikan unsur K tidak mudah hilang saat dialiri air sehingga ketersediaan unsur K terjaga pada tanah dan tetap dapat menyediakan nutrisi bagi tanaman. Unsur P atau ion fosfat dapat berikatan dengan tanah yang mengandung ion besi maupun aluminium karena ion besi dan aluminium yang bermuatan positif memiliki grup hidroksil yang dapat digantikan oleh ion fosfat. Apabila kandungan ion besi dan aluminium dalam tanah tergolong tinggi maka fosfat dapat terikat dengan kuat pada tanah tersebut dan tidak mudah hilang saat dialiri air (Taiz & Zeiger, 2002). Berdasarkan informasi tersebut maka diduga tanah yang digunakan mengandung sedikit ion besi maupun aluminium sehingga unsur P tidak dapat berikatan dengan kuat dengan tanah sehingga mudah larut dan terbawa aliran air sedangkan unsur K tetap terjaga pada tanah tersebut karena dapat berikatan dengan partikel tanah yang digunakan.

Pupuk K diduga mempengaruhi akumulasi berbagai macam anion organik dan kontribusi relatifnya untuk menjaga keseimbangan ion. Tanaman yang tidak diberi pupuk K akan memiliki kandungan asam malat dan sitrat yang tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi pupuk K. Biosintesis oksalat pada tanaman dapat dihambat oleh unsur K. Variasi konsentrasi anion organik ternyata memberi hasil secara parsial pada proses penyeimbangan ion sebagai nutrisi anorganik. Penambahan pupuk K akan memberikan hasil yang nyata apabila media yang digunakan mengandung sedikit unsur nitrogen. Variasi penggunaan anion organik antar spesies tanaman menjadi faktor khusus yang berpengaruh pada keberhasilan penggunaan pupuk K untuk mereduksi kandungan oksalat tanaman. Anion organik yang dimaksud adalah malat, sitrat, oksalat, dan lain - lain. Malat merupakan salah satu anion organik yang paling berperan penting dalam proses metabolisme sel tanaman serta diketahui mempengaruhi proses sintesis maupun pemecahan anion organik lain, meregulasi anion organik lain, menjadi faktor pengontrol jalur metabolisme, dan mengatur mekanisme pergerakan ion - ion dalam maupun luar tempat akumulasi. Apabila tanaman diberi pupuk

K maka kandungan malat akan berkurang sehingga akan terjadi gangguan atau penurunan fungsi metabolisme pada sel tanaman termasuk terjadi penurunan produksi oksalat (Smith, 1978).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kombinasi pupuk P dan K serta pupuk P secara tunggal tidak mempengaruhi kandungan oksalat terlarut, oksalat tidak terlarut dan oksalat total pada umbi porang. Pupuk K secara tunggal mempengaruhi kandungan oksalat terlarut, oksalat tidak terlarut dan oksalat total pada umbi porang. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dosis pupuk K yang berpotensi untuk menurunkan kandungan oksalat porang adalah dosis $2,16^{\text{g}}/12 \text{ kg tanah}$ dengan penurunan kandungan oksalat total sebanyak 34,3 %.

5.2 Saran

Sebaiknya dilakukan analisis kandungan tanah sehingga diketahui unsur - unsur tanah yang mempengaruhi daya ikat tanah terhadap pupuk yang diberikan. Ulangan pada penelitian diperbanyak, perlu dilakukan penambahan variasi dosis pupuk P dan K dengan rentang dosis lebih rapat agar diperoleh optimalisasi dosis pupuk P dan K yang menurunkan kandungan oksalat porang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, E. dan R. H. Murti. 2001. Analisis korelasi dan koefisien lintas sifat – sifat agronomi terhadap komposisi kimia umbi iles – iles (*Amorphophallus variabilis*). *Jurnal Ilmu Pertanian*. 8:55 – 61.
- AOAC. 1984. **Official methods of analysis: association of official analytical chemists**. Volume two, fivetenth edition. The Association of Official Analytical Chemists, Inc. Virgiana
- Bredy, J.E.1999. **Kimia universitas asas dan struktur**. Bina Rupa Aksara. Jakarta.
- Caliskan, M. 1996. The metabolism of oxalic acid. *Turk. J. Zool*. 24:103 - 106.
- Elfiati, D. 2005. **Peranan mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan tanaman**. Universitas Sumatra Utara. Sumatra.
- Franceschi, V.R. & P.A. Nakata. 2005. Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual Rev. of Plant Bio*. 56: 41 - 71.
- Gul, B., D. J. Weber & M. A. Khan. 2000. Effect of salinity and planting density on physiological responses of *Allenrolfea occidentalis*. *West. N. Am. Nat*. 60:188 - 197.
- Havlin, J.L., J.D.Beaton, S.L. Tisdale, & W.L. Nelson. 1999. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. Sixth edition. Prentice Hall. New Jersey.
- Hodgkinson, A. 1977. **Oxalic acid in biology and medicine**. Academic Press. London.
- Holloway, W. D., M. E. Argall, W. T. Jealous, J. A. Lee & J. H. Bradbury. 1989. Organic acids and calcium oxalate in tropical root crops. *J. Agr. Food Chem*. 37:337 - 341
- Ilarslan, H., R. G. Palmer & H. T. Horner. 2001. Calcium oxalate crystals in developing seeds of soybean. *Annals of Botany*. 88:243 - 257
- Jones, R. J., A. A. Seawright & D. A. Little. 1970. Oxalate poisoning in animals grazing the tropical grass *Setaria sphacelata*. *J. Aust. Inst. Agric. Sci*. 36:41 - 43.
- Kasno, A., Trustinah, M. Anwari & B. Swasono. 2009. Prospek porang sebagai bahan pangan saat paceklik. <http://balitkabi.litbang.deptan.go.id>. Diakses 15 Maret 2012.

- Kirkman, J.H., A. Basker, A. Surapaneni & A.N. Macgregor. 1994. Potassium in the soils of New Zealand. *New Zealand J. of Agr. Research* 37:207 - 227.
- Liebman, M. 2002. The truth about oxalate. <http://www.theyfoundation.org>. Diakses 25 November 2012.
- Lingga, P., B. Sarwono, F. Rahardi, P.C. Rahardja, J.J. Afriastini, W. Rini & W.H. Apriadji. 1992. **Bertanam ubi - ubian**. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Marshner, H. 1997. **Mineral nutrition of higher plants**. Second edition. Academic Press Harcourt Brace and Company. Tokyo.
- Noonan, S.C., & G.P. Savage. 1999. Oxalic acid content of foods and its effect on human. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 8: 64 - 74.
- Rahman, M.M., & O. Kawamura. 2011. Oxalate accumulation in forage plants: some agronomic, climatic and genetic aspects. *Asian - Aust. J. Animal Sci.* 24(3):439 - 448
- Rignanese, L. 2006. Botanica sistematica. <http://www.homailacus.com>. Diakses 23 Maret 2012.
- Saputra, R.A. 2009. **Kandungan asam oksalat terlarut & tidak terlarut pada umbi dua varian porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) di KPH Saradan, Madiun Jawa Timur pada siklus pertumbuhan ketiga**. Universitas Brawijaya. Malang. Prosiding Seminar Nasional Basic Science.
- Singh, P. P. 1974. Influence of light intensity, fertilizers and salinity on oxalate and mineral concentration of two vegetables (*Chenopodium album* L. and *Chenopodium amaranticolor* L.). *Plant Foods Hum. Nutr.* 24:115 - 125.
- 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. 2005. Iles - iles (*Amorphophallus muelleri* Blume): deskripsi dan sifat - sifat lainnya. *Jurnal Biodiversitas.* 6:185 - 190.
- Taiz, L. & E. Zeiger. 2002. **Plant physiology**. Third edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland Massachusetts.
- Utomo, J., & S. Antarlina. 1997. Kajian sifat fisiko kimia pati umbi - umbian lain selain ubi kayu. Seminar Teknologi Pangan. Malang. Prosiding.
- Wiley. 2009. Volumetri. <http://www.wiley.com>. Diakses 2 April 2012.

Yon, R.M. 1994. Papaya fruit development, postharvest, physiology, handling and market in ASEAN. Asian Food Handling Bureau. Singapore.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Uji statistik oksalat terlarut

Uji normalitas

		SMEAN(ko)
N		48
Normal Parameters ^a	Mean	347.4245
	Std. Deviation	131.25387
Most Extreme Differences	Absolute	.101
	Positive	.101
	Negative	-.086
Kolmogorov-Smirnov Z		.696
Asymp. Sig. (2-tailed)		.717

a. Test distribution is Normal.

Uji Variansi

		Value Label	N
p	1	0	12
	2	2.16	12
	3	4.32	12
	4	6.36	12
k	1	0	12
	2	2.16	12
	3	4.32	12
	4	6.36	12

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: SMEAN(ko)

F	df1	df2	Sig.
1.567	15	32	.140

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + p + k + p * k

Uji ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SMEAN(ko)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	346962.455 ^a	15	23130.830	1.600	.129
Intercept	5793781.948	1	5793781.948	400.665	.000
p	42842.152	3	14280.717	.988	.411
k	209874.202	3	69958.067	4.838	.007
p * k	94246.101	9	10471.789	.724	.683
Error	462733.672	32	14460.427		
Total	6603478.076	48			
Corrected Total	809696.127	47			

a. R Squared = .429 (Adjusted R Squared = .161)

Uji Tukey

k

Multiple Comparisons

SMEAN(ko)
Tukey HSD

(I) k	(J) k	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2.16	157.8840 [*]	49.09248	.015	24.8747	290.8933
	4.32	35.2720	49.09248	.889	-97.7373	168.2812
	6.36	135.1380 [*]	49.09248	.045	2.1287	268.1473
2.16	0	-157.8840 [*]	49.09248	.015	-290.8933	-24.8747
	4.32	-122.6120	49.09248	.079	-255.6213	10.3972
	6.36	-22.7460	49.09248	.966	-155.7553	110.2633
4.32	0	-35.2720	49.09248	.889	-168.2812	97.7373
	2.16	122.6120	49.09248	.079	-10.3972	255.6213
	6.36	99.8660	49.09248	.197	-33.1432	232.8753
6.36	0	-135.1380 [*]	49.09248	.045	-268.1473	-2.1287
	2.16	22.7460	49.09248	.966	-110.2633	155.7553
	4.32	-99.8660	49.09248	.197	-232.8753	33.1432

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 14460.427.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous

SMEAN(ko)

Tukey HSD

k	N	Subset	
		1	2
2.16	12	2.7161E2	
6.36	12	2.9436E2	
4.32	12	3.9423E2	3.9423E2
0	12		4.2950E2
Sig.		.079	.889

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 14460.427.

Lampiran 2. Uji statistik oksalat tidak larut

Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		SMEAN(ko)
N		48
Normal Parameters ^a	Mean	121.2340
	Std. Deviation	59.73462
Most Extreme Differences	Absolute	.073
	Positive	.065
	Negative	-.073
Kolmogorov-Smirnov Z		.505
Asymp. Sig. (2-tailed)		.961

a. Test distribution is Normal.

Uji Variansi

Between-Subjects Factors

	Value Label	N
p	1	12
	2	12
	3	12
	4	12
k	1	12
	2	12
	3	12
	4	12

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: SMEAN(ko)

F	df1	df2	Sig.
1.725	15	32	.096

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + p + k + p * k

Uji ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SMEAN(ko)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	72790.941 ^a	15	4852.729	1.636	.119
Intercept	705489.268	1	705489.268	237.850	.000
p	13844.129	3	4614.710	1.556	.219
k	34436.560	3	11478.853	3.870	.018
p * k	24510.253	9	2723.361	.918	.522
Error	94915.615	32	2966.113		
Total	873195.824	48			
Corrected Total	167706.556	47			

a. R Squared = .434 (Adjusted R Squared = .169)

Uji Tukey

k

Multiple Comparisons

SMEAN(ko)
Tukey HSD

(I) k	(J) k	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2.16	33.0667	22.23403	.457	-27.1734	93.3067
	4.32	-35.9095	22.23403	.385	-96.1495	24.3305
	6.36	24.6000	22.23403	.688	-35.6400	84.8400
2.16	0	-33.0667	22.23403	.457	-93.3067	27.1734
	4.32	-68.9762 [*]	22.23403	.020	-129.2162	-8.7361
	6.36	-8.4667	22.23403	.981	-68.7067	51.7734
4.32	0	35.9095	22.23403	.385	-24.3305	96.1495
	2.16	68.9762 [*]	22.23403	.020	8.7361	129.2162
	6.36	60.5095 [*]	22.23403	.049	.2695	120.7495
6.36	0	-24.6000	22.23403	.688	-84.8400	35.6400
	2.16	8.4667	22.23403	.981	-51.7734	68.7067
	4.32	-60.5095 [*]	22.23403	.049	-120.7495	-2.6695

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 2966.113.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous

SMEAN(ko)

Tukey HSD

k	N	Subset	
		1	2
2.16	12	93.6067	
6.36	12	1.0207E2	
0	12	1.2667E2	1.2667E2
4.32	12		1.6258E2
Sig.		.457	.385

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 2966.113.

Lampiran 3. Uji statistik oksalat total

Uji Normalitas

NPar Tests

[DataSet0]

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ko
N		48
Normal Parameters ^a	Mean	4.6866E2
	Std. Deviation	1.4375E2
Most Extreme Differences	Absolute	.086
	Positive	.086
	Negative	-.049
Kolmogorov-Smirnov Z		.597
Asymp. Sig. (2-tailed)		.868

a. Test distribution is Normal.

Uji Variansi

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
p	1	0	12
	2	2.16	12
	3	4.32	12
	4	6.36	12
k	1	0	12
	2	2.16	12
	3	4.32	12
	4	6.36	12

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: ko			
F	df1	df2	Sig.
1.518	15	32	.157

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + p + k + p * k

Uji ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ko					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	476168.885 ^a	15	31744.592	2.052	.043
Intercept	1.054E7	1	1.054E7	681.439	.000
p	9653.723	3	3217.908	.208	.890
k	376135.925	3	125378.642	8.104	.000
p * k	90379.237	9	10042.137	.649	.747
Error	495082.397	32	15471.325		
Total	1.151E7	48			
Corrected Total	971251.282	47			

a. R Squared = .490 (Adjusted R Squared = .251)

Uji Tukey

k

Multiple Comparisons

ko
Tukey HSD

(I) k	(J) k	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	2.16	190.9504 ^a	50.77947	.004	53.3705	328.5303
	4.32	-.6367	50.77947	1.000	-138.2166	136.9432
	6.36	159.7381 ^a	50.77947	.018	22.1582	297.3181
2.16	0	-190.9504 ^a	50.77947	.004	-328.5303	-53.3705
	4.32	-191.5871 ^a	50.77947	.004	-329.1670	-54.0072
	6.36	-31.2123	50.77947	.927	-168.7922	106.3677
4.32	0	.6367	50.77947	1.000	-136.9432	138.2166
	2.16	191.5871 ^a	50.77947	.004	54.0072	329.1670
	6.36	160.3748 ^a	50.77947	.017	22.7949	297.9548
6.36	0	-159.7381 ^a	50.77947	.018	-297.3181	-22.1582
	2.16	31.2123	50.77947	.927	-106.3677	168.7922
	4.32	-160.3748 ^a	50.77947	.017	-297.9548	-22.7949

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 15471.325.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Homogeneous

ko

Tukey HSD

k	N	Subset	
		1	2
2.16	12	3.6522E2	
6.36	12	3.9643E2	
0	12		5.5617E2
4.32	12		5.5681E2
Sig.		.927	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 15471.325.

Lampiran 4. Denah Penelitian

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&K	P&K	P&K	
6,36;4,32	0,6,36	4,32;0	0-4,32	2,16;4,32	4,32;6,36	4,32;4,32	2,16;6,36	6,36;6,36	2,16;0	0	2,16;0	0	2,16;2,16	6,36;0	0,216	0,216	4,32;2,16	6,36;2,16	
0,6,36	6,36;4,32	2,16;2,16	6,36;0	4,32;0	0-4,32	2,16;4,32	2,16;0	0	6,36;6,36	4,32;2,16	4,32;6,36	6,36;2,16	4,32;6,36	6,36;2,16	4,32;4,32	0,216	4,32;4,32	0,216	2,16;6,36
2,16;6,36	4,32;0	0,6,36	0-4,32	6,36;6,36	6,36;2,16	0,216	4,32;4,32	4,32;6,36	2,16;0	6,36;0	2,16;4,32	2,16;2,16	6,36;4,32	6,36;0	2,16;4,32	6,36;4,32	0,0	4,32;2,16	4,32;2,16

U ←

