



**DINAMIKA KANDUNGAN GLUKOMANNAN DAN KALSIMUM OKSALAT
(CaOx) SERTA KERAPATAN KRISTAL KALSIMUM OKSALAT (CaOx) PADA
UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume)
PERIODE TUMBUH KETIGA**

TESIS

oleh:

NURUL CHAIRIYAH

116090100111001



PROGRAM MAGISTER BIOLOGI

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2014



**DINAMIKA KANDUNGAN GLUKOMANNAN DAN KALSIMUM OKSALAT
(CaOx) SERTA KERAPATAN KRISTAL KALSIMUM OKSALAT (CaOx) PADA
UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume)
PERIODE TUMBUH KETIGA**

TESIS

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

oleh:

NURUL CHAIRIYAH

116090100111001



**PROGRAM MAGISTER BIOLOGI
JURUSAN BIOLOGI**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2014

**HALAMAN PENGESAHAN TESIS****DINAMIKA KANDUNGAN GLUKOMANNAN, KANDUNGAN KALSIMUM OKSALAT (CaOx) DAN KERAPATAN KRISTAL KALSIMUM OKSALAT (CaOx) PADA UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) PERIODE TUMBUH KETIGA****NURUL CHAIRIYAH****116090100111001**

telah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 28 Januari 2014
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains dalam Bidang Biologi

Menyetujui

Pembimbing I

Pembimbing II

Dra. Nunung Harijati, MS., Ph.D

NIP. 19611105 19902 2 001

Ir. Retno Mastuti, M Agr.Sc., D Agr.Sc

NIP. 19650509 199002 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Biologi
Fakultas MIPA Universitas BrawijayaTri Ardyati, M.Agr., Ph.D.

NIP. 19671213 199103 2 001

**SUSUNAN KOMISI PEMBIMBING DAN PENGUJI TESIS**

Judul Tesis:

DINAMIKA KANDUNGAN GLUKOMANNAN, KANDUNGAN KALSIMUM OKSALAT (CaOx) DAN KERAPATAN KRISTAL KALSIMUM OKSALAT (CaOx) PADA UMBI PORANG (*Amorphophallus muelleri* Blume) PERIODE TUMBUH KETIGA

Nama : Nurul Chairiyah

NIM : 116090100111001

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dra. Nunung Harijati, MS., Ph.D.

Anggota : Ir. Retno Mastuti, M Agr. Sc., D Agr. Sc.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Dr. Serafinah Indriyani, M.Si.

Dosen Penguji II : Dr. Ir. Estri Laras Arumingtyas, MSc., St.

Tanggal Ujian : 28 Januari 2014

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 2 dan pasal 70).

Malang, 28 Januari 2014

materai

Nama : Nurul Chairiyah

NIM : 116090100111001



PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis 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.

**RIWAYAT HIDUP**

Nurul Chairiyah, lahir di Sangasanga, 12 Desember 1988, putri dari bapak Sawal dan ibu Djuraidah, lulus dari SMAN 10 Melati Samarinda tahun 2006, menempuh pendidikan Strata I di Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang mulai tahun 2006 dan menyelesaikan studi pada tahun 2011 dengan tugas akhir berjudul “Bentuk Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) Tanaman Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) serta Kerapatan Kristal pada Kondisi Terpapar dan Tidak Terpapar Cahaya Matahari?”. Pengalaman kerja sebagai asisten praktikum Mikroteknik untuk Jurusan Biologi, FMIPA, UB dan asisten praktikum Biologi Dasar untuk Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, FTP, UB pada tahun 2009, serta asisten praktikum Biologi Dasar untuk Jurusan Fisika, FMIPA, UB pada tahun 2012.

Malang, 28 Januari 2014

Penulis

RINGKASAN

Dinamika Kandungan Glukomannan dan Kalsium Oksalat (CaOx) serta Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Periode Tumbuh Ketiga

Nurul Chairiyah, Nunung Harijati, Retno Mastuti

Program Magister Biologi, Jurusan Biologi,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

2014

Waktu panen umbi porang diduga berpengaruh terhadap tinggi rendahnya kandungan glukomannan, kalsium oksalat (CaOx) dan kristal kalsium oksalat (CaOx). Tanaman porang umumnya dipanen pada periode tumbuh ketiga saat tanaman rebah karena diduga pada saat itu glukomannan pada umbi mencapai kandungan tertinggi dibandingkan dengan kandungan glukomannan pada umbi porang sebelum tanaman rebah. Namun tingginya permintaan konsumen terhadap umbi porang menyebabkan pemanenan umbi porang seringkali dilakukan lebih awal yaitu sebelum tanaman porang rebah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: 1) pengaruh waktu panen umbi porang periode tumbuh ketiga terhadap kandungan glukomannan dan kalsium oksalat serta kerapatan kristal CaOx, kerapatan masing-masing bentuk kristal CaOx dan variasi ukuran kristal CaOx, 2) hubungan antara kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang, 3) hubungan antara kandungan CaOx terhadap kerapatan kristal CaOx, 4) Variasi jenis kristal CaOx di ketiga waktu panen dan 5) hubungan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx atau kerapatan kristal CaOx.

Umbi porang pada periode tumbuh kedua, yang berasal dari Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun ditumbuhkan di kebun Biologi hingga akhir fase vegetatif yaitu saat tanaman rebah. Umbi dipanen pada tiga waktu berbeda yaitu 2 minggu sebelum tanaman rebah (R0-1), saat tanaman rebah (R0) dan dua minggu setelah tanaman rebah (R0+1). Pada masing-masing waktu tersebut diukur kandungan glukomannan, kandungan CaOx dan kristal CaOx sebanyak tiga ulangan yang diperoleh dari tiga umbi. Ekstraksi glukomannan diawali dengan menimbang umbi segar seberat 30 g, kemudian umbi diparut, digerus dan ditambah 200 ml larutan aluminium sulfat 30 ppm. Selanjutnya larutan diinkubasi pada suhu 55°C selama 15 menit, diencerkan dengan penambahan 600 ml akuades, disaring dan filtratnya disentrifugasi pada 1500 rpm, suhu 25°C selama 30 menit. Supernatan yang dihasilkan dipresipitasi dengan menggunakan *isopropyl alcohol* 95 % (1:1). Gumpalan glukomannan yang terbentuk disaring, dikeringkan dalam oven pada suhu 45°C selama semalam kemudian ditimbang untuk menentukan kandungan glukomannan per berat kering umbi. Pengukuran kandungan CaOx per berat kering umbi porang dilakukan dengan tiga tahap, yaitu proses *digest*, presipitasi CaOx, dan titrasi permanganat. Kristal CaOx dari irisan umbi tanaman porang yang diperoleh pada waktu panen yang berbeda diamati secara mikroskopis. Irisan umbi dijernihkan dengan metode *clearing* yang telah dimodifikasi. Parameter yang diamati meliputi bentuk, variasi bentuk, dan kerapatan kristal CaOx. Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan ANOVA untuk mengetahui pengaruh waktu panen umbi terhadap kandungan glukomannan dan kandungan CaOx serta kerapatan kristal CaOx. Jika terdapat pengaruh yang nyata maka dilanjutkan dengan Uji Tukey α 0,05. Uji Korelasi Bivariate dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang, hubungan antara kandungan CaOx terhadap kerapatan kristal CaOx dan



hubungan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx atau kerapatan kristal CaOx.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan glukomannan, kandungan CaOx, kerapatan total kristal CaOx cenderung lebih tinggi pada umbi porang yang dipanen saat tanaman rebah, masing-masing sebesar $29,10 \pm 4,57$ g/100 g, $15,98 \pm 0,60$ g/100 g dan 40.020 ± 16.554 kristal/cm². Hal tersebut dikarenakan pada saat tanaman rebah akumulasi kandungan glukomannan, CaOx dan kristal CaOx sudah mencapai optimal dan tidak digunakan lagi untuk proses pertumbuhan. Berdasarkan nilai determinasi hasil uji korelasi diketahui bahwa berat umbi porang dipengaruhi oleh adanya kandungan glukomannan dan CaOx serta kerapatan kristal CaOx, masing-masing sebesar 11 %, 41 % dan 19,6 %. Hal tersebut dikarenakan akumulasi senyawa kimia, yang dihasilkan selama proses metabolisme, pada umbi porang mampu meningkatkan berat umbi. Kerapatan kristal CaOx dipengaruhi oleh adanya kandungan CaOx dan kandungan glukomannan, masing-masing sebesar 33 % dan 24,7 %. Hal tersebut dikarenakan senyawa CaOx merupakan senyawa yang membentuk kristal CaOx sedangkan glukomannan diduga dapat menstimulasi pembentukan dan pertumbuhan kristal CaOx. Kandungan CaOx dipengaruhi oleh adanya kandungan glukomannan sebesar 39 %. Hal tersebut diduga karena glukomannan memicu agregasi CaOx dan meningkatkan konsentrasi ion. Kristal druse, stiloid dan prisma cenderung memiliki kerapatan tertinggi pada umbi yang dipanen saat tanaman rebah, masing-masing sebanyak 1.494 ± 286 , 31.280 ± 17.406 dan 6.256 ± 1.533 kristal/cm², dan kerapatannya menurun bila dipanen setelah tanaman rebah karena adanya penurunan aktivitas metabolisme dan oksidasi senyawa oksalat. Kerapatan kristal rafida justru mengalami peningkatan pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah atau saat dormansi, yaitu sebesar 1.656 ± 368 kristal/cm² diduga karena adanya pengaruh faktor biotik berupa serangan hama dan kapang. Dari hasil pengamatan mikroskopis, variasi bentuk kristal stiloid, prisma druse dan rafida di ketiga umur panen cenderung seragam, masing-masing mempunyai 1, 2, 3 dan 37 variasi. Kristal rafida tunggal panjang dan rafida berkas pendek menunjukkan perbedaan ukuran di ketiga waktu panen sedangkan bentuk yang lain tidak berbeda. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandungan glukomannan, kerapatan kristal CaOx, variasi bentuk dan ukuran dari beberapa kristal CaOx cenderung statis atau tidak dipengaruhi oleh waktu panen. Waktu panen berpengaruh signifikan terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx), ukuran kristal rafida tunggal dan rafida berkas pendek. Peningkatan kandungan glukomannan, CaOx dan kerapatan kristal CaOx dapat meningkatkan berat umbi porang. Peningkatan kandungan CaOx dan glukomannan dapat menyebabkan bertambahnya jumlah kristal CaOx. Peningkatan kandungan glukomannan dapat meningkatkan kandungan CaOx pada umbi porang.

SUMMARY

The Dynamics of Glucomannan and Calcium Oxalate (CaOx) Content, and The Density of Calcium Oxalate (CaOx) Crystals in Porang Corms (*Amorphophallus Muelleri* Blume) in The Third Growing Period

Nurul Chairiyah, Nunung Harijati, Retno Mastuti

Biology Master Program, Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Brawijaya

2014

Harvest time was suspected have effect on the level of glucomannan and calcium oxalate (Coax) content, and calcium oxalate crystals (CaOx) in porang corms. Porang is generally harvested in the third period of growth when the plants shed because, at the time, it was suspected that glucomannan had achieved the highest content in corms compared with the content in the porang corms before the plants shed. However, the high demand for porang corms causes corms are often harvested early i.e. before the porang shed. This research had aims to determine: 1) the effect of harvest time of porang corms in the third growing period on both of glucomannan and CaOx content, and total of CaOx crystals density, each shape of CaOx crystals density, and variations in size of CaOx crystal, 2) the relationship between glucomannan or CaOx content or CaOx crystal density and corms weight, 3) the relationship between CaOx content and CaOx crystal density, 4) Shape variation of CaOx crystals at three different harvest time and 5) the relationship between glucomannan and CaOx content or CaOx crystal density.

The 2nd growing period Porang's corms, which was obtained from the Saradan District, Madiun County, were grown in the garden of Biology Department until the vegetative phase of porang finished. The corms were harvested at three different time i.e. 2 weeks before the plants shed (R0-1), when the plants shed (R0) and two weeks after the plants shed (R0+1). There were three replicates corms for measuring glucomannan content, CaOx content and CaOx crystals at each harvest time. Glucomannan extraction was started by weighing 30 g corms. The corms pieces was grated with coconut grater then it was ground with mortar and pestle and was added aluminum sulfate solution 200 ml, 30 ppm. Furthermore, the solution was incubated at 55 °C for 15 min, diluted 600 ml of distilled water, filtered with fine cloth. The filtrate was centrifuged at 1500 rpm for 30 minutes, 25 °C. The resulted supernatant was precipitated using 95 % isopropyl alcohol (1:1), followed by filtering using Whatmann paper grade 41 to collect coagulated glucomannan. The glucomannan was dried in an oven for overnight at temperature of 45 °C, and glucomannan content was expressed by glucomannan dry weight per corms dry weight. The measurements of CaOx content was conducted in three stages i.e. the digest, CaOx precipitation and permanganate titration. Corms slices were cleared by using a modified clearing method. CaOx crystals were observed under microscope at 100 x or 1000 x magnification. Parameters that observed i.e. shapes of crystals, variations of shapes and CaOx crystal density. Data was analyzed using ANOVA to determine the effect of harvest time of porang corms to the glucomannan and CaOx content, and CaOx crystal density. If significant value (α) was greater than 0.05, the analysis was followed by Tukey test. Bivariate correlation test was conducted to determine the relationship between glucomannan or CaOx content or CaOx crystal density and corms weight, the relationship between CaOx content and CaOx crystal density and also to determine the relationship between glucomannan content and CaOx content or CaOx crystal density.



The results showed that content of glucomannan and CaOx and total density of CaOx crystal tended to be higher in corms harvested when the porang shed compared with glucomannan in corms harvested before and after the porang shed, i.e. 29.10 ± 4.57 g/100 g, 15.98 ± 0.60 g/100 g and $40,020 \pm 16,554$ crystals/cm². It was guessed because the accumulation of glucomannan and CaOx content and CaOx crystal density have achieved the optimal point and no longer used for the growth process. Based on determination value from the results of the correlation test was known that corms weight was influenced by both glucomannan and CaOx content, and also CaOx crystal density, i.e. 11 %, 41 % and 19.6 %. It was guessed because chemical compounds accumulation, that were produced during the metabolism process, could increase corms weight. CaOx crystals density was influenced by CaOx content and glucomannan content, i.e. 33 %, and 24.7 %. It was guessed because CaOx was compound that form CaOx crystal while glucomannan could stimulate the formation and growth of CaOx crystals. 39 % of CaOx content was influenced by glucomannan content. It was guessed because glucomannan could stimulate CaOx aggregation and increased ions concentration. Druse, prisms and styloid crystals tended to have the highest density in corms harvested when the plants shed, i.e. $1,494 \pm 286$, $31,280 \pm 17,406$ and $6,256 \pm 1,533$ crystal/cm², and the density decreased when the corms were harvested at two weeks after plants shed due to decrease in metabolic activity and oxidation of oxalate compound. Raphide crystal had increasing of crystal density in corms harvested at two weeks after plants shed, i.e. $1,656 \pm 368$ crystal/cm². It was suspected because of the influence of biotic factors, e.g. pests and molds. Based on the microscopic observations, Shape variations of stiloid, prism, druse and raphide tended to be similar at the three harvest time. each of them having 1, 2, 3 and 37 variations. Long single raphide and short bundle raphide had different in size of crystal at the three harvest time, while other shapes are not different. The result showed that the content of glucomannan and CaOx and the density of CaOx crystals, variation in shapes and in size of some of CaOx crystals in all three harvest time tended to be statics or not affected by harvest time. Harvest time significantly influenced the content of calcium oxalate (CaOx), the size of long single and short bundle raphide crystals. Increasing of glucomannan content, CaOx content and CaOx crystal density could increase corms weight. Increasing of CaOx content and glucomannan content could lead to the increasing number of CaOx crystals. Increasing of glucomannan content could increase CaOx content in porang corms.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Aalamiin, dengan ungkapan rasa syukur pada Allah Yang Maha Kuasa akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains dalam bidang Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Dra. Nunung Harijati, MS., PhD. selaku Dosen Pembimbing I yang telah mendampingi dan memberi pengarahan serta tambahan ilmu dan saran-saran yang berguna bagi penulis.
2. Ibu Ir. Retno Mastuti, M Agr.Sc., D Agr.Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi pengarahan serta tambahan ilmu dan saran-saran yang berguna bagi penulis.
3. Dr. Serafinah Indriyani, M.Si. dan Dr. Ir. Estri Laras A, M.Sc. St. selaku Dosen Penguji yang telah memberi saran yang bermanfaat demi perbaikan penyusunan tesis.
4. Orang tua penulis, Bapak Sawal dan Ibu Djuraidah, atas segala doa, dukungan, nasehat dan motivasi yang tidak terkira.
5. Kakak-kakak penulis, Neneng Widyastuti, S.E., Yeri Kurniawan, Amd., dr. Sumaryati, Kapten Hadi Subarkah, dr. Bambang Sulistyono atas segala doa, dukungan, nasehat dan motivasi yang tidak terkira.
6. Keponakan penulis, Tegar Akmal Yazid atas segala doa dan dukungan.
7. Paidi, Wahyu Nur Laili Fajri, M.Si., Jehan Ramdhani H., M.Si., Jayarani Fatimah P., M.Si., Savitri Nurlaila, S.Si., Bina Rizky A. dan Rekan-rekan Biologi Universitas Brawijaya angkatan 2006.
8. Seluruh civitas akademik Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
9. Serta berbagai pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini.

Penulisan tesis ini merupakan upaya optimal penulis sebagai sarana terbaik dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadikan karya ini semakin bermanfaat.

Malang, 28 Januari 2014

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	ii
SUSUNAN KOMISI PEMBIMBING DAN PENGUJI TESIS	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Botani Tanaman Porang (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume).....	5
2.1.1 Siklus hidup tanaman porang (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume).....	8
2.1.2 Perkembangan tanaman porang (<i>Amorphophallus muelleri</i> Blume).....	11
2.2 Profil Glukomannan.....	13
2.2.1 Biosintesis glukomannan.....	14
2.2.2 Manfaat glukomannan.....	17
2.3 Profil Senyawa Oksalat.....	18
2.4 Profil Kristal Kalsium Oksalat (CaOx).....	23
2.4.1 Biosintesis kristal kalsium oksalat (caox) pada tumbuhan.....	26
2.4.2 Peran kristal kalsium oksalat (caox) pada tumbuhan.....	29
2.5 Kandungan Glukomannan selama Masa Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman.....	30
2.6 Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) selama Masa Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman.....	31
2.7 Kerangka Konseptual.....	32
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Waktu dan Tempat.....	35
3.2 Kerangka Operasional.....	35
3.3 Penanaman Umbi Porang.....	36
3.4 Rancangan Penelitian dan Pengambilan/ Persiapan Sampel Umbi Porang.....	37
3.5 Ekstraksi dan Analisis Kandungan Glukomannan dari Umbi Porang.....	37
3.6 Ekstraksi dan Analisis Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) dari Umbi Porang.....	37



Porang.....	39
3.7 Pembuatan Preparat Semipermanen.....	41
3.8 Pengamatan dan Perhitungan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Preparat Mikroskopis.....	41
3.9 Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Dinamika Kandungan Glukomannan Umbi Porang (<i>A. muelleri</i>) di Tiga Waktu Panen Periode Tumbuh Ketiga.....	44
4.2 Dinamika Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) Umbi Porang (<i>A. muelleri</i>) di Tiga Waktu Panen pada Periode Tumbuh Ketiga.....	48
4.3 Dinamika Kerapatan Total Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang (<i>A. muelleri</i>) di Tiga Waktu Panen Periode Tumbuh Ketiga.....	51
4.4 Pengaruh Waktu Panen terhadap Kerapatan Masing-masing Bentuk Kristal CaOx pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga.....	54
4.5 Pengaruh Waktu Panen terhadap Variasi Jenis dan Ukuran Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga.....	57
4.6 Pengaruh Waktu Panen terhadap Ukuran Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga.....	64
4.7 Keterkaitan Antara Kandungan Glukomannan, Kalsium Oksalat (CaOx) dan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga.....	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN.....	82



DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Keragaman jenis kristal CaOx pada umbi porang (<i>A. muelleri</i>) di tiga waktu panen yang berbeda.....	57
2	Jenis-jenis kristal <i>druse</i> pada umbi tanaman porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	58
3	Jenis-jenis kristal rafida pada umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	60

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Morfologi tanaman <i>Amorphophallus</i> sp.....	6
2	Fase yang terdapat pada siklus hidup tanaman porang (<i>Amorphophallus muelleri</i>).....	9
3	Pola skematis pertumbuhan pada tanaman porang yang berasal dari bulbil.....	10
4	Morfologi umbi porang (<i>Amorphophallus muelleri</i>).....	12
5	Struktur molekul glukomannan.....	13
6	Biosintesis glukomannan dengan prekursor <i>GDP-D-mannose</i> dan <i>GDP-D- glucose</i>	14
7	Proses pembentukan glukomannan dalam tanaman.....	15
8	Kristal kalsium oksalat bentuk <i>rafida</i> pada <i>A. konjac</i>	23
9	Kristal kalsium oksalat bentuk <i>druse</i> pada <i>A. salmoneus</i>	24
10	Kristal kalsium oksalat bentuk <i>stiloid</i> pada sel-sel <i>ovary Conyza bonariensis</i>	24
11	Kristal kalsium oksalat bentuk butiran pasir (<i>sands</i>) pada daun <i>sugar beet</i>	24
12	Kristal kalsium oksalat bentuk prisma.....	25
13	Proses pembentukan kristal kalsium oksalat (CaOx).....	27
14	Kerangka konsep penelitian.....	34
15	Kerangka operasional penelitian.....	36
16	Morfologi umbi porang yang dipanen pada periode tumbuh ketiga.....	44
17	Kandungan glukomannan pada tiga waktu panen umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	45
18	Hubungan antara kandungan glukomannan dan berat umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	47
19	Kandungan kalsium oksalat (CaOx) di tiga waktu panen pada umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	48
20	Hubungan antara kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan berat umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	50
21	Kerapatan total kristal kalsium oksalat (CaOx) di tiga waktu panen pada umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	51
22	Hubungan kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	53
23	Hubungan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) dan berat umbi porang pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	54
24	Kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang (<i>A. muelleri</i>) periode tumbuh ketiga.....	55
25	Morfologi kristal druse yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	59
26	Morfologi kristal rafida yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	62
27	Kristal prisma segienam yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	63
28	Kristal stiloid yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	64



Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya	Repository Universitas Brawijaya
29	Ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)	66
30	Keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx	67



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Rancangan penelitian dinamika kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (caox) pada umbi porang periode tumbuh ketiga.....	82
2	Standardisasi kalium permanganat (KMnO ₄) 0,1 N.....	83
3	Penentuan tahapan pemanenan umbi porang pada periode tumbuh ketiga.....	84
4	Analisis kandungan glukomannan.....	85
5	Analisis korelasi berat kering umbi porang terhadap kandungan glukomannan.....	86
6	Analisis kandungan kalsium oksalat (CaOx).....	86
7	Analisis korelasi berat umbi porang terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx).....	88
8	Analisis kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx).....	88
9	Analisis korelasi kandungan kandungan kalsium oksalat (caox) terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat (caox).....	89
10	Analisis kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx).....	89
11	Analisis ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx).....	90
12	Analisis ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx).....	91
13	Keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx).....	95



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Glukomannan merupakan senyawa karbohidrat yang tergolong dalam polisakarida. Polisakarida mannan dapat berfungsi sebagai cadangan karbohidrat non pati pada dinding sel tanaman, dinding endosperma, vakuola biji dan cadangan karbohidrat di vakuola pada jaringan vegetatif (Liepman dkk., 2007; Chua, 2011). Glukomannan juga dapat dijumpai pada biji pada tanaman tahunan, pada akar dan umbi pada tanaman tertentu (Hägglund, 2002). Glukomannan sangat baik untuk kesehatan karena dapat digunakan untuk program diet, menurunkan kolesterol dan mencegah penyakit jantung, serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti lemak (Vuksan dkk. 2000; Keithley & Swanson, 2005; Pitojo, 2007; Singh & Shelley, 2007).

Kandungan glukomannan pada umbi *Amorphophallus* dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya yaitu umur tanaman (Sumarwoto, 2005). Hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya umur tanaman, komponen kimia dan kondisi fisiologisnya juga berbeda. Pada tanaman *Amorphophallus konjac* yang diamati dalam satu periode tumbuh telah menunjukkan bahwa semakin tua umur tanaman *konjac* maka kandungan glukomannannya cenderung semakin tinggi (Liu dkk., 1998). Liu dkk. (1998) dan Chua (2011) menyatakan bahwa tanaman *Amorphophallus konjac* pada awal pertumbuhan memiliki kandungan glukomannan yang lebih rendah dibandingkan saat tanaman tersebut mengalami dormansi. Rendahnya kandungan glukomannan karena digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan daun. Setelah pertumbuhan daun mencapai maksimal, glukomannan tidak digunakan untuk proses metabolisme lagi tetapi lebih banyak diakumulasi di bagian umbi hingga tanaman tersebut mencapai fase dormansi kembali. Berdasarkan hasil penelitian Sumarwoto (2005) dan Indriyani (2011) diketahui bahwa rata-rata kandungan glukomannan pada umbi bervariasi di setiap periode tumbuh tanaman porang, dengan rata-rata kandungan glukomannan tertinggi pada umbi porang periode tumbuh ketiga. Namun pada periode tumbuh ketiga, yang umumnya berlangsung selama lebih kurang enam bulan, belum diketahui bagaimana dinamika kandungan glukomannan saat mendekati akhir fase vegetatif, saat tanaman rebah dan pada saat dormansi.

Tanaman porang umumnya dipanen pada periode tumbuh ketiga saat tanaman rebah dan setelah tanaman rebah karena diduga pada saat itu glukomannan pada umbi mencapai

kandungan tertinggi dibandingkan dengan kandungan glukomannan pada umbi porang sebelum tanaman rebah (Komunikasi pribadi, 2009; Komunikasi pribadi, 2013). Namun tingginya permintaan konsumen terhadap umbi porang menyebabkan pemanenan umbi porang seringkali dilakukan lebih awal yaitu sebelum tanaman porang rebah (Komunikasi pribadi, 2013). Waktu panen yang berbeda berpengaruh terhadap akumulasi senyawa kimia pada umbi yang diakibatkan oleh adanya perbedaan metabolisme (Liu dkk., 1998), terutama akumulasi glukomannan, dan kalsium oksalat (CaOx).

Di Indonesia umbi hasil budidaya tanaman porang hanya dimanfaatkan untuk pembuatan *chip* porang yang akan diekspor ke berbagai negara terutama negara-negara di Asia Timur. Pemanfaatan yang terbatas tersebut dikarenakan masih tingginya kadar CaOx pada umbi porang. Kalsium oksalat (CaOx) merupakan senyawa yang dihasilkan dari ikatan antara unsur kalsium (Ca) dengan asam oksalat ($C_2H_2O_4$). Kalsium oksalat yang terakumulasi akan mengendap dan mengalami kristalisasi membentuk kristal CaOx. Kristal CaOx pada tanaman berfungsi sebagai mekanisme pertahanan terhadap hama (Franceschi & Nakata, 2005). Selain itu, kristal CaOx juga dapat merefleksikan cahaya matahari sehingga mencegah terjadinya degradasi kloroplas pada palisade (Kuo dkk., 2007). Namun kristal tersebut dapat mengakibatkan bengkak dan iritasi pada mulut dan tenggorokan apabila dikonsumsi (Franceschi & Nakata, 2005; White & Broadley, 2009).

Kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan jumlah kristal CaOx pada umbi diduga juga mengalami dinamika selama masa perkembangan umbi. Menurut Çaliskan (2000) kandungan oksalat pada tanaman bervariasi berdasarkan umur tanaman, musim, cuaca dan jenis tanah. Pada beberapa tanaman, seperti *rhubarb*, kandungan oksalat cenderung mengalami peningkatan saat tanaman dewasa. Tanaman lainnya, seperti bayam, *sugar beet* dan pisang mengalami peningkatan kandungan oksalat selama tahap awal perkembangan dan menurun pada saat tanaman dewasa atau mengalami pematangan.

Kandungan kalsium oksalat dan jumlah kristal CaOx juga dipengaruhi oleh periode tumbuh. Kandungan CaOx yang terdapat pada tanaman rumput-rumputan yang diamati pada tiga tahap pertumbuhan memiliki kandungan yang berbeda dan mengalami penurunan di tahap pertumbuhan ketiga (Middleton & Barry, 1978). Kandungan oksalat dan kerapatan idioblas kristal kalsium oksalat umbi porang bervariasi pada periode tumbuh yang berbeda (Indriyani, 2011).

Waktu panen yang berbeda diduga berpengaruh terhadap laju metabolisme pada tanaman yang menyebabkan perbedaan akumulasi senyawa kimia yang terdapat pada organ umbi. Menurut Agustina (2004) dalam Lestari (2011) adanya peningkatan proses



metabolisme pada tanaman bawang merah menyebabkan peningkatan akumulasi karbohidrat, protein dan lemak yang pada akhirnya potensi hasil panen dapat lebih meningkat. Proses perkembangan umbi berkaitan erat dengan suplai karbohidrat yang dihasilkan melalui proses fotosintesis. Suplai karbohidrat sangat dibutuhkan sebagai sumber energi sehingga terjadi pembesaran dan pembelahan sel, dan sisanya akan ditimbun dalam bentuk cadangan makanan. Oleh karena itu diduga bahwa akumulasi senyawa kimia pada umbi berpengaruh terhadap variasi berat umbi.

Sampai saat ini pengaruh waktu panen tanaman porang (*Amorphophallus muelleri*) dalam satu periode pertumbuhan terhadap kandungan glukomannan, kandungan CaOx, kerapatan dan variasi kristal CaOx masih belum pernah dilaporkan. Variasi kristal yang diamati pada penelitian ini meliputi variasi jenis dan ukuran kristal CaOx. Oleh karena itu perlu diketahui kandungan glukomannan dan CaOx, serta kerapatan dan variasi kristal CaOx pada tiga waktu panen berbeda yaitu sebelum, saat dan setelah tanaman rebah pada periode tumbuh ketiga. Informasi ini diharapkan bermanfaat bagi petani untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh percepatan waktu panen terhadap kualitas umbi.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang terdapat pada penelitian ini yang menggunakan umbi porang pada periode tumbuh ketiga adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu panen umbi terhadap kandungan glukomannan, kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx?
2. Bagaimana korelasi antara kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang?
3. Bagaimana korelasi antara kandungan CaOx terhadap kerapatan kristal CaOx?
4. Bagaimanakah pengaruh waktu panen umbi porang periode tumbuh ketiga terhadap kerapatan masing-masing bentuk kristal CaOx?
5. Bagaimanakah variasi jenis kristal CaOx pada umbi di ketiga waktu panen yang berbeda?
6. Bagaimanakah pengaruh waktu panen umbi porang terhadap variasi ukuran kristal CaOx?
7. Bagaimana korelasi antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx atau kerapatan kristal CaOx?



1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh waktu panen umbi porang terhadap kandungan glukomannan, CaOx dan kerapatan kristal CaOx.
2. Untuk memperoleh hubungan kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang.
3. Untuk mengetahui hubungan antara kandungan CaOx terhadap kerapatan kristal CaOx.
4. Untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh waktu panen umbi porang periode tumbuh ketiga terhadap kerapatan masing-masing bentuk kristal CaOx.
5. Untuk memberikan penjelasan mengenai variasi jenis kristal CaOx pada umbi di ketiga waktu panen yang berbeda.
6. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh waktu panen umbi porang terhadap variasi ukuran kristal CaOx.
7. Untuk mengetahui keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx atau kerapatan kristal CaOx.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan para petani porang atau praktisi penyedia glukomannan sebagai pertimbangan untuk memanen umbi porang pada waktu yang tepat yaitu ketika mengandung glukomannan tinggi dan kalsium oksalat rendah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)

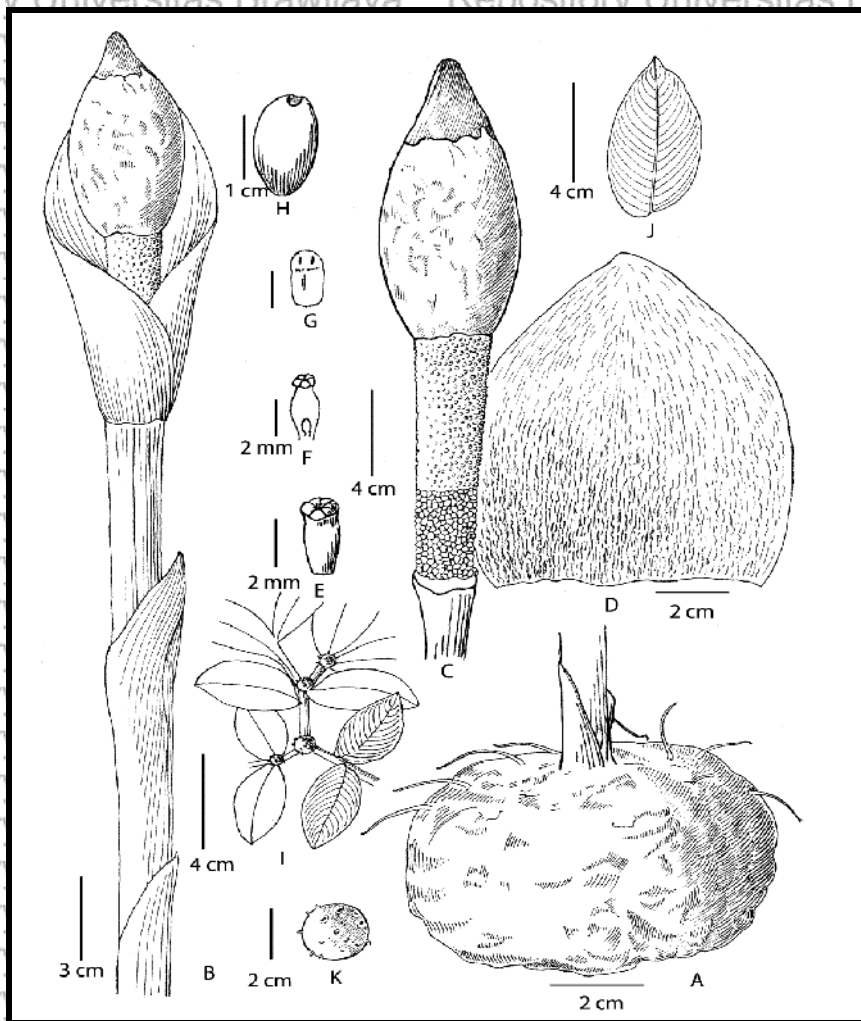
Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume sin. *A. blumei* (Scott.) Engler sin. *A. oncophyllus* Prain) merupakan tanaman berumbi yang termasuk dalam famili Araceae (Yuzammi, 2009; Li & Hetterscheid, 2010). Porang merupakan tumbuhan herba menahun. Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) memiliki habitat yang sama dengan suweg (*Amorphophallus campanulatus*), yaitu di bawah naungan tanaman tahunan, misalnya di bawah naungan jati atau rumpun bambu (Pitojo, 2007). Untuk memperoleh pertumbuhan porang yang lebih baik maka diperlukan kerapatan naungan kurang lebih sebesar 50-60% (Jansen dkk., 1996 dalam Sumarwoto, 2004). Naungan yang ideal untuk tanaman porang adalah dari jenis jati, mahoni, dan sono (Pitojo, 2007). Porang merupakan tumbuhan yang dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, namun porang biasanya memiliki pertumbuhan yang paling baik pada tanah yang gembur/subur serta tidak becek (tergenang air) dengan derajat keasaman tanah antara pH 6-7 pada berbagai jenis tanah. Porang dapat tumbuh pada kisaran ketinggian 100-600 m di atas permukaan laut (dpl) (Pemerintah Kabupaten Bojonegoro, 2009).

Porang memiliki daun tunggal berbagi yang muncul dari umbi dan kemunculan daun tersebut berlangsung selama satu musim saja. Daun porang berwarna hijau muda hingga hijau tua. Daun berbentuk elips dengan ujung daun runcing dan permukaan daun yang halus bergelombang. Daun tersebut terdiri dari tangkai daun (*petiole*) yang vertikal dan helaian daun yang horizontal. Helaian daun tersebut terbagi menjadi beberapa anak daun (Sumarwoto, 2005; Harijati dkk, 2010; Kurniawan dkk., 2011; Hetterscheid & Ittenbach, 2012). Percabangan tangkai daun akan membentuk kanopi yang memiliki diameter yang bervariasi berdasarkan periode tumbuhnya. Pada saat periode tumbuh pertama, diameter kanopi daun berkisar antara $\pm 25-50$ cm. Pada periode tumbuh kedua, diameter kanopi daun berkisar antara $\pm 40-75$ cm. Pada periode tumbuh ketiga, diameter kanopi daun berkisar antara $\pm 50-150$ cm (Sumarwoto, 2005).

Tangkai daun porang umumnya berbentuk silinder dan memiliki struktur yang agak kaku, serta sedikit berlekuk atau sedikit berkerut. Tangkai daun tersebut berwarna hijau muda hingga hijau tua. Pada bagian terluar tangkai daun porang memiliki tekstur yang cenderung lebih halus dibandingkan dengan tanaman walur (*Amorphophallus campanulatus* var. *sylvestris*) dan tidak berbulu, serta memiliki corak putih yang bersegi.



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Tangkai daun lurus menyerupai batang tegak, lunak, kulit tangkai daun halus berwarna hijau muda atau hijau tua/gelap belang-belang (corak) putih. Tangkai daun tunggal memecah di bagian ujung menjadi tiga batang sekunder dan akan memecah lagi secara dikotomis, pecahan tangkai tersebut di umur-umur tertentu langsung mendukung helaian daun. Umumnya pada percabangan tangkai daun akan tumbuh bintil/katak berwarna coklat kehitam-hitaman sebagai alat perkembangbiakan tanaman porang (Gambar 1) (Sumarwoto, 2004; Sumarwoto, 2005; Harijati dkk., 2010; Kurniawan dkk., 2011; Hetterscheid & Ittenbach, 2012).



Li & Dao (2006)

Gambar 1. Morfologi tanaman *Amorphophallus* sp. (A). Umbi (B). Inflorescence (C). Spadix (Tangkai) (D). Spathe (Seludang Perbungaan) (E). Gynoecium (Alat Perkembangbiakan Betina) (F). Gynoecium (Longitudinal Section) (G). Stamen (Benang Sari) (H). Buah (I). Bagian Daun dengan Bulbil (J). Leaflet (K). Bulbil



Bunga porang berbentuk seperti tombak berujung tumpul dengan diameter rata-rata 4-7 cm dan tinggi rata-rata 10-20,5 cm, serta tersusun atas seludang bunga, putik dan benang sari. Bunga tersebut memiliki tangkai, yang bercorak warna putih, seperti tangkai daun tanaman porang. Umumnya bunga porang muncul pada awal musim hujan namun ada pula bunga yang muncul pada akhir musim kemarau. Seludang bunga porang berbentuk segitiga pendek, hampir seperti bulat telur, jika tergulung terlihat seperti lonceng dan berjumlah satu buah. Bagian bawah seludang berwarna hijau kecokelatan dengan corak atau bercak berwarna putih sedangkan bagian atas seludang berwarna merah muda pucat dengan bercak berwarna putih. Tangkai bunga umumnya memiliki ukuran yang lebih panjang atau setara dengan seludang bunga. Tangkai bunga porang umumnya memiliki warna hijau muda hingga hijau tua dengan bercak berwarna putih (Sumarwoto, 2004; Sumarwoto, 2005; Hettterscheid & Ittenbach, 2012).

Perkembangbiakan tanaman porang dapat dilakukan secara generatif maupun vegetatif (Pemerintah Kabupaten Bojonegoro, 2009). Secara umum perkembangbiakan tanaman porang dapat dilakukan melalui berbagai cara, yaitu perkembangbiakan dengan bulbil, perkembangan dengan biji, dan perkembangbiakan dengan umbi (Sumarwoto, 2005).

Bulbil tanaman porang berwarna kuning dan memiliki permukaan yang kasar. Bulbil dapat dijumpai pada percabangan tulang daun dan anak daun. Berat dan diameter bulbil bervariasi berdasarkan berdasarkan umur tanaman dan letaknya di percabangan tangkai daun (Sumarwoto, 2005). Buah yang dihasilkan tanaman porang merupakan buah yang berdaging dan majemuk. Buah tersebut memiliki warna hijau hingga kemerahan. Buah tanaman porang tersusun dalam bentuk tongkol yang berbentuk lonjong meruncing ke arah pangkal. Tanaman porang dapat menghasilkan jumlah buah yang cukup banyak, yaitu 100-450 butir per tongkol buah, dengan diameter tongkol buah yang berkisar antara 40-80 mm dan tinggi tongkol buah yang berkisar antara 10-22 cm. Jumlah biji pada setiap buah berkisar antara 2-4 biji (Sumarwoto, 2004).

Umbi porang memiliki bentuk bulat dan agak lonjong dan berakar serabut. Umbi porang, selain untuk perkembangbiakkan, juga berfungsi sebagai organ penyimpan cadangan makanan. Umbi porang memiliki tekstur permukaan yang kasar. Bagian luar umbi batang berwarna kecokelatan sedangkan bagian dalam umbi berwarna kuning muda (Sumarwoto, 2005; Hettterscheid & Ittenbach, 2012). Bobot umbi batang bervariasi. Variasi tersebut dipengaruhi oleh periode tumbuh tanaman porang tersebut. Pada saat periode tumbuh pertama, bobot umbi berkisar antara 50-200 g. Pada periode tumbuh kedua, bobot



umbi berkisar antara 250-1350 g. Pada periode tumbuh ketiga, bobot umbi berkisar antara 450-3350 g (Sumarwoto, 2005).

Tanaman porang di Indonesia dikenal dengan banyak nama tergantung pada daerah asalnya, misalnya disebut acung atau *acoan oray* (Sunda), *kajrong* (Nganjuk), dan lain-lain (Pitojo, 2007). Berikut ini adalah klasifikasi dari tanaman porang (Govaert, 2003):

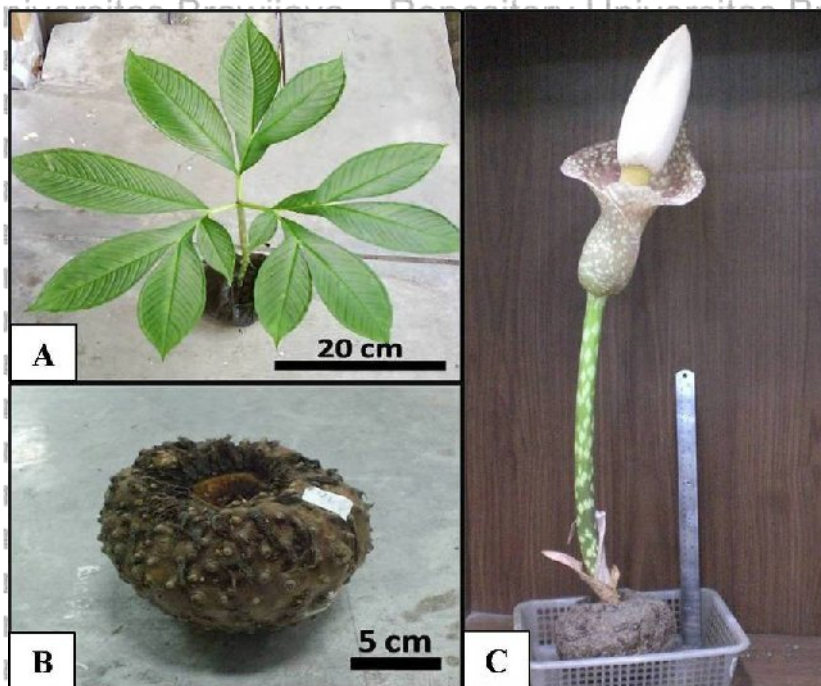
Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Alismatales
Famili	: Araceae
Genus	: <i>Amorphophallus</i>
Spesies	: <i>Amorphophallus muelleri</i> Bl.

2.1.1 Siklus hidup tanaman porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)

Porang memiliki dua siklus hidup, yaitu fase vegetatif dan fase generatif (Sufiani, 1993 dalam Rohmah, 2007). Panjang siklus hidup mulai persemaian sampai dihasilkan tanaman berbuah dan masak, dipengaruhi oleh adanya musim hujan pada saat mulai persemaian atau penanaman (Rohmah, 2007). Menurut Sedayu dkk. (2010), sebagian besar tanaman *Amorphophallus* yang tumbuh di Benua Asia mengalami fase pembungaan dan vegetatif pada waktu yang berbeda. Fase vegetatif dimulai sejak biji, bulbil, atau umbi ditanam hingga muncul daun dan tangkai daun (Gambar 2 A) (Indriyani, 2011). Fase generatif tanaman porang ditandai dengan adanya bunga dan buah (Gambar 2 C) (Rosman dkk., 1994 dalam Rohmah, 2007). Fase dormansi pada porang ditandai dengan terhentinya aktivitas pertumbuhan dan menurunnya aktivitas metabolisme tanaman (Gambar 2 B) (Saputra, 2010). Menjelang awal periode dormansi, daun secara bertahap mengalami senesensi dan selanjutnya tangkai daun terlepas dari umbi (Chua, 2011).

Bibit tanaman *Amorphophallus* mengalami proses perkecambahan pada 3 bulan pertama setelah proses penyemaian (Central Tuber Crops Research Institute, 2010). Berdasarkan hasil penelitian Indriyani (2011), pola pertumbuhan tanaman porang yang dimulai dari biji ataupun bulbil hingga tanaman berbunga memerlukan waktu empat tahun atau empat periode tumbuh. Hal tersebut berbeda dengan pernyataan dari Paidi yang menunjukkan bahwa fase generatif tanaman porang dapat terinisiasi di beberapa periode tumbuh lainnya. Paidi juga mengemukakan bahwa bunga porang dapat muncul pada umbi

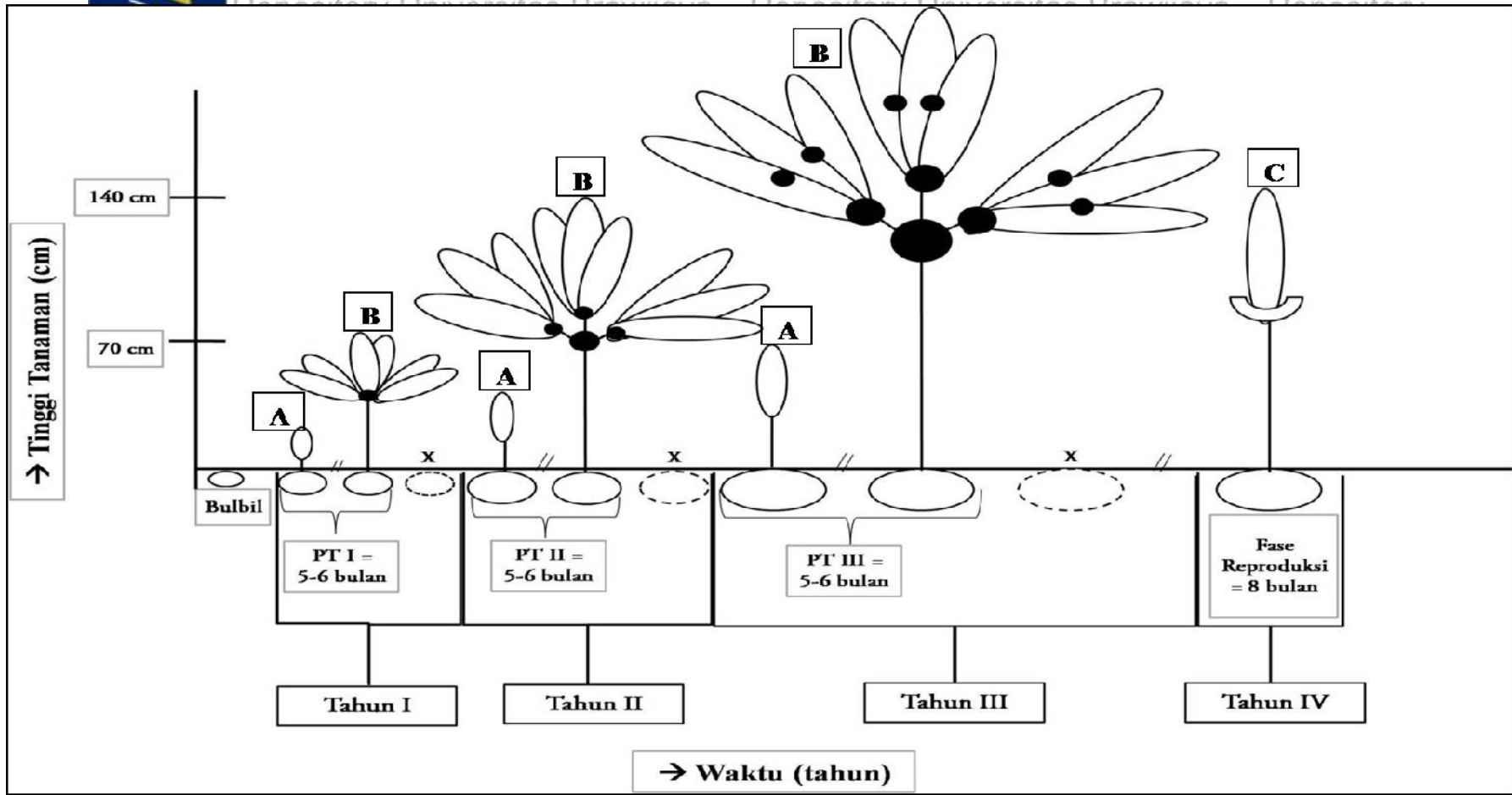
yang dipanen pada periode tumbuh satu, dengan diameter dan ketebalan umbi minimal, ± 6 cm dan ± 4 cm (Komunikasi Pribadi, 2013). Periode tumbuh tanaman porang terdiri dari fase vegetatif dan fase generatif. Setiap fase vegetatif berlangsung selama 5-6 bulan dan fase dormansi berlangsung selama 5-6 bulan sedangkan fase generatif umumnya berlangsung selama ± 8 bulan. Periode tumbuh yang dimaksud adalah siklus hidup yang terjadi pada pola pertumbuhan tanaman porang (Gambar 3).



Koleksi pribadi

Gambar 2. Fase yang terdapat pada siklus hidup tanaman porang (*Amorphophallus muelleri*): (A) fase vegetatif tanaman porang, (B) fase dormansi tanaman porang, (C) fase generatif tanaman porang

Jenis bibit menentukan jumlah periode tumbuh tanaman porang hingga menghasilkan umbi yang siap panen. Bibit yang berasal dari biji memiliki tiga kali periode tumbuh. Jika tanaman porang tersebut ditanam dari bulbil yang berdiameter 1-2 cm, maka periode tumbuh vegetatif dan dormansi akan berlangsung lebih dari dua kali. Tanaman porang yang ditanam dari bulbil berdiameter 3-4 cm akan memiliki periode tumbuh vegetatif dan dormansi yang berlangsung lebih dari satu kali. Apabila tanaman porang ditanam dari umbi yang berdiameter 5-6 cm hanya memiliki satu periode tumbuh vegetatif dan dormansi (Indriyani, 2011).



(Indriyani, 2011)

Gambar 3. Polaskematis pertumbuhan pada tanaman porang yang berasal dari bulbil (Indriyani, 2011). Keterangan: ●= bulbil; X= fase dormansi (5-6 bulan); PT I= periode tumbuh satu; PT II= periode tumbuh dua; PT III= periode tumbuh tiga; A= daun menguncup; B= daun membuka; C= pembungaan



2.1.2 Perkembangan tanaman porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)

Tanaman porang memiliki tahap-tahap perkembangan dengan jangka waktu tertentu dalam satu siklus hidup sebelum proses pemanenan (Sumarwoto, 2004). Tahapan-tahapan perkembangan tersebut meliputi proses penyemaian, pertumbuhan, dan dormansi. Proses dormansi dari umbi tanaman *Amorphophallus* umumnya terjadi setelah tahap pemanenan. Proses dormansi tersebut akan berlangsung selama tiga hingga empat bulan. Setelah itu, umbi *Amorphophallus* akan mengalami proses perkembangan kembali (Ravi dkk., 2009). Suhu minimum yang diperlukan untuk menghentikan fase dormansi, yaitu suhu 14 °C (Liu, 2004 dalam Chua, 2011). Ketika mencapai suhu minimum tersebut, meristem apikal akan teraktivasi dan diikuti oleh kemunculan tunas daun. Perkembangan daun pada tanaman *Amorphophallus* memerlukan waktu 45 hingga 65 hari setelah penanaman. Kecepatan ekspansi daun *Amorphophallus konjac* dipengaruhi oleh suhu, umur dan ukuran umbi (Liu, 2004 dalam Chua, 2011).

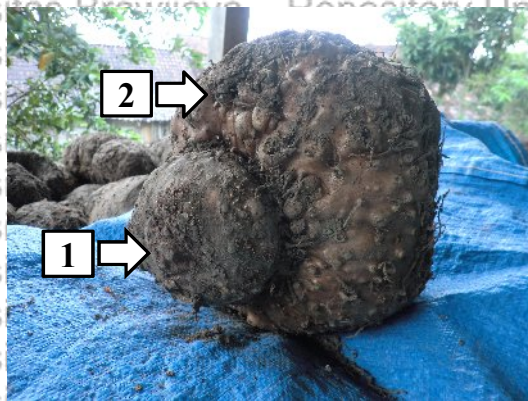
Selama perkembangan daun tanaman *Amorphophallus*, sebuah tunas internal terbentuk di dalam lapisan absisi pada bagian dasar tangkai daun. Tunas internal kemudian berkembang menjadi tunas apikal yang akan membentuk daun pada periode pertumbuhan berikutnya (Liu, 2004 dalam Chua, 2011). Pada tanaman *Amorphophallus konjac* pada periode pertumbuhan ketiga atau keempat, tunas internal tidak terdiferensiasi menjadi tunas daun (Imai & Coleman, 1983 dalam Chua, 2011; Sun dkk., 1995 dalam Chua, 2011; Liu, 2004 dalam Chua, 2011). Pada saat itu, yang terbentuk adalah kuncup bunga untuk membentuk fase generatif (Imai & Coleman, 1983 dalam Chua, 2011; Sun dkk., 1995 dalam Chua, 2011; Liu, 2004 dalam Chua, 2011). Menurut Sun dkk. (1995) dalam Chua (2011), jika tunas bunga apikal telah muncul, maka tunas daun internal tidak akan berkecambah dikarenakan dominansi apikal yang kuat. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa bunga dan daun pada tanaman porang (*Amorphophallus muelleri*) tidak pernah tumbuh secara bersamaan. Namun jika kuncup bunga dipotong sebelum berkembang, maka tunas lateral dapat berkembang menjadi daun pada periode tersebut (Sun dkk., 1995 dalam Chua, 2011).

Selama proses perkembangan daun, terdapat proses transisi *source* dan *sink* pada beberapa umbi Araceae salah satunya yaitu umbi *Amorphophallus* (Robinson dkk., 2000 dalam Chua, 2011; Hamadina, 2012). Proses tersebut berupa perubahan fungsi umbi dari sumber cadangan energi, yang digunakan untuk perkembangan tunas (*source*), menjadi tempat akumulasi hasil dari fotosintesis yang berlebih dari kanopi daun tanaman yang *mature* (*sink*) (Chua, 2011).



Proses transisi tersebut akan membentuk umbi yang baru atau disebut juga dengan umbi anak. Umbi anak tersebut akan terbentuk di antara tangkai daun (*petiole*) dan umbi induk (umbi lama) (Gambar 4). Setelah itu, akar akan muncul dari umbi anak. Umbi anak akan mulai membesar setelah percabangan tangkai daun membentuk kanopi yang sempurna. Namun demikian, umbi induk akan mengalami penurunan berat kering secara bertahap dan akhirnya membusuk dalam waktu tiga bulan setelah tunas yang baru berkecambah dan berkembang, serta umbi anakan menginisiasi pertumbuhan akar yang melimpah pada bagian pangkal tunas yang baru muncul. Setelah umbi anakan diinisiasi pertumbuhannya, umbi tersebut akan terus tumbuh dan membesar selama kelembapan di dalam tanah cukup (Ravi dkk., 2009) dan adanya akumulasi hasil fotosintesis (Chua, 2011).

Wang & Liu (1990) dalam Chua (2011), yang mempelajari pertumbuhan dan perkembangan *Amorphophallus konjac* melalui siklus pertumbuhan vegetatif, mengamati dua bulan setelah penanaman, karbohidrat cadangan, seperti glukomannan dan pati yang terkandung dalam umbi induk (umbi yang ditanam) benar-benar dimetabolisme untuk perkembangan awal tunas dan inisiasi umbi anak yang terbentuk tepat di atas umbi induk yang mengalami degenerasi. Selama tahap awal perkembangan tanaman, berat umbi segar berkurang 1/60 dari total berat segar setiap hari. Setelah helaian daun muncul, umbi induk benar-benar mengalami penyusutan dan biasanya terlepas dari umbi anak.



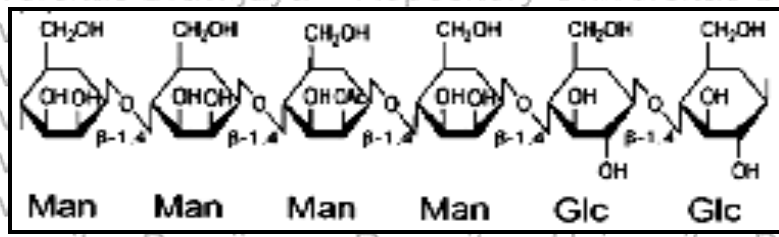
Koleksi pribadi

Gambar 4. Morfologi umbi porang (*Amorphophallus muelleri*). Keterangan: (1). Umbi induk (umbi lama) dan (2). Umbi anak (umbi baru)

Perkembangan akar *Amorphophallus* diinisiasi dari meristem apikal akar yang terletak di bawah tunas apikal umbi induk. Meristem apikal tersebut terdiferensiasi menjadi tudung akar dan prokambium. Tudung akar tersebut nantinya akan memanjang secara horizontal untuk membentuk akar adventif. Akar memanjang secara vertikal ke dalam tanah untuk menyokong umbi agar tetap stabil. Menjelang akhir periode vegetatif, perkembangan kanopi daun telah mencapai maksimal dan pembentukan akar baru secara bertahap menurun. Akar mulai layu dan jaringan inti pusat dalam akar kontraktif spons mulai mengkerut. Umbi anak kemudian tertarik ke dalam tanah, menuju ke kedalaman yang sama sebagai umbi induk pada awal periode tumbuh (Liu, 2004 dalam Chua, 2011).

2.2 Profil Glukomannan

Glukomannan merupakan struktur polisakarida linear yang terdiri dari 1,4- β -linked D-glukosil dan residu D-mannosil dengan rasio kandungan glukosa dan manosa (GLC: Man) yang bervariasi berdasarkan jenis spesies (Gambar 5) (Vaughan, 1963; Keithley & Swanson, 2005; Abhyankar dkk., 2009). Glukomannan merupakan polisakarida cadangan di dinding sel yang terdapat di dalam umbi di beberapa genus tanaman. Pada beberapa tahapan tertentu dalam perkembangan tanaman, glukomannan akan terdegradasi dan berfungsi sebagai sumber energi (Chua, 2011).



Gille dkk (2011)

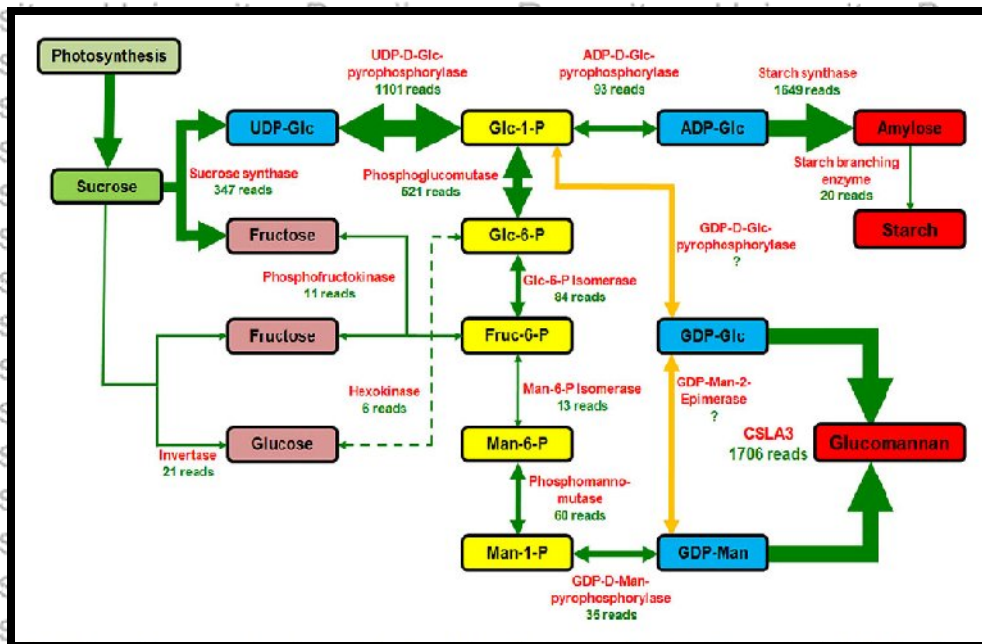
Gambar 5. Struktur molekul glukomannan

Glukomannan merupakan polisakarida yang tergolong ke dalam fraksi hemiselulosa. Glukomannan tersebut dijumpai sebagai komponen material matriks dinding sel yang berasosiasi dengan selulosa dan *xylan* (Piro dkk., 1993). Salah satu tanaman dari famili Araceae yang mampu menghasilkan glukomannan dengan kandungan yang cukup tinggi adalah

tanaman dari genus *Amorphophallus* (Piro dkk., 1993; Plucknett, 1978 dalam Sumarwoto, 2007).

2.2.1 Biosintesis glukomannan

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan oleh Gille dkk. (2011), biosintesis glukomannan memiliki 2 prekursor (Gambar 6), yaitu *GDP-D-mannose* dan *GDP-D-glucose* (Liepman dkk., 2005; Reiter, 2008). Secara teori, terdapat dua jalur biosintesis glukomannan (Gille dkk., 2011). Jalur pertama melalui konversi glukosa-1-fosfat menjadi *GDP-D-glucose* dengan menggunakan enzim *GDP-D-glucose pyrophosphorylase* (Reiter, 2008). *GDP-D-mannose pyrophosphorylase* juga mensintesis *GDP-D-glucose* dari glukosa-1-fosfat dan GTP (Yang dkk., 2005). Jalur biosintesis glukomannan yang kedua melalui konversi *GDP-D-mannosa* menjadi *GDP-D-glucose* dengan menggunakan enzim *GDP-D-mannose-2-epimerase* (Reiter, 2008).

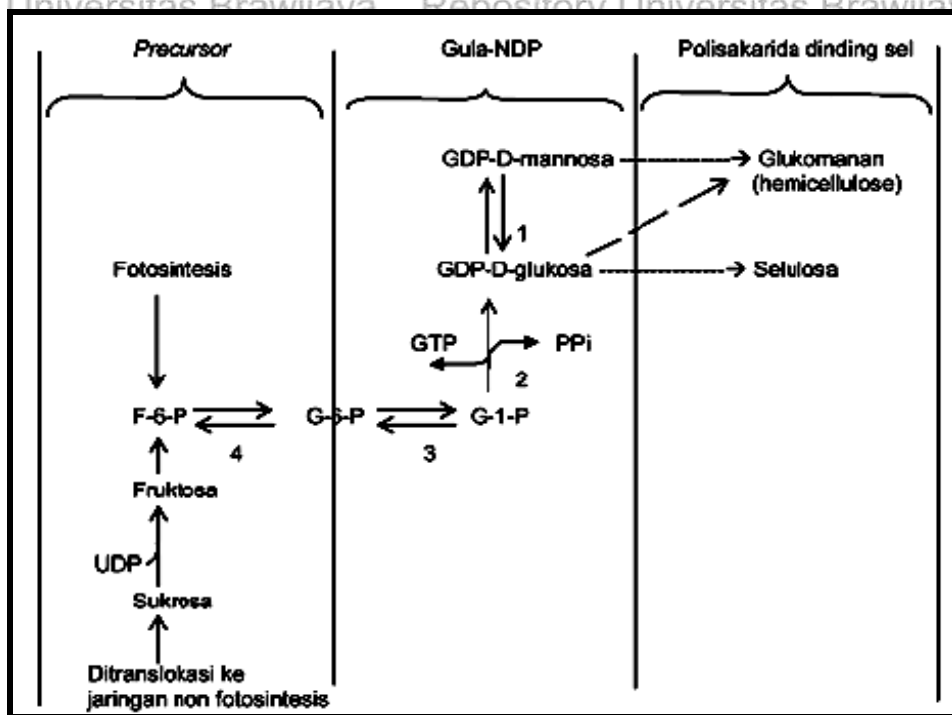


Gille dkk. (2011)

Gambar 6. Biosintesis glukomannan dengan prekursor *GDP-D-mannose* dan *GDP-D-glucose*. Keterangan: UDP-Glc: *UDP-D-glucose*; Glc-1-P: Glukosa-1-fosfat; Glc-6-P: Glukosa-6-fosfat; Fruc-6-P: Fuktosa-6-fosfat; Man-6-P: Mannosa-6-fosfat; Man-1-P: Mannosa-1-fosfat; ADP-Glc: *ADP-D-glucose*; GDP-Glc: *GDP-D-glucose*; GDP-Man: *GDP-D-mannose*; (?): belum teridentifikasi



Selain enzim-enzim yang diuraikan pada paragraf sebelumnya, terdapat pula beberapa enzim yang ikut berperan dalam proses biosintesis glukomannan. Enzim yang berperan dalam biosintesis mannan yang pertama kali diidentifikasi adalah *galactosyltransferase* (Edwards dkk., 1999). Enzim tersebut menyebabkan substitusi rantai utama mannan yang mengakibatkan polimer menjadi lebih terlarut. Pada proses biosintesis tersebut juga melibatkan β -mannan synthase, enzim yang terlibat dalam proses pembentukan rantai utama (Dhugga dkk., 2004). Dari hasil pengamatan *in vitro*, dengan menggunakan tanaman *Arabidopsis thaliana*, diketahui bahwa glukomannan dalam dinding sel disintesis oleh *cellulose synthase-like family A* (CSLA) (Goubet dkk., 2009). Polimer tersebut disintesis dari *activated nucleotide sugar*, yaitu *GDP-D-mannose* dan *GDP-D-glucose* (Gambar 6) (Liepman dkk., 2005).



Sumarwoto (2007)

Gambar 7. Proses pembentukan glukomannan dalam tanaman. Keterangan: 1: GDP mannosa 2-epimerase, 2: GDP-G pirofosforilase, 3: fosfoglukomutase, 4: glukosa 6-fosfat isomerase

Sukrosa dikonversi menjadi fruktosa dan *UDP-D-glucose* menggunakan intervensi, *sucrose synthase*, atau melalui fosforilasi yang diikuti oleh aktivitas dari *sucrosephosphate synthase*



(Winter & Huber 2000). Hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa diikuti oleh fosforilasi monosakarida oleh *hexokinase*. Melalui enzim *phosphofruktokinase*, fruktosa dikonversi menjadi kelompok gula fosfat, glukosa-6-fosfat dan/ atau mannosa-6-fosfat. Melalui aktivitas *UDP-D-glucose pyrophosphorylase*, *UDP-D-glucose* diubah menjadi Glukosa-1-fosfat kemudian diubah menjadi *ADP-D-glucose* yang dimanfaatkan oleh enzim sintesis pati untuk menghasilkan pati. Selain itu, terdapat pula *phosphoglucumutase*, enzim yang diperlukan untuk memindahkan glukosa-1-fosfat dari jalur biosintesis pati menuju ke jalur sintesis *GDP-D-mannose*. Enzim tersebut berfungsi untuk mengkonversi glukosa-6-fosfat melalui beberapa perantara menjadi *GDP-D-mannosa* sedangkan untuk enzim yang mengkonversi glukosa-1-fosfat menjadi *GDP-D-glukosa* masih belum teridentifikasi (Gambar 6) (Gille dkk., 2011).

Biosintesis glukomannan juga dipaparkan oleh Sumarwoto (2007). Glukomannan merupakan polisakarida yang diklasifikasikan sebagai hemiselulosa. Sistem enzim transferase mengkatalisis pembentukan, (1) homo β -1-4 glukan, ketika diinkubasi dengan *GDP-D-mannosa*, (2) β -1-4 glukan ketika diinkubasi dengan *GDP-D-glukosa*, dan (3) pembentukan β -1-4 glukomannan ketika diinkubasi dengan *UDP-D-mannosa* dan *UDP-D-glukosa*. Enzim transferase yang mengkatalisis glukomannan tersebut dapat dijumpai di badan golgi (Sumarwoto, 2007).

Glukomannan pada tumbuhan digunakan sebagai polisakarida cadangan. Seperti yang diungkapkan oleh Goodwin & Mercer (1983) dalam Sumarwoto (2007), bahwa polisakarida cadangan tersebut nantinya akan digunakan jika tanaman telah memasuki masa pertunasan. Pembentukan glukomannan, pada proses metabolisme tanaman, diawali dari pembentukan prekursor selama proses fotosintesis. Prekursor tersebut adalah senyawa fruktosa-6-fosfat dan glukosa-6-fosfat (Gambar 7).

Glukomannan tersusun oleh komponen-komponen utama yang berupa D-glukosa dan D-mannosa. D-glukosa disintesis dari glukosa-1-fosfat yang dikatalisis oleh enzim *GDP-G-pirofosforilase* menjadi *GDP-D-glukosa* dengan melepaskan pirofosfat dan guanisin 5'-trifosfat. *GDP-D-glukosa* kemudian akan dikatalisis oleh enzim *GDP-mannosa 2-epimerase* sehingga menjadi *GDP-D-mannosa* atau sebaliknya. Jika kedua komponen utama ini dikatalisis oleh enzim transferase yang terletak dalam badan golgi, maka akan terbentuk glukomannan. Senyawa-senyawa yang berperan sebagai prekursor komponen utama adalah fruktosa-6-fosfat dan glukosa-6-fosfat yang merupakan hasil fotosintesis melalui siklus Calvin (Goodwin & Mercer, 1983 dalam Sumarwoto, 2007).



2.2.2 Manfaat glukomannan

Glukomannan merupakan struktur polisakarida yang dapat berinteraksi dengan agar, *carrageenan*, dan xanthan sehingga membentuk larutan yang lebih kental atau gel. Interaksi ini dimanfaatkan dalam bidang industri makanan hewan (Zhang dkk., 2005, Chua, 2011). Glukomannan juga memiliki sifat yang dapat mengembang di dalam air hingga mencapai 138-200 % dengan cepat (pada pati hanya mengembang 25 %). Glukomannan yang terlarut dalam air dingin akan membentuk massa yang bersifat kental (Sumarwoto, 2007). Oleh karena itu, glukomannan juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku permen dan jelly (Chua, 2011). Glukomannan dapat membentuk gel yang tahan panas sehingga berpotensi untuk diaplikasikan dalam proses restrukturisasi ikan cincang (Solo-de-Zaldiyar dkk., 2011). Glukomannan juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan biskuit (Masuyama, 1983), sebagai bahan dasar pembuatan mie rendah kalori (Inagami dkk., 1981) dan pasta yang mengandung serat yang tinggi serta rendah kalori (Caramelli, 1992).

Selain itu kegunaan glukomannan juga memiliki kegunaan lainnya, seperti menurunkan kolesterol dan gula darah, menurunkan berat badan, menginduksi aktivitas intestinal dan fungsi usus. Selain itu, polisakarida tersebut dapat dibentuk menjadi berbagai jenis derivat karena aktivitas *biodegradable*-nya (Zhang dkk., 2005). Glukomannan dalam bidang farmasi banyak dimanfaatkan dalam proses pembuatan obat karena sifat *biodegradable* dan kemampuan membentuk *gel* dari polisakarida tersebut. Berdasarkan hasil penelitian dari Wu & Shen (2001) dalam Zhang dkk. (2005), diketahui bahwa kapsul glukomannan *konjac* telah dibuat untuk pasien dengan penyakit perut yang kronis. Satu buah kapsul *gastric-soluble* tersebut dibuat dengan komposisi glukomannan *konjac*, vitamin B6 0,4 % dan *buffer* silikofosfat. Menurut Kumar dkk. (2013), glukomannan secara signifikan dapat menurunkan kandungan glukosa darah dan kandungan lemak sehingga dapat dikatakan glukomannan memiliki aktivitas antidiabetes dan *antihyperlipidemic*. Dari hasil penelitian Wang & He (2002) juga diungkapkan bahwa butiran alginat-glukomannan *konjac-chitosan* dapat digunakan sebagai pengontrol pelepasan *matrix*. Menurut Hermelin & Grimshaw (2003), glukomannan dapat digunakan sebagai matriks dalam penanganan defisiensi Fe (besi) dan peningkatan penyerapan Fe dalam tubuh, khususnya saluran pencernaan. Pathak dkk. (2003) menemukan makromer pembentuk *gel* sedikitnya empat blok polimer, dimana dua di antaranya bersifat hidrofobik dan salah satunya bersifat hidrofilik, dan termasuk ke dalam kelompok *crosslinkable*. Glukomannan digunakan sebagai blok hidrofilik tersebut. Makromer secara kovalen dapat membentuk *gel*



pada permukaan jaringan *in vivo*. Gel yang terbentuk dari makromer memiliki sifat kombinasi, seperti termosensitivitas dan lipofilisitas dan berguna dalam aplikasi medis, seperti pembuatan obat dan pelapisan jaringan. Glukomannan juga berfungsi dalam pengobatan gangguan kerongkongan dengan mengombinasikan alginat, *xanthan*, karageenan, dan glukomannan atau galaktomannan sehingga meningkatkan sifat *bio-adhesive* yang digunakan untuk melindungi dan penyembuhan pada permukaan mukosa (Dettmar dkk., 2000 dalam Zhang dkk., 2005).

Manfaat lainnya dari glukomannan yaitu sebagai terapi seluler (Slepian & Massia, 2001), glukomannan dapat digabungkan dengan *chitosan* sebagai bahan dasar *nanocapsules* dan diaplikasikan untuk imobilisasi enzim dengan tetap menjaga stabilitas enzim tersebut (Wang dkk., 2008), bahan untuk enkapsulasi terutama sebagai *flavor encapsulant* (Yang dkk., 2009), sebagai bahan pembuatan *biofilm* dan stabilisator emulsi (Mikkonen, 2009; Sothornvit dkk., 2010), sebagai bahan pengemasan makanan (Hartman, 2006), sebagai bahan *hair-styling* (Omura & Nanba, 2001 dalam Zhang dkk., 2005), sebagai bahan campuran kosmetik *aloe gel* (Devi & Rao, 2005), sebagai bahan untuk pembuatan *cleansing foam*, bahan untuk pembuatan *cleansing powder*, bahan untuk pembuatan pasta gigi, sebagai bahan untuk pembuatan cairan pembersih wajah, bahan pembuatan sampo dan *rinser liquid* (Arminas & Caello, 2002; Takata, 2003; Takata, 2006), bahan pelapis pigmen pada kosmetik (Saito, 2000 dalam Zhang dkk., 2005), sebagai agen pengental pada produk *hand sanitizer gel* (Kellar dkk., 2003; Kellar dkk., 2004), sebagai bahan pembuatan surfaktan (Dax dkk., 2013).

2.3 Profil Senyawa Oksalat

Oksalat merupakan senyawa kimia yang dapat dijumpai pada tanaman, mamalia dan mikroba (Chandra & Shethna, 1977). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, senyawa oksalat memiliki banyak manfaat pada tanaman, antara lain regulasi kalsium, menjaga keseimbangan ion, berperan dalam mekanisme pertahanan untuk perlindungan tanaman, penyokong jaringan dan detoksifikasi logam berat (Libert & Franceschi, 1987). Senyawa oksalat pada tanaman dapat dijumpai dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Oksalat terlarut biasanya terbentuk ketika senyawa oksalat berikatan dengan ion natrium (Na^+), kalium (K^+) dan amonium (NH_4^+), sedangkan bentuk oksalat tidak terlarut akan terbentuk jika senyawa oksalat berikatan dengan ion kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}) dan besi (Fe^{2+}) (Savage dkk., 2000).



Beberapa biosintesis senyawa oksalat telah dikemukakan, termasuk fotorespirasi glikolat/oksidasi glioksilat, pemutusan rantai askorbat dan hidrolisis oksaloasetat (Nakata, 2003). Jalur biosintesis oksalat pada tanaman masih diperdebatkan, namun banyak peneliti sepakat bahwa jalur biosintesis oksalat ada kemungkinan bervariasi antara spesies tanaman yang satu dengan yang lain (Rahman & Kawamura, 2011).

Kandungan oksalat pada tanaman bervariasi. Adanya variasi tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal dan internal, yaitu (1) penggunaan pupuk dan kandungan kimia tanah, (2) faktor iklim, (3) faktor genetik dan (4) faktor agronomi lainnya. Deskripsi faktor-faktor tersebut sebagai berikut (Rahman & Kawamura, 2011):

1) Penggunaan pupuk dan kandungan kimia tanah

Secara umum, terdapat 16 unsur kimia yang memiliki peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Beberapa unsur tersebut, termasuk nitrogen (N), Kalium (K^+), natrium (Na^+) dan kalsium (Ca^{2+}), terlibat dalam proses akumulasi oksalat pada tanaman (Rahman & Kawamura, 2011).

a) Pemupukan nitrogen

Pada pemupukan nitrogen, biasanya unsur nitrogen terkandung dalam bentuk urea, amonium nitrat, amonium sulfat dan pupuk kandang. Pemupukan urea umumnya tidak menghasilkan akumulasi oksalat yang berlebihan pada tanaman (Williams dkk., 1991; Rahman dkk., 2008a, 2008b; Rahman dkk., 2009b). Namun demikian analisis tersebut bertentangan dengan hasil analisis Jones & Ford (1972a) yang menjelaskan bahwa kandungan oksalat pada tanaman *setaria* berbanding lurus dengan kuantitas pemupukan urea.

b) Pemupukan kalium

Pada pemupukan kalium, biasanya unsur kalium terkandung dalam KCl dan pupuk kandang (Smith, 1978; Sunaga dkk., 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Rahman dkk. (2008b), dengan menggunakan rumput gajah, menunjukkan bahwa kandungan oksalat larut berkorelasi positif dengan konsentrasi K. Sebaliknya, pemberian KCl pada *kikuyugrass* tidak mempengaruhi kandungan oksalat terlarut (Williams dkk., 1991) diduga karena adanya anion klorida yang berkompetisi dengan senyawa oksalat untuk mengikat kation ($ion K^+$) dan menekan sintesis oksalat (Singh, 1974; Rahman & Kawamura, 2011).



c) Salinitas

Pemberian NaCl pada tanaman halogeton (*Halogeton glomeratus*) efektif untuk mengakumulasi oksalat terlarut (Williams, 1960). Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Rahman dkk. (2008c) yang mengungkapkan konsentrasi NaCl yang ditambahkan berbanding terbalik dengan kandungan oksalat pada tanaman. Hal tersebut diduga karena adanya pengaruh salinitas terhadap respon fisiologis tanaman (Rahman & Kawamura, 2011). Gu dkk. (2000) menjelaskan bahwa aktivitas fotosintesis tanaman berbanding terbalik dengan konsentrasi garam (salinitas) yang ditambahkan pada larutan nutrisi. Aktivitas fotosintesis diduga berpengaruh (berbanding lurus) terhadap laju biosintesis oksalat (Fujii dkk., 1993). Selain itu, Singh (1974) juga melaporkan bahwa jika klorida atau anion lainnya diserap oleh tanaman, anion tersebut berkompetisi dengan oksalat untuk mengikat kation dan menekan sintesis oksalat.

d) Pemupukan kalsium

Berdasarkan penelitian Rahman dkk. (2009a) kandungan oksalat terlarut pada tanaman rumput gajah cenderung menurun dan kandungan oksalat tidak terlarut cenderung mengalami peningkatan, seiring dengan peningkatan kuantitas pemberian unsur kalsium.

2) Faktor iklim

a) Musim/ suhu

Variasi musim berpengaruh terhadap kandungan oksalat pada tanaman. Abu-Zanat dkk. (2003) mengemukakan bahwa kandungan oksalat pada tanaman *Atriplex* pada musim semi dan musim gugur berbeda, yaitu 8,29 % dan 4,92 % dari berat keringnya. Tanaman yang diperoleh di awal musim panas menunjukkan kandungan oksalat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan dari sampel tanaman yang sama yang diperoleh pada akhir musim panas (Rahman dkk., 2006). Namun pada penelitian mengenai pemberian larutan nutrisi pada tanaman rumput gajah, suhu tidak berpengaruh terhadap kandungan oksalat total maupun oksalat terlarut (Kipnis & Dabush, 1988). Mekanisme pengaruh musim/suhu terhadap akumulasi oksalat masih memerlukan penelitian lebih lanjut (Rahman & Kawamura, 2011).



b) Kelembaban tanah

Penelitian Ellern dkk. (1974) mengungkapkan bahwa pada kondisi kelembaban tanah yang tinggi, tanaman *Atriplex halimus* memiliki kandungan oksalat yang tinggi pada bagian daun dan rantingnya. Sebaliknya, kandungan oksalat pada tanaman rumput gajah tidak dipengaruhi oleh kelembaban tanah (Kipnis & Dabush, 1988). Namun demikian pengaruh kelembaban tanah terhadap kandungan oksalat pada tanaman masih memerlukan penelitian lebih lanjut (Rahman & Kawamura, 2011).

c) Variasi diurnal

Jones & Ford (1972a) mengungkapkan bahwa sampel tanaman yang diambil pada siang hari memiliki kandungan oksalat yang rendah. Sebaliknya, sampel tanaman yang diambil pada malam hari memiliki kandungan oksalat yang lebih tinggi. Pernyataan tersebut berbeda dengan hasil penelitian Roughan & Warrington (1976) yang menunjukkan bahwa kandungan oksalat pada tanaman *setaria* tidak dipengaruhi oleh variasi diurnal. Srivastava & Krishnan (1962) mengungkapkan terdapat pola tertentu dari aktivitas enzim oksalat oksidase pada tanaman bugenvil. Enzim tersebut berperan dalam pemecahan ikatan senyawa oksalat dan aktivitasnya berbanding terbalik dengan kandungan oksalat total. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa aktivitas enzim pada daun menjadi menurun pada pukul 04.00 sore dan meningkat pada pukul 12.00 siang.

3) Faktor genetik

a) Spesies tanaman

Masing-masing spesies tanaman memiliki kandungan oksalat yang berbeda. Misalnya pada tanaman *Cenchrus ciliaris* memiliki kandungan 1,10 % oksalat terlarut, sedangkan pada tanaman padi memiliki kandungan oksalat 1,00-2,50 % berat keringnya. Daun bit dapat mengandung oksalat terlarut hingga 10 % (Libert & Franceschi, 1987). Pada studi yang lain daun tanaman padi mengandung oksalat sebesar 3-6 % tergantung dari tahap pertumbuhan dan kondisi kulturnya (Ji & Peng, 2005). Halogeton mengandung oksalat terlarut sebesar 17-30 % per berat kering (Cronin & Williams, 1966).

b) Varietas tanaman

Kandungan oksalat bervariasi antar varietas dalam satu spesies. Misalnya dua kultivar dari spesies *setaria*, Nandi dan Kazungula. Nandi memiliki kandungan oksalat yang rendah sedangkan Kazungula memiliki kandungan oksalat yang tinggi (Jones & Ford, 1972a).



Libert & Creed (1985) telah membuktikan dengan menguji 78 kultivar tanaman *rhubarb*, yang ditumbuhkan pada kondisi yang sama, menghasilkan kandungan oksalat yang berbeda. Kandungan oksalat tersebut berkisar antara 3,35- 9,48 % dari berat kering. Libert (1987) menyatakan bahwa 72 % variabilitas dalam oksalat berasal dari genotip. Selain itu ada dugaan bahwa kultivar yang memiliki jumlah daun yang lebih banyak memiliki kandungan oksalat yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang memiliki sedikit daun (Rahman dkk., 2006).

c) Bagian tanaman

Distribusi oksalat pada satu tanaman tidak merata. Beberapa peneliti melaporkan bahwa kandungan oksalat tertinggi terdapat pada daun dan diikuti oleh batang (Jones & Ford, 1972a; Marais dkk., 1997; Rahman dkk., 2006). Pernyataan tersebut berbeda dengan tanaman rumput gajah yang dipanen pada awal musim panas, bagian daun dan batangnya memiliki kandungan oksalat yang hampir setara (Rahman dkk., 2006). Kandungan oksalat pada bambu tiga kali lebih tinggi di bagian tunas dibandingkan dengan bagian lainnya (Kozukue dkk., 1983).

4) Faktor agronomi lainnya

a) Kematangan/ pemanenan

Pada tahap awal pertumbuhan tanaman, terdapat peningkatan kandungan oksalat dan diikuti penurunan kandungan oksalat saat tanaman dewasa (Davis, 1981). Rahman dkk. (2009b) mengamati bahwa kandungan oksalat pada rumput gajah dapat dimanipulasi dengan memvariasikan interval pemanenan. Semakin meningkat interval pemanenan maka kandungan oksalat semakin rendah. Interval pemanenan yang dilakukan pada minggu ke 8 memiliki kandungan oksalat terlarut dan tidak terlarut sebesar 0,96 dan 0,94 %. Sebaliknya pada beberapa spesies, seperti halogeton dan eceng gondok, mengalami peningkatan kandungan oksalat saat tanaman dewasa (Torell dkk., 2005).

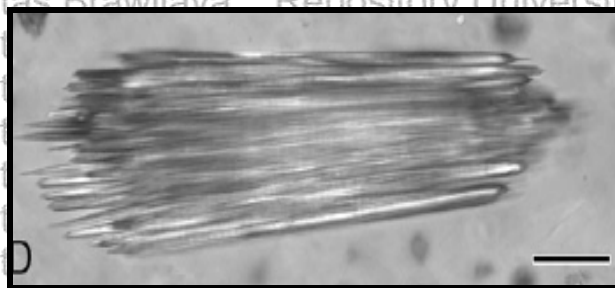
b) Pengolahan pascapanen

Pada penelitian Antai & Obong (1992), proses fermentasi berpengaruh terhadap penurunan kandungan oksalat dalam pati umbi *Ipocastanea manni*. Proses perendaman dan pengecambahan juga diketahui berpengaruh terhadap penurunan kandungan oksalat pada kedelai (*Glycine max*) (Ologhobo, 1989 dalam Rahman & Kawamura, 2011). Proses

perebusan/pendidihan juga dapat mengurangi kandungan oksalat pada makanan jika air rebusan dibuang (Noonan & Savage, 1999).

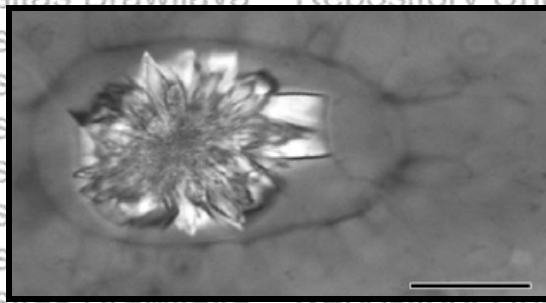
2.4 Profil Kristal Kalsium Oksalat (CaOx)

Kristal kalsium oksalat (CaOx) merupakan benda ergastik tanaman yang dihasilkan dari ikatan antara unsur kalsium (Ca) dengan senyawa asam oksalat ($C_2H_2O_4$) (Libert & Franceschi, 1987; Ilarslan dkk., 1997; Prychid & Rudall, 1999; Webb, 1999; Cao, 2003; Mazen dkk., 2003; Franceschi & Nakata, 2005; White & Broadley, 2009). Salah satu penyusun kristal CaOx, yaitu asam oksalat merupakan senyawa endogen tanaman yang merupakan gugus asam dikarboksilat yang paling sederhana dan merupakan hasil oksidasi komponen organik yang terbentuk pada tanaman. Kristal CaOx pada tumbuhan pertama kali dideskripsikan oleh Leeuwenhoek pada akhir tahun 1600 dengan menggunakan mikroskop cahaya sederhana. Kristal CaOx tersebut telah diamati pada sebagian besar jaringan dan organ tanaman sebagai endapan (*deposit*) intraseluler atau ekstraseluler. Kristal CaOx intraseluler terbentuk di dalam vakuola sel yang khusus untuk pembentukan kristal, yang disebut sebagai kristal *idioblast*. Pembentukan kristal CaOx memerlukan oksalat sebesar 3-80 % dan kalsium (Ca) sebesar 90 % dari tumbuhan. Jumlah, distribusi dan morfologi kristal, serta bentuk sel yang memproduksinya merupakan faktor-faktor yang berperan untuk menentukan fungsi kristal CaOx (Franceschi & Nakata, 2005).



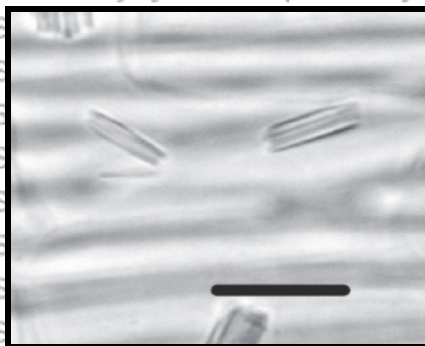
Prychid dkk. (2008)

Gambar 8. Kristal kalsium oksalat bentuk rafida pada *A. konjac*. Bar = 20 μ m



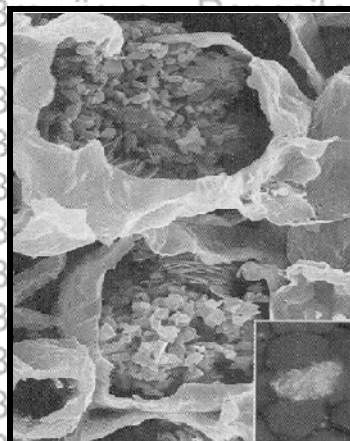
Prychid dkk. (2008)

Gambar 9. Kristal kalsium oksalat bentuk *druse* pada *A. salmonaeus*. Bar = 20 μ m



Merici (2008)

Gambar 10. Kristal kalsium oksalat bentuk *stiloid* pada sel-sel *ovary Conyza bonariensis*. Bar = 10 μ m

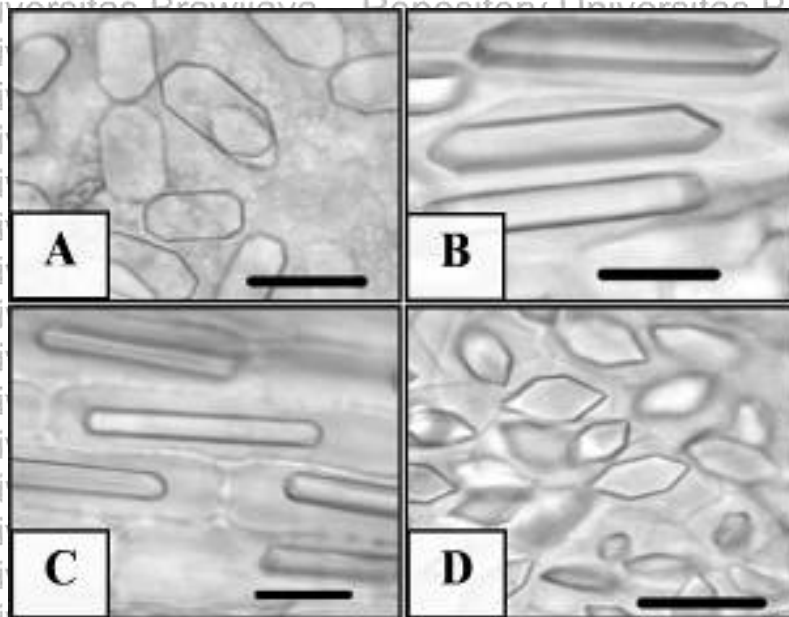


Franceschi & Nakata (2005)

Gambar 11. Kristal kalsium oksalat bentuk butiran pasir (*sands*) pada daun *sugar beet*



Morfologi kristal CaOx yang sering dijumpai adalah kristal yang berbentuk jarum (rafida), prisma, *druse*, stiloid, dan butiran pasir. Kristal jarum (rafida) berbentuk *rectangularstiloid* yang mengalami pemanjangan dan penebalan yang terdapat sebagai kristal tunggal per sel atau berkas (Gambar 8). Kristal *druse* merupakan kristal yang berasal dari gabungan kristal *multifacet* (Gambar 9). Kristal *druse* dapat berjumlah satu atau lebih pada setiap sel (Franceschi & Nakata, 2005). Kristal stiloid atau yang disebut juga dengan rafida semu memiliki bentuk yang lebih gemuk dibandingkan dengan kristal rafida pada umumnya dan biasanya soliter di dalam sel. Kristal stiloid dapat mempunyai ujung yang runcing atau bersegi, dan berbentuk memanjang atau balok (Gambar 10) (Prychid & Rudall, 1999). Kristal pasir (*sands*) merupakan kristal yang berasal dari kumpulan kristal *angular* yang berukuran kecil (Gambar 11). Kristal bentuk prisma berbentuk seperti kotak *rhombohedral*, yang umumnya dijumpai dalam bentuk kristal tunggal atau banyak per sel (Gambar 12). Kristal CaOx yang ditemukan pada dinding sel umumnya adalah kristal *rhombohedral* atau prismatic, sedangkan kristal yang ditemukan di dalam sel dapat berbentuk *sand*, rafida, dan *druse* (Franceschi & Nakata, 2005).



Meric (2009)

Gambar 12. Kristal kalsium oksalat bentuk prisma: (A). Kristal prismatic pada sel-sel *ovary* *Filago eriocephala* Guss. (B). Kristal prismatic pada sel-sel *ovary* *Pulicaria dysenterica*. (C). Kristal prismatic sel-sel *ovary* *Inula graveolens*. (D). Kristal prismatic sel-sel *ovary* *Logfia gallica* (L.) Coss. & Germ. Bar = 10 μ m



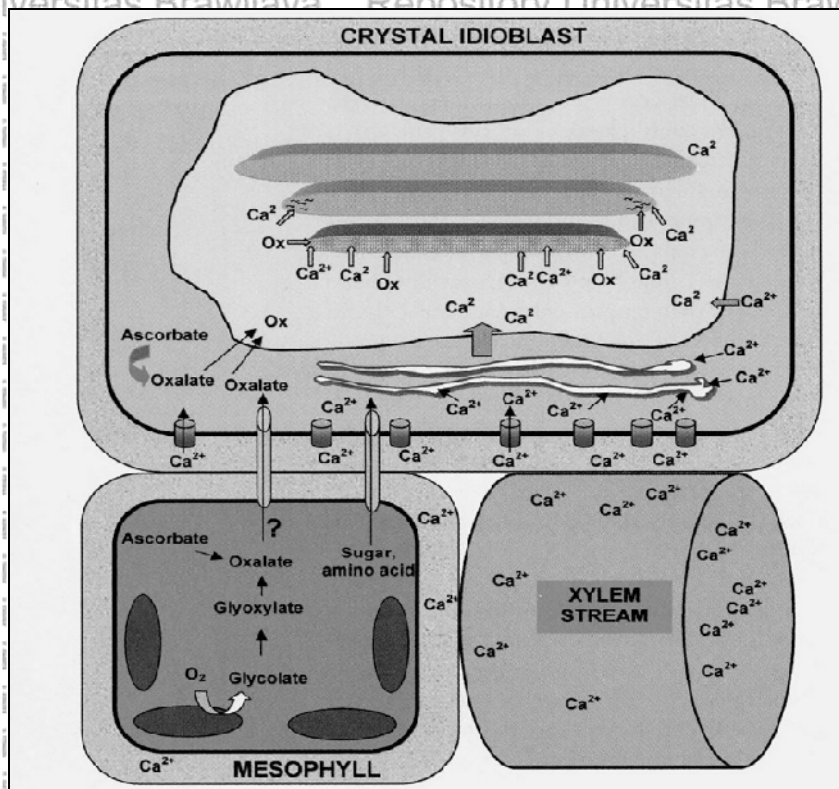
Perbedaan morfologi kristal, jaringan dan jenis sel yang memproduksi kristal, serta perkembangan bentuk kristal mengindikasikan bahwa pembentukan kristal CaOx mengalami perkembangan setiap waktu pada setiap tanaman. Kristal CaOx yang berbeda memiliki fungsi yang berbeda (Prychid & Rudall, 1999; Franceschi & Nakata, 2005). Kombinasi antara faktor genetik dan lingkungan berperan dalam menentukan jumlah, bentuk, ukuran dan fungsi dari kristal CaOx. Selain itu, pembentukan kristal CaOx terkait pula dengan pengangkutan dan regulasi Ca, biosintesis asam oksalat, regulasi Ca dalam jaringan dan organ tanaman, serta mekanisme pertahanan (Franceschi & Nakata, 2005).

Berdasarkan struktur kimianya, kristal kalsium oksalat (CaOx) terbagi menjadi dua jenis, yaitu (1) monohidrat (COM) ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), (2) dihidrat (COD) ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Deganello dkk., 1981; Pennisi dkk., 2001; Kolo & Claeys, 2005), dan (3) trihidrat (Deganello dkk., 1981; Kolo & Claeys, 2005). Pembentukan kristal kalsium oksalat monohidrat dan kalsium oksalat dihidrat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, seperti derajat keasaman dari lingkungan selama pertumbuhan, kelarutan oksalat, dan rekristalisasi diagenesis (Kolo & Claeys, 2005). Kristal kalsium oksalat memiliki proses biosintesis dan peran yang bervariasi pada tumbuhan yang akan di deskripsikan pada subbab selanjutnya.

2.4.1 Biosintesis kristal kalsium oksalat (CaOx) pada tumbuhan

Kristal CaOx terbentuk dari kalsium (Ca) yang berasal dari lingkungan dan asam oksalat (2-karbon asam dikarboksilat). Pembentukan kristal CaOx tersebut melalui proses metabolisme dari beberapa jalur biokimia yang berbeda, seperti jalur glioksilat dan asam askorbat. Dua prekursor pembentukan kristal CaOx, glioksilat dan asam L-askorbat, terlebih dahulu diubah menjadi asam oksalat oleh glioksilat oksidase dan mengalami beberapa tahap perubahan. Glioksilat, dihasilkan dalam jumlah yang besar pada berbagai macam jaringan dari jalur metabolisme yang berbeda. Glioksilat dan suksinat diproduksi dari isositrat oleh isositrat liase di dalam glioksisom. Setelah itu glioksilat dan asetil KoA dikondensasi oleh malat sintase untuk menghasilkan malat dan KoA. Isositrat liase dan malat sintase merupakan enzim yang penting dalam siklus glioksilat dan sangat aktif selama katabolisme asam lemak. Kelimpahan O_2 yang tinggi dibandingkan CO_2 di dalam kloroplas mendorong RUBISCO untuk memproduksi dua molekul fosfoglisarat, atau satu molekul glikolat dan satu molekul fosfoglisarat, dari *ribulose-1,5-bisphosphate*. Glikolat mengalami fosforilasi di dalam kloroplas kemudian diangkut menuju peroksisom untuk dioksidasi menjadi glioksilat dan

setelah itu glioksilat mengalami transaminasi menghasilkan glisin. Jalur yang lain untuk pembentukan asam oksalat adalah jalur yang tidak melibatkan glioksilat yaitu transformasi metabolis asam L-askorbat. Pemecahan molekul 6-karbon asam askorbat yang terjadi pada atom C ke dua dan tiga dapat menghasilkan asam oksalat dan asam L-treonat. Proses perubahan tersebut tidak melibatkan glikolat, glioksalat atau glikolat oksidase. Sintesis asam askorbat terjadi di dalam plastid (Ilarslan dkk., 1997).



Gambar 13. Proses pembentukan kristal kalsium oksalat ($CaOx$) Franceschi & Nakata (2005)

Seperti halnya Ilarslan dkk. (1997), Franceschi & Nakata (2005), juga melakukan kajian tentang mekanisme pembentukan kristal $CaOx$ secara spesifik (Gambar 13). Proses pembentukan kristal $CaOx$ menurut Franceschi & Nakata (2005), memerlukan koordinasi beberapa mekanisme yang berbeda. Mekanisme tersebut antara lain proses pengeluaran Ca dari *apoplast*, proses transfer Ca dari *cytosol* ke vakuola dan kemudian ditransfer ke dalam bilik



kristal (*crystal chamber*). Secara bersamaan, asam oksalat disintesis di dalam sitoplasma dan ditransfer ke vakuola dan *chamber*. Pada banyak *idioblast* kristal, perkembangannya terkait dengan pertumbuhan sel. Perkembangan tersebut melibatkan koordinasi dari pemanjangan sel dan pertumbuhan kristal. Oleh karena itu morfologi kristal yang berbeda memerlukan bentuk sel yang berbeda untuk menampung kristal-kristal tersebut.

Pembentukan *idioblast* kristal CaOx terkait dengan Ca . Terdapat banyak informasi yang menunjukkan bahwa pembentukan kristal dan *idioblast* kristal merupakan induksi dari Ca . Saat kandungan Ca meningkat di dalam media, jumlah Ca di dalam *apoplast* juga akan meningkat dan menginisiasi pembentukan *idioblast* kristal. Sel yang terinduksi untuk melakukan proses diferensiasi akan memulai proses pengeluaran Ca untuk mencegah terjadinya penumpukan Ca dengan cara memompa Ca keluar dari *apoplast* bersamaan dengan kompartemensasi intraseluler. Selama proses pengeluaran Ca , sel *idioblast* memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan sel-sel *nonidioblast* (Franceschi & Nakata, 2005).

Kalsium (Ca) memasuki organ tertentu, seperti daun, melalui pembuluh *xylem* dan didistribusikan di antara sel-sel melalui *apoplast* (dinding). Sebagian besar sel mengatur kandungan Ca dengan cara memompa Ca keluar atau dengan cara kompartemensasi, tetapi *idioblast* kristal mengakumulasi sejumlah besar Ca melalui aktivitas *channel* atau pompa. Ca yang terdapat dalam *cytosol* diteruskan oleh retikulum endoplasma dan diperantarai oleh aktivitas *calreticulin*. Asam oksalat dapat disintesis di dalam sel yang *nonidioblast* (Franceschi & Nakata, 2005).

Pembentukan kristal kalsium oksalat (CaOx) pada tumbuhan juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti paparan cahaya matahari. cahaya matahari berkaitan dengan peningkatan proses metabolisme yang menghasilkan zat prekursor pembentuk oksalat. Berdasarkan penjelasan Cao (2003), ketika terjadi peningkatan intensitas cahaya, maka kecepatan metabolisme tanaman dan pengambilan ion Ca juga mengalami peningkatan. Saat kecepatan metabolisme sel meningkat, maka sintesis asam askorbat dan galaktosa yang merupakan prekursor pembentukan oksalat juga meningkat. Reaksi yang terjadi antara oksalat dan ion Ca dapat menginduksi pembentukan *idioblast* kristal.

Berdasarkan hasil penelitian dari Chairiyah dkk. (2011), pembentukan kristal CaOx diduga terkait dengan peningkatan aktivitas fotorespirasi tanaman porang (*A. muelleri*) yang terjadi saat tanaman terpapar sinar matahari dengan produksi glioksilat yang merupakan salah satu prekursor pembentuk oksalat yang nantinya akan berikatan dengan Ca yang diambil dari



lingkungan untuk membentuk kristal CaOx. Dugaan tersebut di dukung oleh pernyataan Kisaki & Tolbert (1969), Lindqvist & Brändén (1985), dan Khan (2007) yang menjelaskan bahwa glioksilat dihasilkan melalui proses oksidasi glikolat oleh enzim glikolat oksidase selama proses fotorespirasi. Dikemukakan pula oleh Tolbert (1981) dalam Libert & Franceschi (1987) bahwa glikolat dihasilkan di dalam kloroplas selama proses fotorespirasi dan kemudian diubah menjadi glioksilat di dalam peroksisom. Glioksilat yang dihasilkan merupakan prekursor utama pembentukan oksalat pada tanaman.

2.4.2 Peran kristal kalsium oksalat (CaOx) pada tumbuhan

Asam oksalat pada tanaman umumnya mengalami kristalisasi yang membentuk kristal CaOx. Berdasarkan variasi dari bentuk dan ukuran kristal, serta distribusinya, terdapat beberapa fungsi kristal CaOx pada tanaman, seperti regulasi kalsium, perlindungan tanaman, detoksifikasi (untuk logam berat atau asam oksalat), menjaga keseimbangan ion, penyokong jaringan atau menjaga kepadatan tanaman dan refleksi dan pengumpulan cahaya (Franceschi & Nakata, 2005). Berdasarkan penelitian Kuo dkk. (2007), kristal CaOx dapat mendifraksikan cahaya masuk ke dalam sel palisade. Seluruh kristal yang terdapat pada sel-sel palisade pada tanaman *Peperomia* merupakan kristal jenis *druse* yang dapat merefleksikan cahaya pada sel. Kristal tersebut pada intensitas cahaya yang tinggi dapat memantulkan cahaya ke dalam celah jaringan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada kloroplas palisade. Menurut Korth dkk. (2006), kristal CaOx berperan dalam mekanisme pertahanan terhadap serangga. Asam oksalat terlarut juga berperan dalam pertahanan terhadap serangga penghisap seperti *planthoper* dan *aphid*. Berdasarkan penelitian Sakai dkk. (1972) dan Thurston (1976) dalam Webb (1999), kristal-kristal CaOx *acicular* seperti rafida dan *stiloid* seringkali terbentuk di dalam sel khusus yang juga menghasilkan senyawa toksin, dan kristal tersebut memudahkan penyebaran racun melalui kulit hewan herbivora. Menurut Sakai dkk. (1972), proses pencernaan jaringan tanaman yang mengandung kristal rafida biasanya segera menyebabkan iritasi pada mulut dan tenggorokkan hewan herbivora. Iritasi tersebut dapat terjadi secara mekanis oleh kristal CaOx (rafida) itu sendiri atau secara kimiawi oleh zat seperti racun yang terdapat di dalam kristal tersebut. Kristal CaOx juga dapat memberikan penguatan struktural yang sejalan dengan sklarifikasi dinding sel. Contohnya, ditemukannya kristal pada jaringan epidermal atau subepidermal (Brubaker & Horner, 1989 dalam Webb, 1999).



2.5 Kandungan Glukomannan selama Masa Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

Tinggi rendahnya kandungan glukomannan pada tanaman *Amorphophallus* dipengaruhi oleh berbagai faktor, beberapa di antaranya yaitu umur panen (Suhirman dkk., 1995 dalam Sumarwoto, 2007) dan umur tanaman (Sumarwoto, 2005). Berdasarkan hasil penelitian Hägglund (2002), senyawa mannan yang merupakan bahan dasar dari glukomannan memiliki kandungan yang berbeda-beda berdasarkan beberapa faktor, salah satunya yaitu tahap-tahap pertumbuhan atau perkembangan tanaman.

Menurut Chua (2011) yang meneliti glukomannan dengan menggunakan immunositokimia, pada awal perkembangan tunas, pembentukan pucuk daun dan pembentukan daun, *epitope* mannan dalam *idioblast* glukomannan secara bertahap mengalami penurunan.

Pada tahap ekspansi daun hingga maksimal, terjadi peningkatan intensitas pengikatan *antibody* pada *idioblast* glukomannan. Hal tersebut terkait dengan perubahan yang terjadi umbi seperti pengurangan dan penambahan berat dan diameter umbi segar selama pertumbuhan tanaman *Amorphophallus*. Peristiwa tersebut menunjukkan adanya transisi *source-sink* yang terjadi di dalam struktur umbi selama siklus pertumbuhan vegetatif. Transisi tersebut terjadi di dalam umbi setelah pembentukan tunas daun, tepatnya sebelum ekspansi daun berlangsung maksimal.

Menurut Wang & Liu (1990) dalam Chua (2011) dan Liu dkk. (1998) yang mempelajari perubahan komposisi umbi selama periode pertumbuhan vegetatif, mengemukakan adanya penurunan kandungan glukomannan (berdasarkan berat segar umbi) dari 52 % ke 7 % selama transisi *source-sink*. Namun kandungan glukomannan tersebut akan mulai meningkat pada tahap ekspansi daun hingga pada saat dormansi, dari 36,7 % menjadi sebesar 50,0-53,2 %. Menurut Chua (2011) yang meneliti regulasi glukomannan dengan menggunakan immunositokimia, selama tahap dimana umbi berfungsi sebagai *source* untuk perkembangan awal tunas, *epitope* mannan terlihat jarang atau tidak ada di sebagian besar *idioblast* glukomannan, kecuali sedikit di bagian tengah umbi.

Takigami dkk. (1997) dalam Gille dkk. (2011) mengemukakan glukomannan yang terakumulasi disimpan di dalam sel idioblast yang berbentuk telur yang diameternya dapat mencapai 650 μm pada jaringan parenkim umbi. Kandungan glukomannan yang terakumulasi tersebut menurut Brown (2000) dalam Gille dkk. (2011) pada umbi akan mengalami perubahan selama proses perkembangan tanaman, dan mencapai kandungan yang tertinggi pada saat sebelum daun rebah, sebelum muncul bunga, atau pada saat dormansi.



Uraian tersebut dibuktikan dengan hasil penelitian Sumarwoto (2005) yang menyatakan bahwa kandungan glukomannan pada umbi porang bervariasi berdasarkan periode tumbuhnya.

Kandungan glukomannan pada periode tumbuh pertama berkisar antara 35-39 %.

Glukomannan pada periode tumbuh kedua berkisar antara 46-48 %. Glukomannan pada periode tumbuh ketiga berkisar antara 47-55 %. Glukomannan pada saat bunga muncul dari umbi (masih kuncup) berkisar antara 43-49 %. Glukomannan pada saat bunga mekar berkisar antara 40-45 %. Glukomannan pada masa pengisian biji berkisar antara 32-37 %. Glukomannan pada saat buah mulai masak berkisar antara 32-35 %. Kandungan glukomannan pada bulbil juga berbeda dengan kandungan glukomannan yang terdapat pada umbi, yaitu sebesar 25-30%.

Hasil penelitian Indriyani (2011) juga menunjukkan hal yang serupa, dimana terdapat variasi kandungan glukomannan pada tanaman porang yang mengalami periode tumbuh pertama, kedua, dan ketiga. Tanaman porang yang mengalami periode tumbuh ketiga cenderung memiliki rata-rata kandungan glukomannan yang lebih tinggi dibandingkan periode tumbuh pertama dan kedua, yaitu sebesar $20,82 \pm 5,22$ %. Namun untuk rata-rata kandungan glukomannan pada tanaman porang yang mengalami periode tumbuh pertama dan kedua hanya sebesar $11,33 \pm 2,87$ % dan $15,38 \pm 2,95$ %. Adanya variasi kandungan glukomannan pada masing-masing periode tumbuh yang terjadi pada tanaman porang menunjukkan bahwa adanya dinamika kandungan glukomannan selama proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

2.6 Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) selama Masa Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

Kandungan oksalat pada tanaman dapat bervariasi berdasarkan umur tanaman, musim, iklim, dan jenis tanah. Pada beberapa tanaman, salah satunya yaitu *rhubarb* (*Rheum rhabarbarum*), kandungan oksalat cenderung mengalami peningkatan pada saat tanaman dewasa. Namun pada tanaman lainnya, seperti bayam, daun *sugar beet*, dan pisang, mengalami peningkatan kandungan oksalat yang cukup tinggi selama tahap awal perkembangan dan akan mengalami penurunan kandungan oksalat pada saat tanaman dewasa (Çaliskan, 2000).

Menurut Moore dkk. (2006), kandungan oksalat tergantung pada varietas tanaman, kondisi pertumbuhan, tahap pertumbuhan dan komposisi kimia tanah, terutama yang dipupuk dengan nitrogen dan kalium akan meningkatkan kandungan oksalat. Seperti penelitian yang ditunjukkan oleh Katoch dkk. (2013), dengan menganalisis kandungan oksalat pada berbagai varietas tanaman *Setaria*. Dari hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa kandungan oksalat



selama bulan Mei berkisar antara 4,72 - 4,98 %, dan selama bulan Oktober berkisar antara 2,61-2,72 %. Rata-rata kandungan oksalat terendah pada tanaman *Setaria* dijumpai pada bulan Oktober, yaitu 2,68 %, sedangkan rata-rata kandungan oksalat tertinggi dijumpai pada bulan Mei, yaitu 4,87 %. Dari hasil penelitian ini juga diketahui bahwa varietas tanaman yang berbeda memiliki kandungan oksalat yang berbeda. *Setaria* varietas S-92 menunjukkan kandungan oksalat terendah dijumpai pada bulan Mei. Pada bulan Juni, varietas PSS-1 menunjukkan kandungan oksalat yang paling rendah. *Setaria* varietas S-20 menunjukkan kandungan oksalat terendah dijumpai selama bulan Agustus.

Middleton & Barry (1978) juga mengemukakan bahwa kandungan kalsium oksalat (CaOx) pada tanaman rumput-rumputan, seperti *Panicum maximum* cv. Makueni (*guinea grass*), *Setaria splendida* CPI 15899, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, dan *common guinea* yang diamati pada tiga tahap pertumbuhan dengan rentang waktu tiga minggu, memiliki variasi di masing-masing periode tumbuh tersebut. Pada awal perkembangan tanaman, rata-rata kandungan oksalat yang terkandung dalam tanaman rumput-rumputan, seperti *Panicum maximum* cv. Makueni (*guinea grass*), *Setaria splendida* CPI 15899, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, dan *common guinea*, tersebut memiliki kadar masing-masing sebesar 0,95 %, 4,76 %, 1,15 %, 0,30 %, 1,51 %. Namun pada saat bertambahnya umur, dalam hal ini adalah peningkatan tahap pertumbuhan, kandungan kalsium oksalat pada tanaman *Panicum maximum* cv. Makueni (*guinea grass*), *Setaria splendida* CPI 15899, *Digitaria decumbens*, *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, dan *common guinea*, cenderung mengalami penurunan di tahap pertumbuhan ketiga, masing-masing menjadi 0,62 %, 1,71 %, 0,48 %, 0,27 %, 1,09 %.

2.7 Kerangka Konseptual

Budidaya tanaman porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) umumnya bertujuan untuk memperoleh umbi berkualitas baik yang sampai saat ini masih diprioritaskan untuk diekspor keluar negeri. Umbi yang berkualitas merupakan umbi yang memiliki kandungan glukomannan yang tinggi dan kandungan CaOx yang rendah. Kandungan glukomannan tinggi umumnya dijumpai pada umbi yang berasal dari tanaman porang periode tumbuh ketiga (Sumarwoto, 2005; Indriyani, 2011; Komunikasi pribadi, 2013) yang umumnya dipanen pada saat tanaman rebah atau setelah tanaman rebah saat awal fase dormansi (Komunikasi pribadi, 2009; Komunikasi pribadi, 2013). Namun dikarenakan kebutuhan konsumen terhadap umbi porang



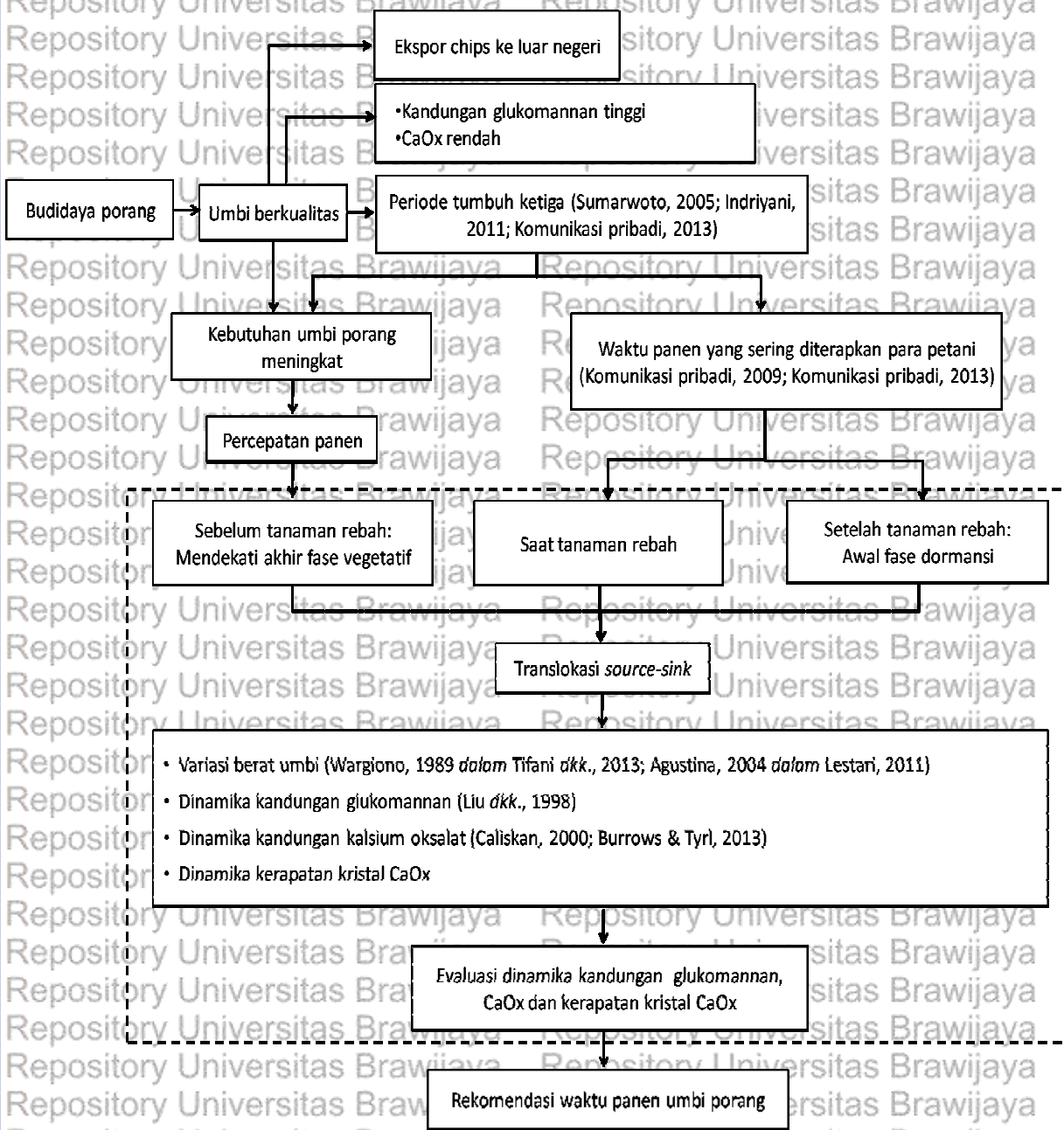
semakin meningkat, maka seringkali pemanenan umbi dilakukan lebih awal, yaitu sebelum tanaman rebah, saat mendekati akhir fase vegetatif.

Pada waktu panen yang berbeda diduga terjadi translokasi *source-sink* yang berbeda yang mengakibatkan variasi berat umbi dan dinamika kandungan glukomannan, CaOx dan kristal CaOx. Menjelang akhir fase vegetatif dan saat tanaman rebah, daun berperan sebagai *source*, yang masih aktif mentranslokasi fotosintat menuju ke sink, termasuk umbi (Chua, 2011).

Menjelang akhir fase vegetatif akumulasi fotosintat pada umbi sebagai cadangan makanan masih belum optimal, dikarenakan sebagian masih digunakan untuk pertumbuhan tanaman. Saat tanaman rebah akumulasi fotosintat yang ditranslokasi ke umbi mencapai maksimal dikarenakan cadangan makanan yang tersimpan pada umbi sudah tidak digunakan lagi untuk pertumbuhan tanaman. Sedangkan pada awal fase dormansi, tangkai daun sudah terlepas dari umbi sehingga tidak ada lagi transfer cadangan makanan.

Pembentukan cadangan makanan yang dihasilkan dari proses metabolisme, seperti karbohidrat pada tumbuhan dapat meningkatkan berat umbi (Wargiono, 1989 dalam Tifani dkk., 2013; Agustina, 2004 dalam Lestari, 2011). Oleh karena itu, adanya perbedaan tingkat metabolisme pada tumbuhan diduga dapat menghasilkan umbi dengan berat yang bervariasi. Menurut Liu dkk. (1998), waktu panen/umur tanaman pada *Amorphophallus konjac* menunjukkan adanya variasi kandungan glukomannan pada umbi. Semakin tua umur tanaman maka kandungan glukomannan pada umbi semakin meningkat. Variasi kalsium oksalat yang dipengaruhi oleh umur tanaman dikemukakan oleh Çaliskan (2000), serta Burrows & Tyrl (2013), kandungan oksalat yang juga merupakan senyawa pembentuk kristal CaOx cenderung mengalami peningkatan saat tanaman semakin tua dan mengering.

Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi mengenai dinamika kandungan glukomannan, kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx pada umbi porang di tiga waktu panen yang berbeda, yaitu sebelum, saat dan setelah tanaman rebah. Melalui hasil peninjauan tersebut, dapat dirumuskan rekomendasi untuk para petani porang atau praktisi penyedia glukomannan untuk memanen porang ketika mengandung glukomannan tertinggi dan kalsium oksalat terendah (Gambar 14).



Gambar 14. Kerangka konsep penelitian. Keterangan: garis putus-putus merupakan fokus penelitian



BAB III

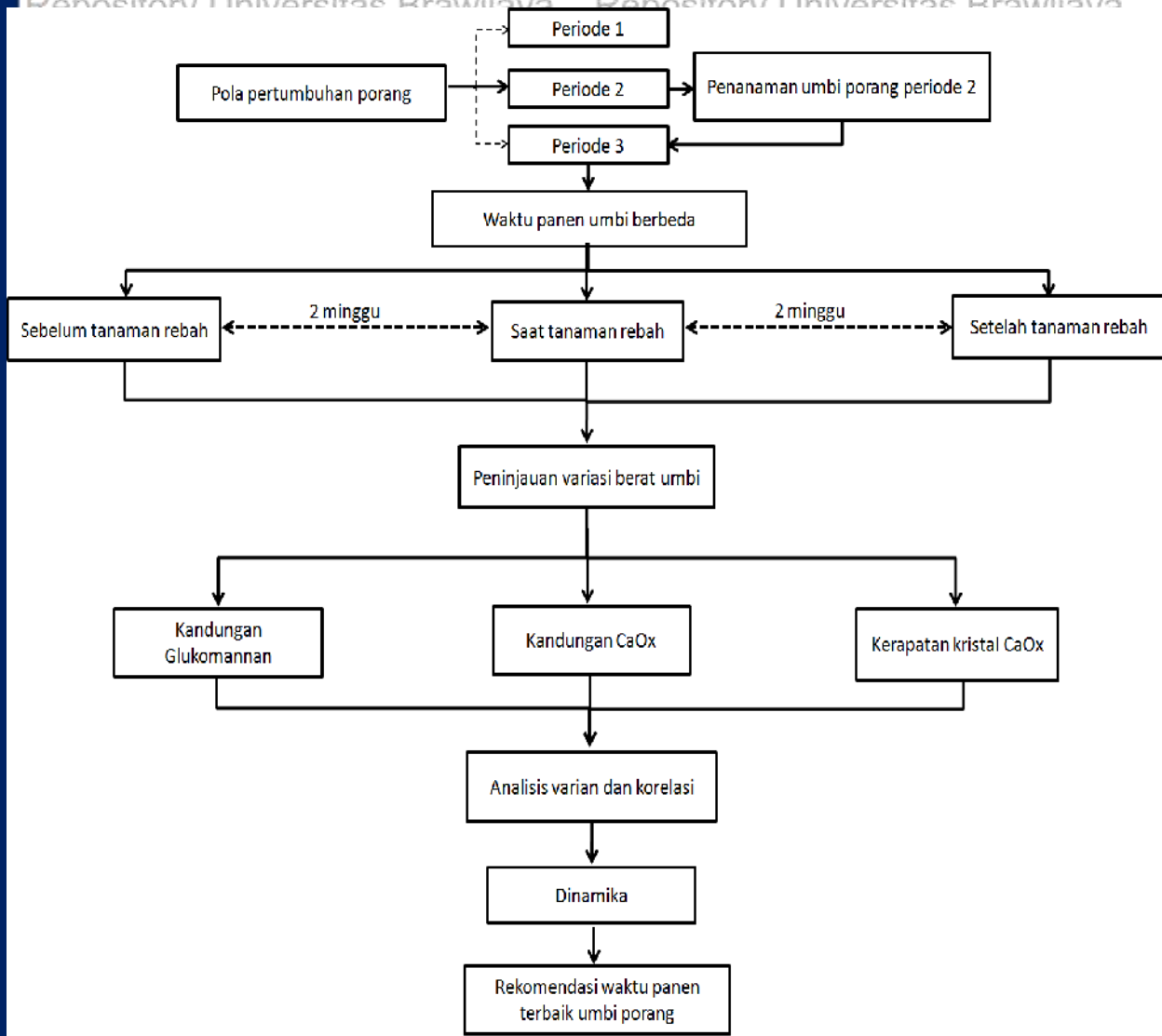
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai bulan September 2012 sampai Januari 2014. Penanaman umbi porang dilakukan mulai bulan September 2012 sampai April 2013 di Kebun EMIPA UB, di belakang gedung Jurusan Biologi. Proses ekstraksi glukomannan, oksalat dan pembuatan preparat semi permanen dilakukan mulai bulan April 2013 sampai Mei 2013 di Laboratorium Fisiologi, Kultur Jaringan, dan Mikroteknik Tumbuhan, Jurusan Biologi dan Laboratorium Biologi Dasar, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Kerangka Operasional

Penelitian diawali dengan penanaman umbi yang diperoleh dari tanaman porang periode tumbuh kedua hingga mendekati akhir fase vegetatif periode tumbuh ketiga. Pada bulan ke 6 setelah penanaman umbi porang, dilakukan penentuan waktu panen di tiga titik yang berbeda, yaitu 2 minggu sebelum tanaman rebah (R0-1), saat tanaman rebah (R0), dan 2 minggu setelah tanaman rebah (R0+1). Pengaruh waktu panen terhadap metabolisme pada tanaman porang diamati pada akumulasi kandungan senyawa kimia pada umbi porang, meliputi glukomannan, kalsium oksalat (CaOx) dan kristal CaOx. Metode ekstraksi dilakukan untuk menentukan kandungan glukomannan dan CaOx yang terkandung pada umbi. Hasil pengamatan kristal CaOx secara mikroskopis digunakan untuk mengetahui jenis, ukuran dan jumlah serta kerapatan kristal CaOx. Data kuantitatif kandungan glukomannan, kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx dianalisis dengan menggunakan ANOVA (*analysis of variance*). Jika terdapat pengaruh yang nyata maka dilanjutkan dengan Uji Tukey. Untuk mengetahui hubungan kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang dilakukan uji korelasi. Berat umbi yang dimaksud pada penelitian ini adalah berat kering umbi porang. Uji korelasi juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh kandungan oksalat terhadap pembentukan kristal CaOx serta hubungan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx atau kerapatan kristal CaOx. Hasil analisis tersebut dapat digunakan untuk menentukan waktu panen umbi yang mengandung glukomannan yang tinggi dan kalsium oksalat serta jumlah kristal CaOx yang terendah (Gambar 15).



Gambar 15. Kerangka operasional penelitian

3.3 Penanaman Umbi Porang

Sampel umbi porang diambil dari tanaman porang pada periode tumbuh kedua di daerah Sumberbendo, Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun, Jawa Timur. Selanjutnya umbi ditanam untuk menghasilkan tanaman porang pada periode tumbuh ketiga. Sebanyak 9 buah umbi dengan berat rata-rata 0,9-1,2 kg dan diameter 15-16 cm masing-masing ditanam di dalam kantong *polybag* berukuran 40 x 20 cm yang telah berisi kompos sebagai media tanam.



Masing-masing *polybag* diletakkan dengan jarak ± 50 cm. Penanaman umbi dilakukan hingga mendekati akhir fase vegetatif tanaman porang, yaitu pada bulan ke 6 setelah penanaman umbi.

3.4 Rancangan Penelitian dan Pengambilan/ Persiapan Sampel Umbi

Variabel bebas pada penelitian ini berupa waktu panen umbi porang dan berat umbi sedangkan variabel terikat berupa kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx), ukuran dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx). Analisis data kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx), ukuran dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) masing-masing dilakukan pada tiga kali ulangan pada masing-masing waktu panen umbi (R0-1, R0, R0+1) (Lampiran 1 dan 3).

Pengambilan sampel umbi dilakukan setelah penentuan waktu panen. Penentuan waktu panen dilakukan pada bulan ke 6 setelah penanaman umbi. Waktu panen ditentukan di tiga waktu, yaitu sebelum tanaman rebah (R0-1), saat tanaman rebah (R0) dan setelah tanaman rebah (R0+1), dengan interval waktu dua minggu. Pengambilan sampel umbi dilakukan per waktu panen.

3.5 Ekstraksi dan Analisis Kandungan Glukomannan dari Umbi Porang

Sampel yang digunakan berupa umbi porang basah, yaitu umbi yang masih segar. diekstraksi menggunakan metode Tartirat & Charoenrein (2011) yang telah dimodifikasi. Pertama-tama aluminium sulfat dilarutkan dalam akuades 30 ppm. Umbi porang segar diiris dan diparut selanjutnya ditimbang sebanyak ± 30 g kemudian digerus dengan menggunakan *mortar* dan *pestle* hingga halus. Sampel umbi porang yang telah halus dilarutkan dalam larutan aluminium sulfat 200 ml (3 g/100 ml) dengan asumsi ± 30 g umbi porang basah menghasilkan ± 6 g tepung porang. Campuran tersebut kemudian diinkubasi pada suhu 55°C selama 15 menit, sambil diaduk dengan pengaduk gelas. Setelah diinkubasi, campuran tersebut diencerkan dengan menambahkan akuades 600 ml dan disaring dengan menggunakan kain sifon. Selama proses penyaringan, filtrate dihomogenasi dengan menggunakan *magnetic stirrer* agar tetap homogen. Filtrat dimasukkan ke dalam tabung *polypropilene* 50 ml kemudian disentrifugasi pada kecepatan 1500 rpm, selama 30 menit, dan pada suhu 25°C . Ampas hasil saringan juga dilarutkan pula dengan akuades untuk disentrifugasi. Supernatan yang dihasilkan ditambahkan dengan IPA (Isopropil alkohol) 95 % dengan perbandingan 1:1 untuk menggumpalkan glukomannan. Campuran tersebut diaduk sesekali dengan menggunakan pengaduk gelas.



Glukomannan yang tersangkut di pengaduk gelas disisihkan di atas kertas saring (*Whatmann*) dan dipadatkan. Setelah itu glukomannan tersebut direndam kembali dalam IPA 95 % agar glukomannan tidak menjadi kecoklatan. Sisa glukomannan yang masih terdapat dalam campuran IPA 95 % dan supernatant disaring dengan menggunakan kertas saring. Glukomannan yang diperoleh selanjutnya dikeringkan di atas gelas arloji atau cawan petri dengan menggunakan *oven* pada suhu 45 °C, *overnight* untuk mengurangi kandungan air pada glukomannan agar beratnya konstan. Glukomannan yang telah mengeras kemudian disimpan dalam desikator selama satu jam dan ditimbang untuk memperoleh berat glukomannan.

Mengingat bahwa setiap umbi yang dihasilkan saat panen memiliki kandungan air yang berbeda yang mempengaruhi berat umbi, maka untuk mendapatkan berat yang konstan, perhitungan berat umbi dikoreksi dengan menggunakan perhitungan kandungan air. Sisa hasil parutan irisan umbi porang ditimbang, sebanyak 12 gram, dan dikeringkan dalam *oven* pada suhu 105 °C selama tiga hari. Sisa hasil parutan yang telah dikeringkan selanjutnya disimpan dalam desikator selama satu jam dan ditimbang. Perbedaan berat basah dan berat kering parutan umbi digunakan untuk mengetahui kandungan air umbi dengan rumus:

$$KA (\%) = \frac{BB_1 (g) - BK_1 (g)}{BB_1 (g)} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

BB_1 : Berat hasil parutan umbi porang segar (berat sebelum dikeringkan) (g)

BK_1 : Berat hasil parutan umbi porang yang dikeringkan hingga mencapai berat konstan (g)

KA : Kandungan air yang terkandung dalam umbi porang basah (%)

Kandungan air yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan berat kering umbi yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$BK_2 (g) = BB_2 - [(KA/100 \%) \times BB_2] \quad (2)$$

Keterangan:

BB_2 : Berat umbi porang segar (g)

KA : Kandungan air yang terkandung dalam umbi porang segar (%)

BK_2 : Berat kering umbi porang (g)



Berat kering umbi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan kandungan glukomannan yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kandungan glukomannan (g/g)} = A / BK_2 \quad (3)$$

Keterangan :

A = berat glukomannan yang diperoleh (g)

BK₂ = berat kering umbi (g)

3.6 Ekstraksi dan Analisis Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) dari Umbi Porang

Penentuan kandungan CaOx menggunakan metode Iwuoha & Kalu (1995) yang dimodifikasi melalui tiga tahap, yaitu proses *digest*, presipitasi oksalat, dan titrasi permanganat.

Pada proses *digestion*, hasil parutan porang basah sebanyak 10 g dilarutkan dalam 190 ml akuades kemudian ditambahkan HCl 6 N sebanyak 10 ml. Setelah itu suspensi di panaskan (*digest*) pada suhu 100 °C selama 1 jam dan didinginkan. Setelah didinginkan suspensi ditambahkan akuades hingga volumenya mencapai 250 ml. Suspensi kemudian disaring dengan menggunakan kertas *Whatman*.

Pada presipitasi oksalat, *methyl red* sebanyak 4 tetes ditambahkan pada filtrat. Setelah itu, beberapa tetes NH₄OH ditambahkan hingga pH mencapai 4-4,5. Filtrat kemudian dipanaskan kembali hingga 90 °C dan didinginkan. Filtrat disaring kembali dengan menggunakan kertas *Whatmann* untuk menghilangkan endapan yang mengandung ion Fe (besi). Filtrat dipanaskan dan kemudian ditambahkan 10 ml CaCl₂ 5 %, serta dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*. Larutan setelah itu disentrifugasi selama 10 menit pada 2500 rpm. Supernatan didekantasi dan pellet dilarutkan dengan menggunakan H₂SO₄ 20 % sebanyak 10 ml.

Pada proses titrasi permanganat, pellet yang dilarutkan dengan H₂SO₄ 20 % sebanyak 10 ml ditambahkan dengan akuades hingga volumenya mencapai 100 ml. Larutan tersebut kemudian dipanaskan hingga hampir mendidih. Setelah itu larutan dititrasi dengan menggunakan KMnO₄ 0,1 N yang telah distandarisasi (Lampiran 2) hingga menghasilkan warna pink muda yang redup selama ± 1 menit. CaOx (g) kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:



Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository

$$\text{Kalsium Oksalat CaOx (g)} = \frac{V_{\text{KMnO}_4} \times M_{\text{KMnO}_4} \times 5 \times ME \times DF \times 100}{m_f \times 1000} \quad (4)$$

Keterangan:

- V_{KMnO_4} : Volum KMnO_4 (ml)
 M_{KMnO_4} : Molaritas KMnO_4
 ME : molar equivalent KMnO_4 yang terkandung dalam oksalat
 DF : faktor pengenceran
 m_f : massa porang basah yang digunakan

Sisa hasil parutan irisan umbi porang ditimbang, sebanyak 5 gram, dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan. Sisa parutan yang telah dikeringkan selanjutnya disimpan dalam desikator selama satu jam dan ditimbang. Perbedaan berat basah dan berat kering parutan umbi digunakan untuk mengetahui kandungan air umbi dengan rumus:

$$\text{KA (\%)} = \frac{\text{BB}_1 \text{ (g)} - \text{BK}_1 \text{ (g)}}{\text{BB}_1 \text{ (g)}} \times 100 \% \quad (5)$$

Keterangan:

- BB_1 : Berat hasil parutan umbi porang segar (berat sebelum dikeringkan) (g)
 BK_1 : Berat hasil parutan umbi porang yang dikeringkan hingga mencapai berat konstan (g)
 KA : Kandungan air yang terkandung dalam umbi porang basah (%)

Kandungan air yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan berat kering umbi yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{BK}_2 \text{ (g)} = \text{BB}_2 - [(\text{KA}/100 \%) \times \text{BB}_2] \quad (6)$$

Keterangan:

- BB_2 : Berat umbi porang segar (g)
 KA : Kandungan air yang terkandung dalam umbi porang segar (%)
 BK_2 : Berat kering umbi porang (g)

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya
Repository Universitas Brawijaya

Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository
Repository



Berat kering umbi yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penentuan kandungan kalsium oksalat (CaOx) yang dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kandungan CaOx (g/g)} = C / \text{BK}_2 \quad (7)$$

Keterangan :

C = berat CaOx yang diperoleh (g)

BK_2 = berat kering umbi (g)

3.7 Pembuatan Preparat Semipermanen

Sampel untuk pembuatan preparat diambil dari bagian tepi dan tengah umbi dengan menggunakan metode penjernihan jaringan (metode *clearing*) Ilarslan dkk. (2001) yang telah dimodifikasi. Langkah pertama dilakukan *sampling* dengan membuat irisan pada bagian tengah umbi, dan bagian pinggir umbi. Masing-masing jaringan (bagian pinggir umbi dan bagian tengah umbi) dibuat preparat sebanyak 3 buah. Irisan jaringan diperoleh dengan menggunakan mikrotom geser dengan ketebalan $\pm 10 \mu\text{m}$. Irisan jaringan masing-masing sampel tanaman porang direndam dalam NaOH 5 % pada botol film yang berbeda, dan diinkubasi dalam *oven* bersuhu 37°C selama 24 jam untuk mempercepat penetrasi NaOH 5 % dalam jaringan. Selanjutnya, irisan jaringan masing-masing sampel tanaman porang direndam dalam larutan sodium hipoklorit komersial 50 % selama 1 jam untuk menjernihkan jaringan tanaman kemudian dicuci dengan air mengalir. Irisan jaringan tersebut kemudian direndam dengan EtOH bertingkat dengan urutan konsentrasi larutan, yaitu 30 %, 50 %, 70 %, 80 %, masing-masing selama 10 menit dan direndam dengan EtOH 100 % selama 5 menit. Setelah perendaman dengan EtOH , irisan jaringan tanaman porang diletakkan pada gelas objek yang telah ditetesi hoyer dan ditutup dengan *cover glass*.

3.8 Pengamatan dan Perhitungan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Preparat

Mikroskopis

Preparat masing-masing sampel diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya (binokuler) (Olympus tipe CX31). Keragaman jenis kristal CaOx diamati pada perbesaran 100 x, 400 x. Sedangkan kerapatan kristal dihitung pada perbesaran 100 x dan 1000 x. Kristal CaOx yang teramati pada perbesaran 1000x dikelompokkan pada kristal berukuran kecil



sedangkan yang teramati pada perbesaran 100 x dikelompokkan pada kristal berukuran besar. Jumlah kristal CaOx dihitung pada 3 bidang pandang dari setiap preparat dengan menggunakan *hand tally counter* dan kerapatan masing-masing kristal CaOx dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan total CaOx per slide (S}_1\text{)} = \frac{(\sum \text{ total kristal CaOx}) / 3 \text{ BP}}{\text{Luas BP (cm}^2\text{)}} \quad (5)$$

BP= Bidang Pandang

$$\text{Kerapatan total kristal CaOx per ulangan (U)} = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) / n \quad (6)$$

n = jumlah slide yang dibuat perulangan

$$\text{Kerapatan total kristal CaOx per waktu panen} = (U_1 + U_2 + \dots + U_n) / n \quad (7)$$

n = jumlah ulangan yang dibuat per waktu panen

Luas bidang pandang mikroskop diperoleh dengan melakukan pengukuran diameter bidang pandang mikroskop dengan menggunakan mikrometer okuler dan objektif. Ukuran diameter yang diperoleh disubstitusikan ke dalam rumus luas lingkaran untuk memperoleh luas bidang pandang mikroskop. Satuan luas bidang pandang mikroskop kemudian dikonversikan dari μm^2 ke cm^2 . Setelah itu, kristal-kristal CaOx yang dijumpai pada masing-masing jaringan didokumentasi dengan menggunakan kamera digital.

3.9 Analisis Data

Data kuantitatif dilakukan analisis ragam dengan menggunakan *software SPSS Statistics 17.0* untuk mengetahui pengaruh waktu panen umbi terhadap kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx), dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx). Jika terdapat pengaruh yang nyata maka dilanjutkan dengan Uji Tukey α 0,05. Uji Korelasi Bivariate dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kandungan glukomannan atau CaOx atau kerapatan kristal CaOx terhadap berat umbi porang, hubungan antara kandungan kalsium oksalat (CaOx) terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) dan hubungan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx) atau kerapatan kristal



kalsium oksalat (CaOx). Berat umbi yang dimaksud pada penelitian ini adalah berat kering umbi porang.

Penilaian korelasi berdasarkan rentang angka -1 sampai $+1$ dan rentang angka 0 sampai 1 .

Tanda (+) dan (-) menunjukkan arah hubungan. Tanda (+) menunjukkan hubungan variabel x dan y searah. Semakin besar variabel x maka variabel y juga semakin besar sedangkan tanda (-) menunjukkan hubungan variabel x dan y yang berlawanan. Angka 0 sampai 1 menunjukkan keberadaan korelasi. Angka 0 menunjukkan tidak ada hubungan antara variabel x dan y , sedangkan angka korelasi 1 menunjukkan hubungan sempurna antara variabel x dan y (korelasi yang sangat kuat) (Santoso, 2012). Menurut Santoso (2012), antara rentang angka 0 sampai 1 terdapat tingkatan korelasi dengan pengelompokkan sebagai berikut:

- Angka $0 \rightarrow$ tidak ada korelasi
- Angka $0 < x \leq 0,5 \rightarrow$ korelasi lemah
- Angka $0,5 < x \leq 0,7 \rightarrow$ korelasi kuat
- Angka $0,7 < x \infty 1 \rightarrow$ korelasi sangat

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Umbi yang diperoleh dari tiga waktu panen memiliki perbedaan morfologi, yang meliputi berat dan struktur umbi. Umbi yang dipanen dua minggu sebelum tanaman rebah memiliki berat rata-rata terkecil, yaitu sebesar $338 \pm 12,58$ g (Gambar 16 A). Rata-rata berat umbi yang dipanen pada saat tanaman rebah meningkat drastis yaitu sebesar $882 \pm 345,41$ g yang mencapai hampir tiga kali berat umbi yang dipanen sebelum tanaman rebah (Gambar 16 B). Sedangkan dua minggu setelah tanaman rebah berat umbi rata-rata menurun menjadi $607 \pm 204,29$ g (Gambar 16 C). Baik umbi yang dipanen sebelum tanaman rebah maupun saat tanaman rebah memiliki kondisi yang cukup baik yaitu tidak terserang hama dan kapang. Namun kondisi tersebut berbeda dengan umbi yang dipanen dua minggu setelah tanaman rebah dimana kondisi sebagian mengalami pembusukan karena adanya serangan serangga hama dan kapang.



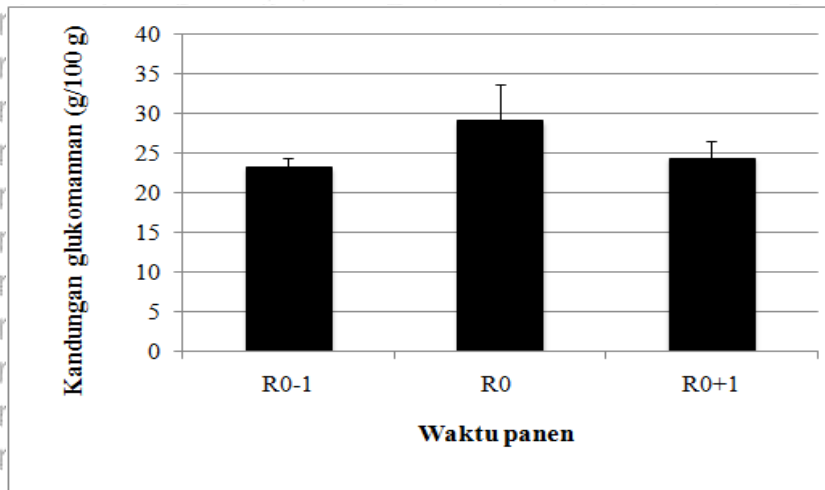
Gambar 16. Morfologi umbi porang yang dipanen pada periode tumbuh ketiga. Keterangan: (A) dua minggu sebelum tanaman rebah, (B) saat tanaman rebah, (C) dua minggu setelah tanaman rebah

4.1 Dinamika Kandungan Glukomannan Umbi Porang (*A. muelleri*) di Tiga Waktu Panen Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antara kandungan glukomannan pada umbi sebelum hingga setelah tanaman rebah yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi yang lebih besar dari nilai α (0,05) (Lampiran 4). Hal tersebut diduga karena interval waktu pemanenan umbi yang tidak terlalu lama, yaitu 2 minggu. Namun



demikian kandungan glukomannan umbi yang dipanen pada saat tanaman rebah cenderung lebih tinggi dibandingkan kandungan glukomannan yang terkandung pada umbi yang diperoleh sebelum dan setelah tanaman rebah (Gambar 17), yaitu sebesar $29,10 \pm 4,57$ g/100 g berat kering.



Gambar 17. Kandungan glukomannan pada tiga waktu panen umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga. Keterangan: (1). R0-1: dua minggu sebelum tanaman rebah (2). R0: saat tanaman rebah (3). R0+1: dua minggu setelah tanaman rebah. Bar vertikal menunjukkan SD (Standard Deviation) (n= 3)

Hal tersebut diduga karena pada saat tanaman rebah akumulasi glukomannan yang merupakan polisakarida cadangan sudah mencapai optimal dan tidak digunakan lagi untuk proses pertumbuhan. Berdasarkan hasil pengamatan Chua dkk. (2013) pengendapan glukomannan dalam idioblas mengikuti pola regulasi temporal, dengan peningkatan ekspresi pada akhir siklus vegetatif, yaitu pada saat tanaman rebah.

Umbi yang dipanen sebelum tanaman rebah (R0-1) cenderung memiliki kandungan glukomannan yang rendah diduga karena glukomannan tersebut masih digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan tanaman. Glukomannan sebagai polisakarida cadangan banyak diakumulasi pada dinding sel primer (Buckeridge dkk., 2000). Namun proses akumulasi tersebut juga diikuti dengan penguraian polisakarida untuk perkembangan embrio dan awal pembentukan tunas hingga muncul helaian daun. Chua dkk. (2013) juga menyatakan bahwa

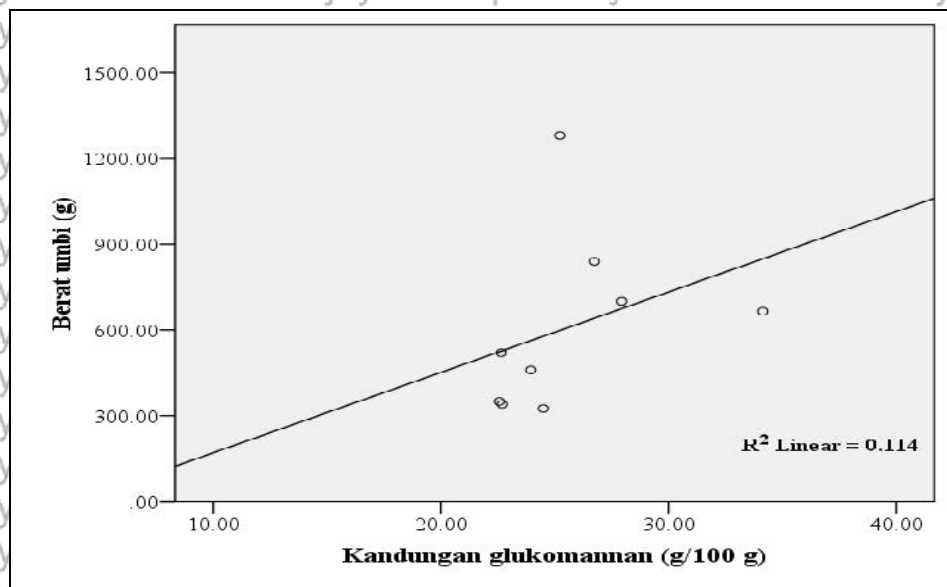


setelah tahap dormansi, kandungan glukomannan dalam *idioblast* secara bertahap menurun selama tahap perkembangan tunas, yaitu mulai dari pembentukan tunas hingga kemunculan helaian daun. Selama awal perkembangan tunas, glukomannan di dalam *idioblast* menurun dan berubah secara bertahap menjadi *low-density* material, yang menghasilkan ekspresi glukomannan yang rendah daripada yang dihasilkan pada tahap dormansi.

Selanjutnya pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah (R0+1) atau pada saat masa dormansi kandungan glukomannan cenderung mengalami penurunan. Hasil pengamatan ini berlawanan dengan penelitian Chua dkk. (2013) yang menunjukkan bahwa umbi pada tahap dormansi memiliki kandungan glukomannan yang cukup tinggi. Brown (2000) dalam Gille dkk. (2011) juga mengungkapkan bahwa kandungan glukomannan pada umbi *A. konjac* berubah selama masa perkembangan dan pertumbuhan tanaman, dan memiliki kandungan glukomannan yang tertinggi tepat sebelum daun layu satu per satu, sebelum fase perkembangan bunga atau dormansi. Perbedaan kandungan glukomannan diduga karena laju fotosintesis yang berbeda karena adanya pengaruh dari faktor genetik dan faktor lingkungan seperti ketersediaan air, ketersediaan CO₂, pengaruh cahaya dan pengaruh suhu (Lakitan, 2008). Hal tersebut mengakibatkan akumulasi glukomannan, yang terbentuk selama proses fotosintesis menjadi berbeda. Perubahan kandungan glukomannan pada umbi *A. konjac* selama masa pertumbuhan dijelaskan pula oleh Liu dkk. (1998). Kandungan glukomannan pada umbi di masa awal pertumbuhan, dimana hanya terdapat umbi induk yang berperan sebagai *source*, menurun secara perlahan, mulai dari 51,5 % hingga 7,2 % . Setelah umbi anakan muncul dan umbi induk menyusut, kandungan glukomannan secara bertahap meningkat hingga akhir masa pertumbuhan vegetatif dari umbi anakan, mulai dari 24,3 % hingga 53,2 %.

Rendahnya kandungan glukomannan pada waktu panen R0+1 (dua minggu setelah tanaman porang rebah) diduga pula dipengaruhi oleh faktor biotik lingkungan (tanah) yaitu serangan kapang dan serangga hama. Beberapa kapang yang hidup di tanah diketahui menghasilkan sejumlah besar enzim *polysaccharide-degrading* yang dapat menguraikan polisakarida dinding sel tanaman, terutama glukomannan, yang menjadi sumber karbon utama dan energi (Hägglund, 2002; De Vries & Visser, 2001; Kirk & Cullen, 1998). Contoh enzim *polysaccharide-degrading* adalah β -mannanase yang dihasilkan oleh *Trichoderma reesei* (Hägglund dkk., 2003) dan β -mannosidase yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger* (Ademark dkk., 1999). Produksi enzim tersebut diinduksi oleh adanya produksi mannan atau galaktomannan. Selain itu, produksi enzim tersebut diregulasi pula oleh hormon tanaman

seperti hormon giberellin dan asam absisat. Berdasarkan penelitian Li dkk. (2012), serangga *Heterapoderopsis bicallosicollis* dapat berasosiasi dengan jamur saprofit dengan membentuk asosiasi fakultatif melalui penguraian polisakarida untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi serangga tersebut. Penelitian Li dkk. (2012) yang menggunakan tiga kapang dominan, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. dan *Cladosporium* sp., menunjukkan bahwa ketiga kapang tersebut mampu menurunkan kandungan karbohidrat terlarut, selulosa dan lignin dalam percobaan inokulasi. Penurunan kandungan tersebut terjadi secara bertahap selama masa perkembangan serangga.



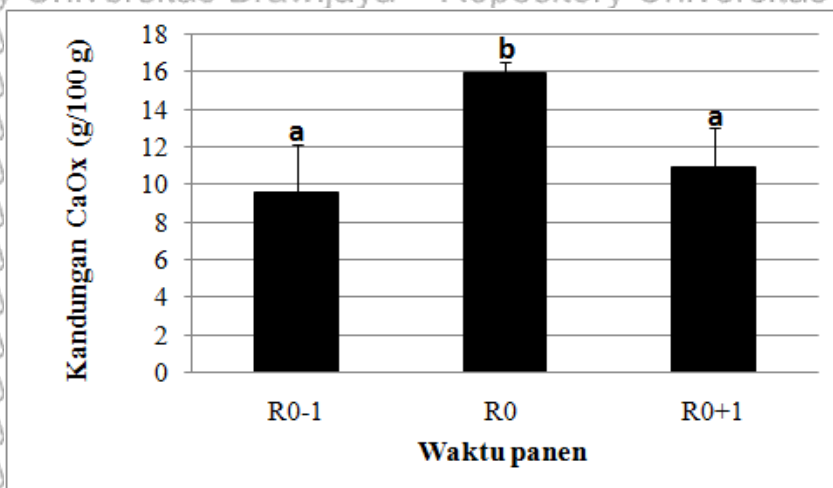
Gambar 18. Hubungan antara kandungan glukomannan dan berat umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga

Umbi yang dipanen pada tiga waktu panen yang berbeda memiliki berat yang bervariasi. Menurut Wargiono (1989) dalam Tifani dkk. (2013) dan Agustina (2004) dalam Lestari (2011), pembentukan cadangan makanan, seperti karbohidrat pada tumbuhan dapat meningkatkan berat umbi. Pada penelitian ini, variasi berat umbi memiliki keterkaitan dengan kandungan glukomannan pada umbi porang karena nilai korelasi yang diperoleh kurang dari 0,5, yaitu sebesar 0,269 (Lampiran 5). Selain itu korelasi yang lemah juga dibuktikan melalui nilai

signifikansi yang lebih besar dari α (0,05), yaitu sebesar 0,485 atau nilai determinasinya sebesar 11 % ($R^2 = 0,114$) (Gambar 18), sehingga dapat dikatakan bahwa 11 % variasi berat umbi dipengaruhi oleh kandungan glukomannan dan 89% dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti karbohidrat dan kandungan air (Agustina, 2004 dalam Lestari, 2011; Komunikasi Pribadi, 2013). Oleh karena itu, semakin tinggi kandungan glukomannan yang terakumulasi di dalam umbi akan menyebabkan berat umbi porang semakin bertambah.

4.2 Dinamika Kandungan Kalsium Oksalat (CaOx) Umbi Porang (*A. muelleri*) di Tiga Waktu Panen pada Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara kandungan kalsium oksalat (CaOx) di ketiga waktu panen yang ditunjukkan oleh nilai signifikansi yang lebih kecil dari nilai α (0,05) (Lampiran 6). Umbi porang yang dipanen pada saat tanaman rebah memiliki kandungan kalsium oksalat (CaOx) paling tinggi, dibandingkan waktu panen lainnya, yaitu sebesar $15,98 \pm 0,60$ g/ 100 g berat kering umbi (Gambar 19). Perbedaan kandungan kalsium oksalat (CaOx) tersebut diduga karena adanya perbedaan metabolisme pada umbi di tiga waktu panen.

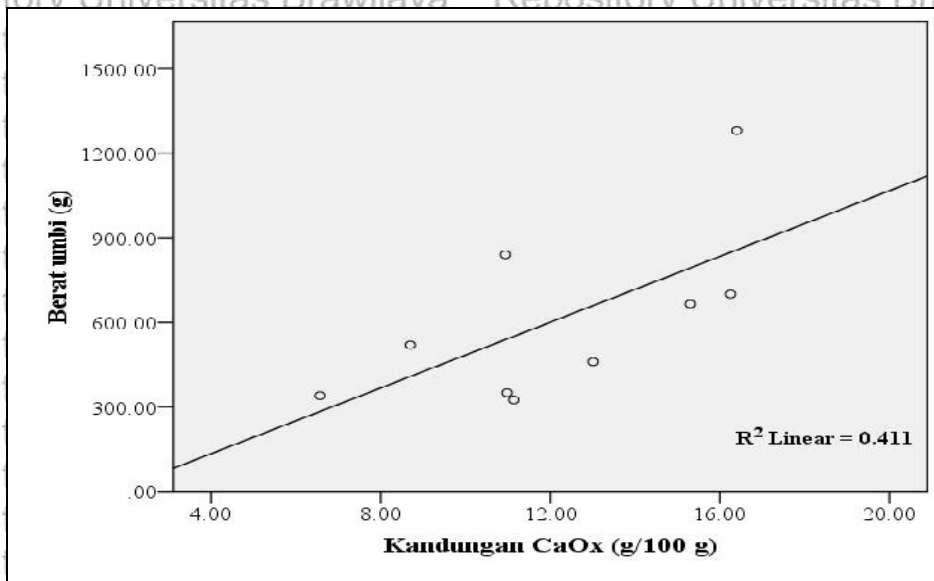


Gambar 19. Kandungan kalsium oksalat (CaOx) di tiga waktu panen pada umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga. Keterangan: huruf yang berbeda (dalam satu gambar) menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan Uji Tukey α 0,05. (1). R0-1: dua minggu sebelum tanaman rebah (2). R0: saat tanaman rebah (3). R0+1: dua minggu setelah tanaman rebah. Bar vertikal menunjukkan SD (*Standard Deviation*) ($n=3$)



Berdasarkan penelitian sebelumnya, kandungan oksalat, yang merupakan senyawa pembentuk kalsium oksalat (CaOx), pada tanaman dapat bervariasi berdasarkan faktor-faktor tertentu, beberapa diantaranya yaitu umur panen, tahap pertumbuhan dan interval pemanenan (Jones & Ford, 1972b; Davis, 1981; Libert & Franceschi, 1987; Okutani & Sugiyama, 1994; Caliskan, 2000; Torell dkk., 2005; Kaminishi & Kita, 2006; Hodgkinson, 1977 dalam Mou, 2008; Rahman & Kawamura, 2011; Abbasi dkk., 2012). Middleton & Barry (1978) juga mengemukakan bahwa kandungan kalsium oksalat (CaOx) pada tanaman rumput-rumputan saat tahap awal pertumbuhan memiliki kandungan oksalat yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tahap pertumbuhan berikutnya yang menunjukkan bahwa kandungan kalsium oksalat pada masing-masing tanaman rumput cenderung mengalami penurunan, terutama di tahap pertumbuhan ketiga.

Tingginya kandungan kalsium oksalat (CaOx) pada umbi yang dipanen tepat saat tanaman rebah (R0) diduga karena adanya peningkatan aktivitas metabolisme tanaman. Pada saat tanaman dewasa diduga aktivitas sintesis glioksilat yang merupakan prekursor pembentuk oksalat juga mengalami peningkatan sehingga kandungan oksalat pada tanaman porang yang dewasa juga mengalami peningkatan. Oksalat yang dihasilkan dari sintesis tersebut akhirnya terakumulasi dalam kandungan yang cukup tinggi pada beberapa organ tanaman, salah satunya yaitu umbi. Dugaan tersebut didukung oleh McGoodwin (2008) yang menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis mengalami peningkatan pada daun tanaman yang *mature*. Adanya peningkatan aktivitas fotosintesis diduga meningkatkan aktivitas fotorespirasi yang mengakibatkan peningkatan sintesis glioksilat yang merupakan prekursor senyawa oksalat. Dugaan tersebut di dukung oleh pernyataan Kisaki & Tolbert (1969), Lindqvist & Brändén (1985), dan Khan (2007) yang menjelaskan bahwa glioksilat dihasilkan melalui proses oksidasi glikolat oleh enzim glikolat oksidase selama proses fotorespirasi. Dikemukakan pula oleh Tolbert (1981) dalam Libert & Franceschi (1987) bahwa glikolat dihasilkan di dalam kloroplas selama proses fotorespirasi dan kemudian diubah menjadi glioksilat di dalam peroksisom. Glioksilat yang dihasilkan merupakan prekursor utama pembentukan oksalat pada tanaman. Pernyataan tersebut juga didukung oleh Burrows & Tyrl (2013) yang menyatakan bahwa konsentrasi oksalat meningkat seiring dengan kedewasaan tanaman. Konsentrasi oksalat paling tinggi pada saat tanaman menjadi tua dan mengering. Selain itu, diduga terdapat faktor lain yang berperan dalam peningkatan kandungan CaOx misalnya laju serapan dan akumulasi kalsium (Cromack dkk., 1978; Volk dkk., 2004; Franceschi & Nakata, 2005).



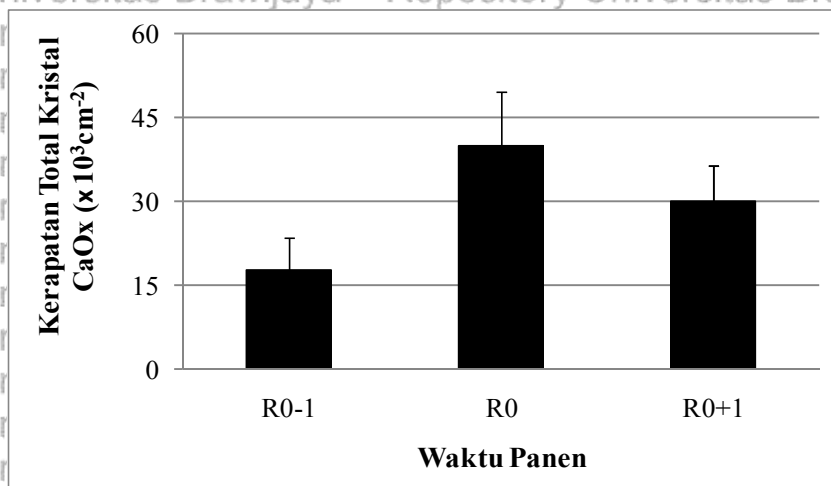
Gambar 20. Hubungan antara kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan berat umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga

Peningkatan metabolisme yang berpengaruh pada peningkatan berat umbi dikarenakan produksi cadangan makanan yang meningkat (Agustina, 2004 dalam Lestari, 2011), juga berpengaruh terhadap peningkatan produksi oksalat, yaitu senyawa pembentuk kalsium oksalat (CaOx) (Kisaki & Tolbert, 1969; Lindqvist & Brändén, 1985; Ilarslan dkk., 1997 dan Khan, 2007). Walaupun keduanya dapat dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme, pada penelitian ini berat umbi dan kandungan kalsium oksalat tidak terlalu berkaitan. Berdasarkan hasil uji korelasi diketahui bahwa kandungan CaOx berkorelasi positif dengan berat umbi. Korelasi tersebut merupakan korelasi yang kuat dikarenakan nilai korelasi yang diperoleh lebih besar dari 0,5, yaitu sebesar 0,636 (Lampiran 7). Namun demikian dikarenakan nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari α (0,05), yaitu sebesar 0,066 atau nilai determinasinya sebesar 41 % ($R^2 = 0,411$) (Gambar 20) sehingga dapat dikatakan bahwa 41 % variasi berat umbi dipengaruhi oleh kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan 59 % lainnya dipengaruhi oleh faktor lain seperti glukomannan, kandungan air dan karbohidrat (Agustina, 2004 dalam Lestari, 2011; Komunikasi Pribadi, 2013).



4.3 Dinamika Kerapatan Total Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang (*A. muelleri*) di Tiga Waktu Panen Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui bahwa kerapatan kristal pada umbi porang diketiga waktu panen tidak ada perbedaan yang nyata. Hal tersebut dapat diketahui dari nilai signifikan yang lebih besar dari nilai α (0,05), yaitu sebesar 0,496 (Lampiran 8). Walaupun tidak memiliki perbedaan, kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang yang dipanen saat tanaman rebah cenderung memiliki kerapatan kristal yang lebih tinggi dibandingkan kerapatan kristal yang terdapat pada tanaman porang sebelum dan setelah rebah, yaitu sebesar 40.020 ± 16.554 kristal/cm² (Gambar 21). Seperti analisis kandungan oksalat, tingginya kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi yang dipanen tepat saat tanaman rebah diduga karena adanya pengaruh waktu panen atau interval panen tanaman porang. Pada saat tanaman dewasa diduga aktivitas sintesis glioksilat yang merupakan prekursor pembentuk oksalat juga mengalami peningkatan sehingga kandungan oksalat pada tanaman porang yang dewasa juga mengalami peningkatan. Oksalat yang dihasilkan dari sintesis akhirnya terakumulasi dalam kandungan yang cukup tinggi pada beberapa organ tanaman, salah satunya yaitu umbi.



Gambar 21. Kerapatan total kristal kalsium oksalat (CaOx) di tiga waktu panen pada umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga. Keterangan: 1). R0-1: dua minggu sebelum tanaman rebah (2). R0: saat tanaman rebah (3). R0+1: dua minggu setelah tanaman rebah,

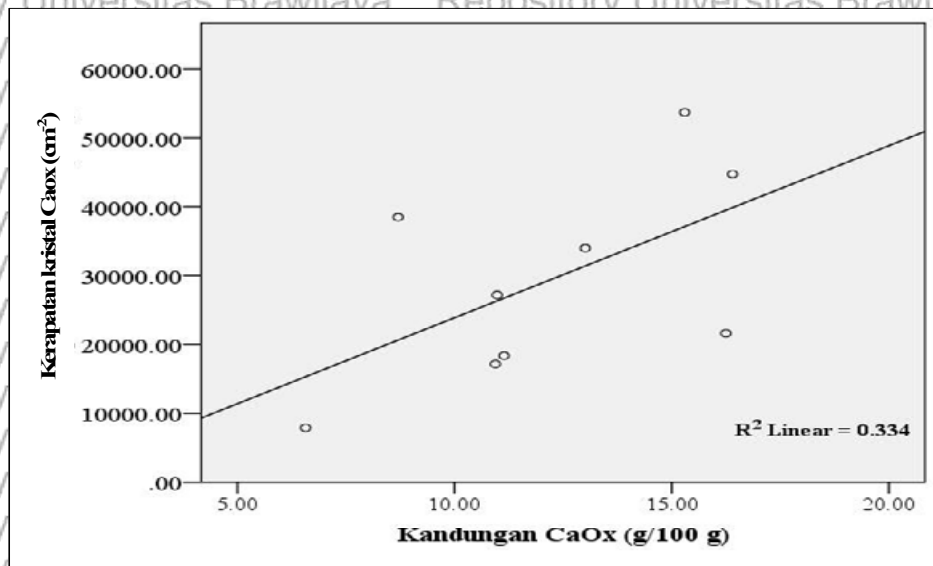


Kerapatan kristal CaOx yang lebih tinggi pada saat tanaman rebah sesuai dengan pernyataan oleh Burrows & Tyrl (2013) yang menyatakan bahwa konsentrasi oksalat meningkat seiring dengan kedewasaan tanaman. Konsentrasi oksalat tersebut memiliki kandungan yang paling tinggi pada saat tanaman menjadi tua dan mengering. Dugaan tersebut didukung oleh McGoodwin (2008) yang menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis mengalami peningkatan pada daun tanaman yang *mature*. Adanya peningkatan aktivitas fotosintesis diduga meningkatkan aktivitas fotorespirasi. Adanya peningkatan fotorespirasi mengakibatkan peningkatan sintesis glioksilat yang merupakan prekursor senyawa oksalat (Kisaki & Tolbert, 1969; Lindqvist & Brändén, 1985; Khan, 2007; Libert & Franceschi, 1987). Glioksilat yang dihasilkan merupakan prekursor utama pembentukan oksalat pada tanaman. Jika oksalat tersebut berikatan dengan Ca yang diperoleh dari lingkungan dengan kadar tertentu, maka akan terbentuk reaksi yang menghasilkan pengendapan di dalam sel khusus, yaitu *idioblast*. Pengendapan tersebut berupa kristal kalsium oksalat (CaOx).

Berdasarkan hasil uji korelasi diketahui bahwa kandungan kalsium oksalat (CaOx) berkorelasi kuat dengan kerapatan kristal CaOx, dengan nilai korelasi $> 0,5$, yaitu sebesar 0,578 (Lampiran 9). Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan kalsium oksalat yang terdapat pada umbi, maka semakin tinggi pula kerapatan kristal CaOx yang terdapat pada umbi tersebut (Gambar 22). Adanya korelasi yang kuat antara kandungan CaOx dengan kerapatan kristal CaOx dikarenakan senyawa CaOx merupakan senyawa yang membentuk kristal CaOx. Menurut Libert & Franceschi (1987); Cao (2003); Franceschi & Nakata (2005), senyawa oksalat yang dihasilkan oleh tumbuhan berperan dalam regulasi kalsium (Ca) di dalam tumbuhan. Oksalat mengikat kalsium (Ca) yang diperoleh dari hasil penyerapan unsur hara dari lingkungan. Reaksi tersebut menghasilkan endapan di dalam sel khusus yang disebut dengan sel *idioblast*. Endapan yang dihasilkan dari reaksi antara oksalat dengan kalsium (Ca) disebut kristal CaOx. Walaupun terdapat korelasi yang kuat antara kandungan kalsium oksalat dengan kerapatan kristal CaOx, korelasi tersebut hasilnya tidak signifikan karena lebih besar dari nilai α (0,05), yaitu sebesar 0,103 atau nilai determinasinya sebesar 33 % ($R^2 = 0,334$) (Gambar 22). Sehingga dapat dikatakan bahwa 33 % kerapatan kristal CaOx dipengaruhi oleh besarnya kandungan CaOx. Kerapatan kristal menunjukkan jumlah kristal persatuan luas. Dari hasil penghitungan determinasi ditunjukkan bahwa banyaknya kristal pada umbi, 33 % dipengaruhi bahan pembentuknya yaitu kalsium oksalat, sedangkan 67 % oleh faktor lainnya, seperti bahan

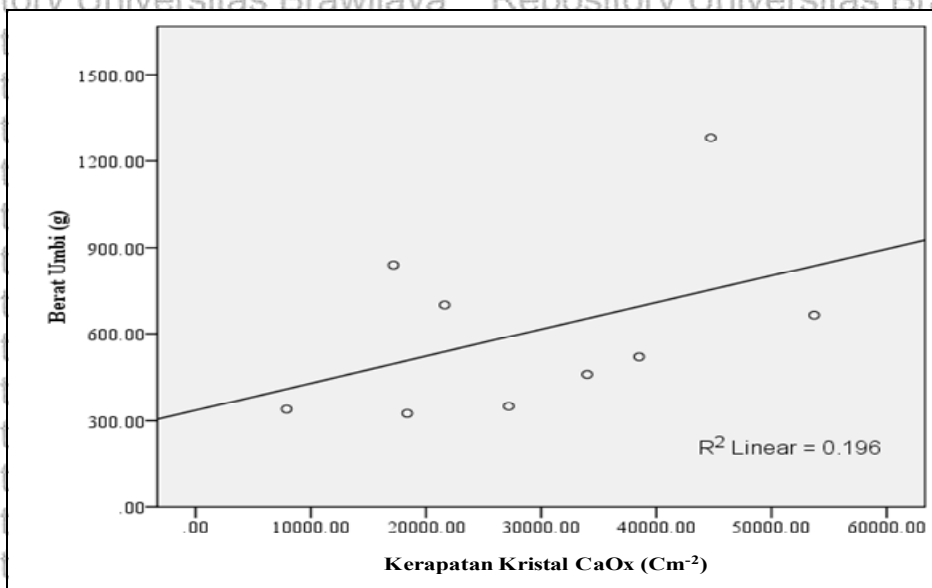


perekat kristal yaitu matriks protein (Li dkk., 2003). Matriks protein tersebut pada kristal CaOx yang ada di *Pistia stratiotes* mempunyai berat 55 kD, 60 kD, dan 63 kD (Li dkk., 2003).



Gambar 22. Hubungan kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang periode tumbuh ketiga

Berdasarkan hasil uji korelasi, diketahui bahwa kerapatan kristal CaOx dan berat umbi porang memiliki nilai korelasi yang lemah, yaitu sebesar 0,443 (Lampiran 10). Selain itu korelasi yang lemah juga dibuktikan melalui nilai signifikansi yang lebih besar dari α (0,05), yaitu sebesar 0,232 atau nilai determinasinya sebesar 19,6 % ($R^2 = 0,196$) (Gambar 23), sehingga dapat dikatakan bahwa 19,6 % kerapatan kristal CaOx dipengaruhi oleh berat umbi. Keterkaitan antara kerapatan kristal CaOx dengan berat umbi porang dikemukakan pula oleh Nurlaila (2013) yang menggunakan uji regresi. Berdasarkan hasil uji tersebut, kerapatan kristal CaOx tidak terkait dengan peningkatan berat umbi porang.



Gambar 23. Hubungan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) dan berat umbi porang pada umbi porang periode tumbuh ketiga

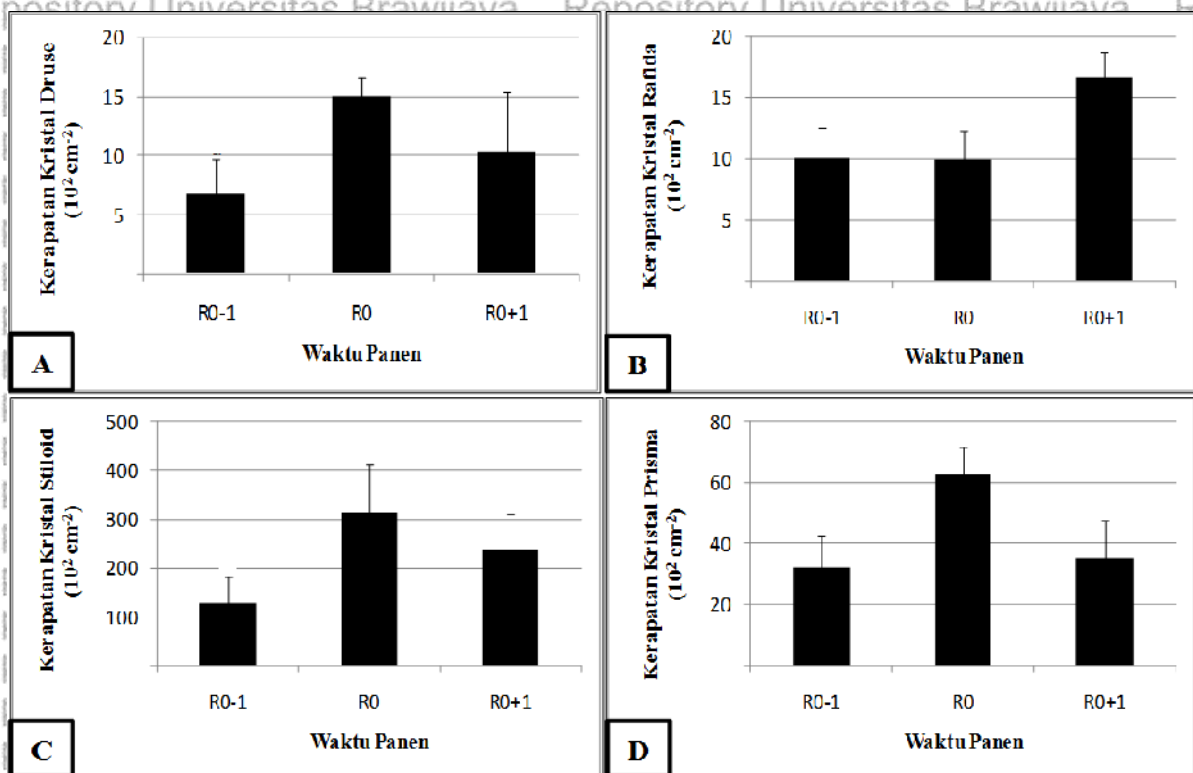
Selain itu, terdapat faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap pembentukan kristal CaOx, yaitu ion kalsium (Ca) dan pengaruh faktor biotik lingkungan seperti serangan serangga hama dan kapang. Berdasarkan hasil penelitian Mazen dkk. (2003), diketahui bahwa level Ca berpengaruh terhadap ukuran dan jumlah kristal CaOx pada tanaman. Ukuran dan jumlah kristal CaOx akan meningkat sejalan dengan peningkatan level Ca pada media penanaman. Dapat dikatakan bahwa semakin tinggi laju serapan maka semakin banyak pula kalsium yang diakumulasi pada tumbuhan. Kalsium yang diakumulasi pada tumbuhan dapat berikatan dengan asam oksalat yang menghasilkan endapan berupa kristal pada sel *idioblast* (Cromack dkk., 1978; Volk dkk., 2004; Franceschi & Nakata, 2005). Menurut Korth dkk. (2006), kristal CaOx berperan dalam mekanisme pertahanan terhadap serangga. Asam oksalat terlarut juga berperan dalam pertahanan terhadap serangga penghisap seperti *planthoper* dan *aphid*.

4.4 Pengaruh Waktu Panen terhadap Kerapatan Masing-masing Bentuk Kristal CaOx pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil uji ANOVA, diketahui bahwa kerapatan kristal *druse*, *rafida*, *stiloid* dan *prisma* pada umbi, yang diperoleh di tiga waktu panen yang berbeda, tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai signifikansi yang lebih besar dari nilai α



(0,05) (Lampiran 11). Tidak adanya perbedaan yang nyata pada kerapatan masing-masing bentuk kristal pada waktu panen yang berbeda diduga karena interval pemanenan yang cukup singkat, yaitu hanya dua minggu, sehingga level aktivitas pembentukan kristal CaOx tidak terlalu jauh berbeda. Walaupun tidak memiliki perbedaan yang nyata, namun pada hasil analisis kerapatan kristal *druse*, *stiloid* dan *prisma* cenderung memiliki kerapatan kristal yang tertinggi pada umbi yang dipanen saat tanaman rebah, yaitu 1.494 ± 286 , 31.280 ± 17.406 dan 6.256 ± 1.533 kristal/ cm^2 dan kerapatan kristal tersebut cenderung mengalami penurunan setelah tanaman rebah atau saat dormansi (Gambar 24 A, C, D). Namun kristal *rafida* yang dijumpai pada saat pengamatan justru mengalami peningkatan kerapatan kristal pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah atau saat dormansi, yaitu sebesar 1.656 ± 368 kristal/ cm^2 (Gambar 24 B).



Gambar 24. Kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga. (A) Kerapatan kristal *druse*, (B) Kerapatan kristal *rafida*, (C) Kerapatan kristal *stiloid*, (D) Kerapatan kristal *prisma*. Keterangan: R0-1: dua minggu sebelum tanaman rebah; R0: saat tanaman rebah; R0+1: dua minggu setelah tanaman rebah. Bar vertikal menunjukkan SD (*Standard Deviation*) ($n=3$)



Penurunan kerapatan kristal *druse*, prisma dan stiloid pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah diduga karena adanya penurunan aktivitas metabolisme dan oksidasi senyawa oksalat, serta keberadaan serangga hama dan kapang yang menyebabkan tumbuhan lebih banyak membentuk kristal rafida sebagai mekanisme pertahanan dibandingkan dengan kristal CaOx lainnya. Tingginya kerapatan kristal kristal *druse*, prisma dan stiloid pada umbi yang dipanen tepat saat tanaman rebah diduga karena adanya pengaruh waktu panen atau interval panen tanaman porang. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan oleh Burrows & Tyrll (2013) yang menyatakan bahwa konsentrasi oksalat meningkat seiring dengan kedewasaan tanaman. Konsentrasi oksalat tersebut memiliki kandungan yang paling tinggi pada saat tanaman menjadi tua dan mengering.

Dugaan pengaruh umur tanaman terhadap kandungan kristal CaOx juga didukung oleh McGoodwin (2008) yang menyatakan bahwa aktivitas fotosintesis mengalami peningkatan pada daun tanaman yang *mature*. Adanya peningkatan aktivitas fotosintesis diduga meningkatkan aktivitas fotorespirasi yang meningkatkan sintesis glioksilat yang merupakan prekursor senyawa oksalat (Kisaki & Tolbert, 1969; Lindqvist & Brändén, 1985; Khan, 2007; Libert & Franceschi, 1987). Glioksilat yang dihasilkan merupakan prekursor utama pembentukan oksalat pada tanaman. Jika oksalat tersebut berikatan dengan Ca yang diperoleh dari lingkungan, maka akan terbentuk pengendapan di dalam sel khusus, yaitu *idioblast*. Pengendapan tersebut berupa kristal kalsium oksalat (CaOx).

Kerapatan kristal rafida yang cenderung meningkat pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah diduga berkaitan dengan sistem pertahanan karena adanya serangan serangga hama dan kapang. Berdasarkan penelitian Sakai dkk. (1972) dan Thurston (1976) dalam Webb (1999), kristal-kristal CaOx *acicular* seperti rafida dan stiloid seringkali terbentuk di dalam sel khusus yang juga menghasilkan senyawa toksin, dan kristal tersebut memudahkan penyebaran racun melalui kulit hewan herbivora. Menurut Sakai dkk. (1972), kristal rafida yang terdapat pada tanaman tertentu dapat menyebabkan iritasi pada mulut dan tenggorokkan hewan herbivora. Iritasi tersebut dapat terjadi secara mekanis oleh kristal CaOx (rafida) itu sendiri atau secara kimiawi oleh zat seperti racun yang terdapat di dalam kristal tersebut.



4.5 Variasi Jenis Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang di Ketiga Waktu

Panen selama Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil pengamatan bentuk-bentuk kristal pada umbi porang yang diamati di tiga waktu panen pada periode tumbuh ketiga, dijumpai empat bentuk dasar kristal CaOx, yaitu (1) kristal *druse*, (2) kristal rafida yang terdiri dari rafida panjang dan pendek, (3) kristal prisma dan (4) kristal stiloid. Kristal-kristal tersebut berdasarkan bentuknya memiliki kisaran ukuran dan variasi jenis yang berbeda-beda. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pernyataan Chairiyah dkk. (2013) yang menyebutkan bahwa kristal-kristal CaOx yang dijumpai pada tanaman porang (*Amorphophallus muelleri*) memiliki empat bentuk dasar, yaitu kristal *druse*, rafida, prisma dan stiloid. Kristal-kristal CaOx tersebut cukup bervariasi. Variasi tersebut meliputi ukuran, struktur kristal, unit penyusun kristal, warna, dan jenisnya. Namun variasi kristal CaOx yang dijumpai pada penelitian ini lebih sedikit dibandingkan dengan variasi kristal CaOx yang dijumpai pada penelitian Chairiyah dkk. (2013), yang menemukan 72 jenis kristal CaOx pada tanaman porang, yaitu hanya 43 jenis kristal saja. Sedikitnya variasi jenis kristal CaOx yang dijumpai pada penelitian ini diduga karena kurangnya nutrisi pada media penanaman sehingga pembentukan berbagai jenis kristal CaOx menjadi terbatas. Berdasarkan hasil penelitian juga dapat diketahui bahwa variasi jenis kristal CaOx cenderung sama di ketiga waktu panen sehingga dapat dikatakan bahwa waktu panen yang berbeda tidak berpengaruh terhadap variasi jenis kristal CaOx (Tabel 1).

Tabel 1. Keragaman jenis kristal CaOx pada umbi porang (*A. muelleri*) di tiga waktu panen yang berbeda

No	Jenis Kristal CaOx	Umbi porang (%)		
		Sebelum tanaman rebah	Saat tanaman rebah	Setelah tanaman rebah
1	Kristal <i>Rafida</i> (n = 37)	100	100	100
2	Kristal <i>Druse</i> (n = 3)	100	100	100
3	Kristal <i>Prisma</i> (n = 2)	100	100	100
4	Kristal <i>Stiloid</i> (n = 1)	100	100	100

Keterangan: n: 100%



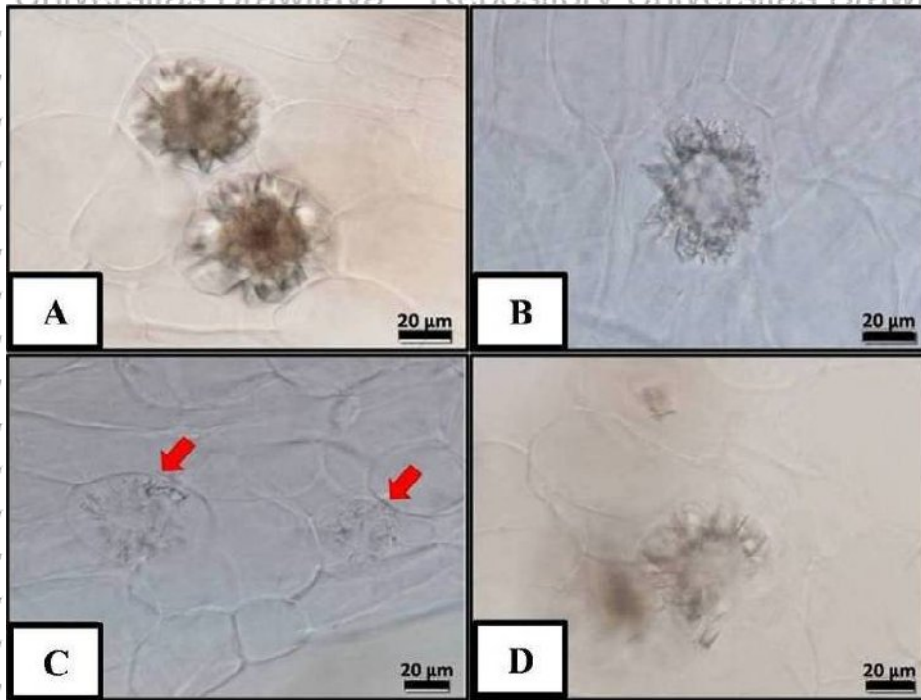
a. Kristal *Druse*

Pada penelitian ini, ukuran kristal *druse* besar yang dijumpai hanya berkisar 30-80 μm . Pada pengamatan preparat, hanya menjumpai satu *druse* kecil yang berukuran 11,20 μm . Selain itu tidak dijumpai kristal *druse* yang berbentuk seperti mie jika diamati di mikroskop dengan perbesaran lemah. Kristal *druse* yang dijumpai pada penelitian ini adalah kristal *druse* solid, *druse* semisolid dan *druse* longgar. Klasifikasi tiga jenis kristal *druse* tersebut didasarkan pada perbedaan susunan globular kristal yang menyusun kristal *druse* (Tabel 2).

Tabel 2. Jenis-jenis kristal *druse* pada umbi tanaman porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga

Jenis	Diameter (μm)	Penyusun Globular	Unit Penyusun
<i>Druse</i> Solid	20-80	Penuh	Seperti Kelopak Mawar
<i>Druse</i> Semisolid		Hanya Tepi	Seperti Kelopak Mawar
<i>Druse</i> Longgar		Berjarak/ Renggang	Serpihan Kaca

Susunan globular kristal pada kristal *druse* semisolid membentuk cekungan pada bagian tengah sehingga jika kristal diamati dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran lemah, kristal tersebut seperti membentuk cincin karena pada bagian tengahnya terlihat kosong (Gambar 25 B). Susunan globular kristal pada kristal *druse* solid, membentuk bulatan sempurna, tidak terdapat cekungan pada strukturnya, sehingga jika kristal diamati dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran lemah, kristal *druse* solid akan terlihat seperti bentukan bunga mawar (Gambar 25 A). Susunan globular kristal pada kristal *druse* longgar, terlihat membentuk susunan globular yang kurang sempurna sehingga jika kristal diamati dengan menggunakan mikroskop pada perbesaran lemah, kristal *druse* longgar tampak seperti serpihan kaca yang berjarak atau renggang (Gambar 25 C). Kristal-kristal *druse* yang dijumpai pada penelitian ini umumnya terletak di dalam sel khusus yang disebut dengan *idioblast*. Namun ada pula kristal *druse* yang berada di dalam *idioblast* yang rusak (Gambar 25 D).



Gambar 25. Morfologi kristal *druse* yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga: (A) kristal *druse* solid; (B) kristal *druse* semisolid; (C) kristal *druse* longgar; (D) kristal *druse* dengan *idioblast* yang rusak.

Hasil pengamatan kristal *druse* yang dilakukan pada penelitian ini berbeda dengan hasil penelitian Chairiyah dkk. (2013) yang mengungkapkan bahwa kerapatan kristal *druse* kecil yang dijumpai pada umbi cukup melimpah dan ukuran kristal *druse* besar dapat mencapai 135 µm. Perbedaan variasi kristal *druse* tersebut diduga karena adanya faktor genetik dan lingkungan, seperti media penanaman. Dugaan tersebut didukung oleh Franceschi & Nakata (2005), yang menjelaskan bahwa variasi ukuran kristal dalam satu spesies dipengaruhi oleh faktor intrinsik (faktor genetik), seperti fungsi sel yang menjadi tempat pembentukan kristal dan faktor lingkungan, seperti jumlah kalsium yang tersedia selama proses pembentukan kristal. Berdasarkan penelitian Prychid dkk. (2008), Kristal *druse* yang dijumpai pada seluruh tanaman *Amorphophallus* sp. memiliki jumlah dan ukuran yang beraneka ragam, mulai dari satu atau beberapa kristal kecil. Masing-masing *druse* merupakan kumpulan dari berbagai macam bentuk kristal yang saling berlekatan satu sama lain.



b. Kristal Rafida

Kristal rafida yang dijumpai selain memiliki variasi ukuran dan bentuk juga memiliki variasi warna (Tabel 3). Kristal rafida dijumpai dalam bentuk berkas dan tunggal (Gambar 26 B) yang berwarna hitam, coklat, coklat tua, coklat kemerahan maupun transparan dengan kisaran ukuran, yaitu rafida panjang dengan ukuran 130-260 μm , rafida pendek dengan ukuran 30-80 μm dan kristal rafida yang sangat kecil yang berukuran 15-20 μm . Pengklasifikasian kristal rafida pada penelitian ini didasarkan pada perbedaan bentuk dan susunan kristal rafida yang terdapat pada jaringan (Gambar 26).

Tabel 3. Jenis-jenis kristal rafida pada umbi tanaman porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga

Jenis	Warna	Panjang (μm)	Ketebalan (μm)	Susunan Tepi	Organisasi Kristal	Ket. Tambahan	
Berkas	H	130-260	$\pm 4-6$	Rt	T	R	-*)
				TRt	T	R	*)
				TRt	T	TR	*)
				TRt	T	TR	ST
				TRt	TT	TR	-*)
				Rt	T	R	-*)
	C	30-80	1,50-2,00	TRt	T	TR	*)
				TRt	T	TR	ST
				TRt	TT	TR	*)
				TRt	T	TR	-*)
				TRt	T	R	-*)
				TRt	T	TR	-*)
Ct	30-80	1,50-2,00	TRt	T	TR	ST	
			TRt	TT	TR	*)	
			Rt	T	R	*)	
			TRt	T	R	*)	
			TRt	T	TR	*)	
			TRt	TT	TR	*)	

Tabel 3. Lanjutan

Jenis	Warna	Panjang (µm)	Ketebalan (µm)	Susunan Tepi	Organisasi Kristal	Ket. Tambahan
	Ck	30-80	1,50-2,00	TRt	T	TR
				TRt	T	TR
				TRt	TT	TR
				Rt	T	R
				TRt	T	R
				TRt	T	TR
				TRt	TT	TR
				Rt	T	R
				TRt	T	R
				TRt	T	R
Tunggal	Tr	130-260	± 4-6	-*)	TT	-*)
		30-80	1,50-2,00	-*)	TT	-*)

Keterangan: *) (-): tidak dapat diamati dengan jelas; Rt : Rata; H: Hitam; C: Coklat; TRt: Tidak Rata; Ct: Coklat tua; T: Terorganisasi; Ck: Coklat Kemerahan; TT: Tidak Terorganisasi; Tr: Transparan; R: Rapi; TR: Tidak Rapi; ST: Saling Tusuk

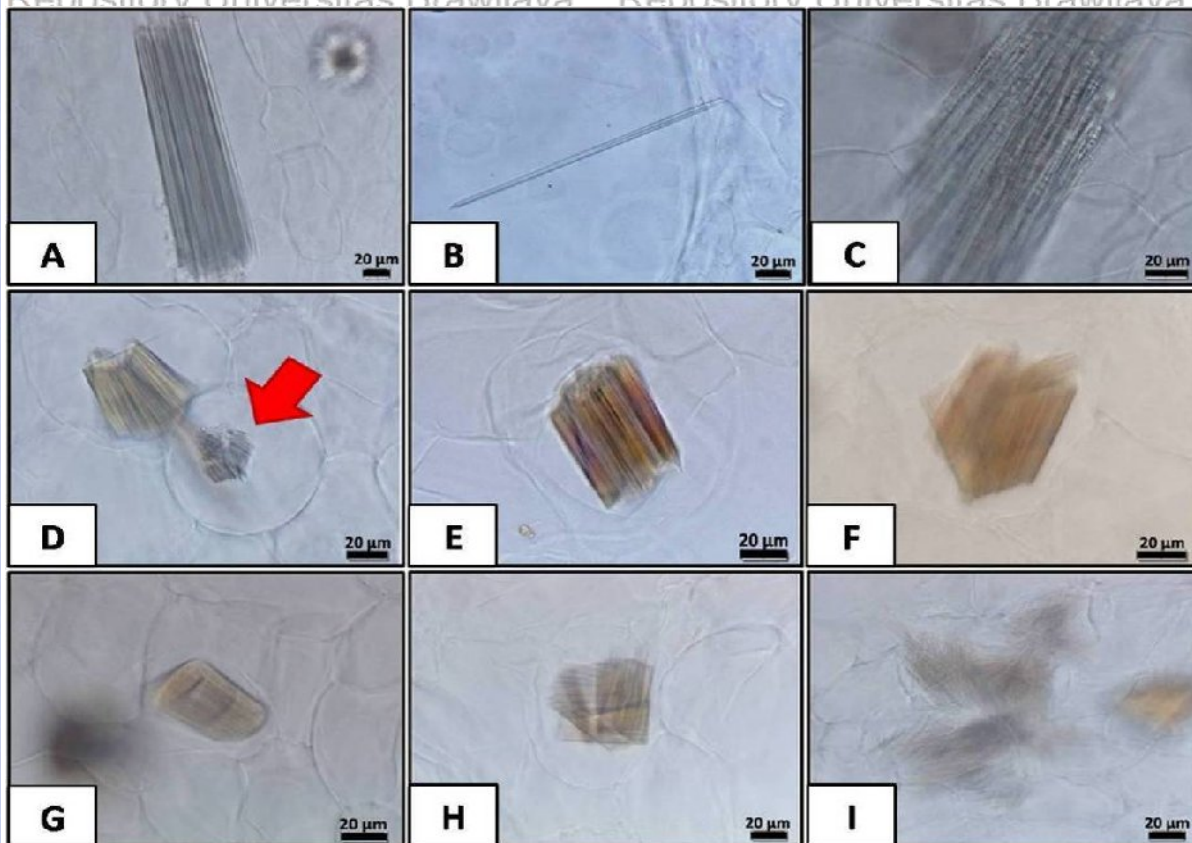
Kristal rafida berkas yang terorganisasi adalah kristal rafida yang terdiri dari sekumpulan rafida tunggal yang masih berlekatan satu sama lain dalam satu berkas (Gambar 26 A, C, D, E, F, G dan H). Sedangkan bentuk berkas yang tidak terorganisasi terdiri dari sekumpulan rafida tunggal yang tidak berlekatan dan tersusun tidak teratur walaupun masih dalam satu kelompok. Rafida berkas yang rapi terdiri dari rafida tunggal yang tersusun sejajar dan saling berlekatan (Gambar 26 A). Sebaliknya rafida berkas yang tidak rapi terdiri dari rafida tunggal yang tidak sejajar (Gambar 26 I). Pada kristal rafida berkas dijumpai adanya struktur yang khas, yaitu saling tusuk (Gambar 26 F, G dan H).

Pada penelitian ini dijumpai pula kristal rafida yang berbentuk seperti kumpulan serpihan rambut (Gambar 26 I). Dikatakan seperti kumpulan serpihan rambut karena kristal berkas tersebut terdiri kristal-kristal tunggal yang sangat tipis sehingga jika dilihat melalui mikroskop terlihat seperti kumpulan rambut. Umumnya kristal rafida panjang dan kristal rafida pendek yang dijumpai pada penelitian memiliki ketebalan ± 4-6 µm dan ± 1,50 - 2,00 µm, maka kristal rafida yang berbentuk seperti kumpulan rambut tersebut memiliki ketebalan <1 µm. Kristal rafida yang berbentuk serpihan rambut umumnya berwarna coklat dan hitam.

Selain itu terdapat pula kristal rafida yang sangat kecil karena hanya berukuran ± 15-20 µm (Gambar 26 D). kristal tersebut umumnya berwarna hitam. Kristal ini sering dijumpai dengan susunan tepi tidak rata, terorganisasi tidak rapi, tidak terorganisasi dan saling tusuk. Kristal



tersebut dapat dijumpai di dalam sel *idioblast* kristal CaOx . Jika diamati melalui mikroskop dengan perbesaran lemah, kristal tersebut terlihat seperti kristal stiloid.



Gambar 26. Morfologi kristal rafida yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga: (A) kristal rafida hitam panjang tepi rata; (B) kristal rafida tunggal panjang; (C) kristal rafida yang terlihat rapuh; (D) kristal rafida yang sangat kecil; (E) kristal rafida cokelat kemerahan pendek tepi tidak rata; (F) kristal rafida cokelat muda pendek saling tusuk yang berbentuk prisma; (G) kristal rafida cokelat tua pendek saling tusuk yang berbentuk tabung; (H) kristal rafida cokelat tua pendek saling tusuk dengan susunan yang tidak teratur; (I) kristal rafida hitam pendek yang berbentuk seperti serpihan rambut

Pada penelitian ini memiliki variasi warna kristal yang lebih sedikit dibandingkan dengan penelitian Chairiyah dkk. (2013) yang menjumpai kristal CaOx yang berwarna kuning dan kuning kehijauan pada tanaman porang. Walaupun memiliki variasi warna yang lebih sedikit, pada penelitian ini, ditemukan variasi baru ukuran kristal rafida pada tanaman porang yang berbeda dengan penelitian sebelumnya, yaitu 15-20 μm . Pada penelitian ini juga diketahui



bahwa terdapat variasi ketebalan kristal rafida. Pada kristal rafida panjang, baik berkas maupun tunggal, umumnya memiliki ketebalan kristal $\pm 4-6 \mu\text{m}$. Kristal rafida pendek, baik berkas maupun tunggal, umumnya memiliki ketebalan kristal $\pm 1,50-2,00 \mu\text{m}$ sedangkan kristal rafida serpihan rambut umumnya memiliki ketebalan $< 1 \mu\text{m}$. Perbedaan variasi jenis dan ukuran kristal rafida tersebut diduga karena adanya faktor genetik dan lingkungan, seperti media penanaman. Dugaan tersebut didukung oleh Franceschi & Nakata (2005), yang menjelaskan bahwa variasi ukuran kristal dalam satu spesies dipengaruhi oleh faktor intrinsik (faktor genetik), seperti fungsi sel yang menjadi tempat pembentukan kristal dan faktor lingkungan, seperti jumlah kalsium yang tersedia selama proses pembentukan kristal.

c. Kristal Prisma

Variasi kristal prisma yang dijumpai pada penelitian ini hanya memiliki dua variasi jenis saja, yaitu kristal prisma segi empat dan enam (Gambar 27). Kristal tersebut umumnya dijumpai dalam bentuk tunggal saja. Kristal prisma yang dijumpai pada penelitian ini umumnya memiliki ukuran $3-25 \mu\text{m}$. Berdasarkan hasil pengamatan preparat, hanya dijumpai dua variasi kristal prisma pada umbi porang. Hasil tersebut berbeda dengan hasil pengamatan Chairiyah dkk. (2013) yang menemukan delapan variasi kristal prisma. Perbedaan variasi jenis dan ukuran kristal rafida tersebut diduga karena adanya faktor genetik dan lingkungan, seperti media penanaman. Dugaan tersebut didukung oleh Franceschi & Nakata (2005), yang menjelaskan bahwa variasi ukuran kristal dalam satu spesies dipengaruhi oleh faktor intrinsik (faktor genetik), seperti fungsi sel yang menjadi tempat pembentukan kristal dan faktor lingkungan, seperti jumlah kalsium yang tersedia selama proses pembentukan kristal.



Gambar 27. Kristal prisma segienam yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga



d. Kristal Stiloid

Kristal stiloid yang dijumpai pada penelitian ini hanya memiliki satu variasi saja. Kristal tersebut berwarna transparan dan umumnya berukuran 3-20 μm (Gambar 28). Kristal tersebut sering dijumpai berkelompok dengan susunan yang tidak teratur. Hasil tersebut berbeda dengan hasil pengamatan Chairiyah dkk. (2013) yang menemukan delapan variasi kristal prisma. Perbedaan variasi jenis dan ukuran kristal rafida tersebut diduga karena adanya faktor genetik dan lingkungan, seperti media penanaman. Dugaan tersebut didukung oleh Franceschi & Nakata (2005), yang menjelaskan bahwa variasi ukuran kristal dalam satu spesies dipengaruhi oleh faktor intrinsik (faktor genetik), seperti fungsi sel yang menjadi tempat pembentukan kristal dan faktor lingkungan, seperti jumlah kalsium yang tersedia selama proses pembentukan kristal.



Gambar 28. Kristal stiloid yang terdapat pada umbi porang periode tumbuh ketiga (panah merah)

4.6 Pengaruh Waktu Panen terhadap Ukuran Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada

Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga

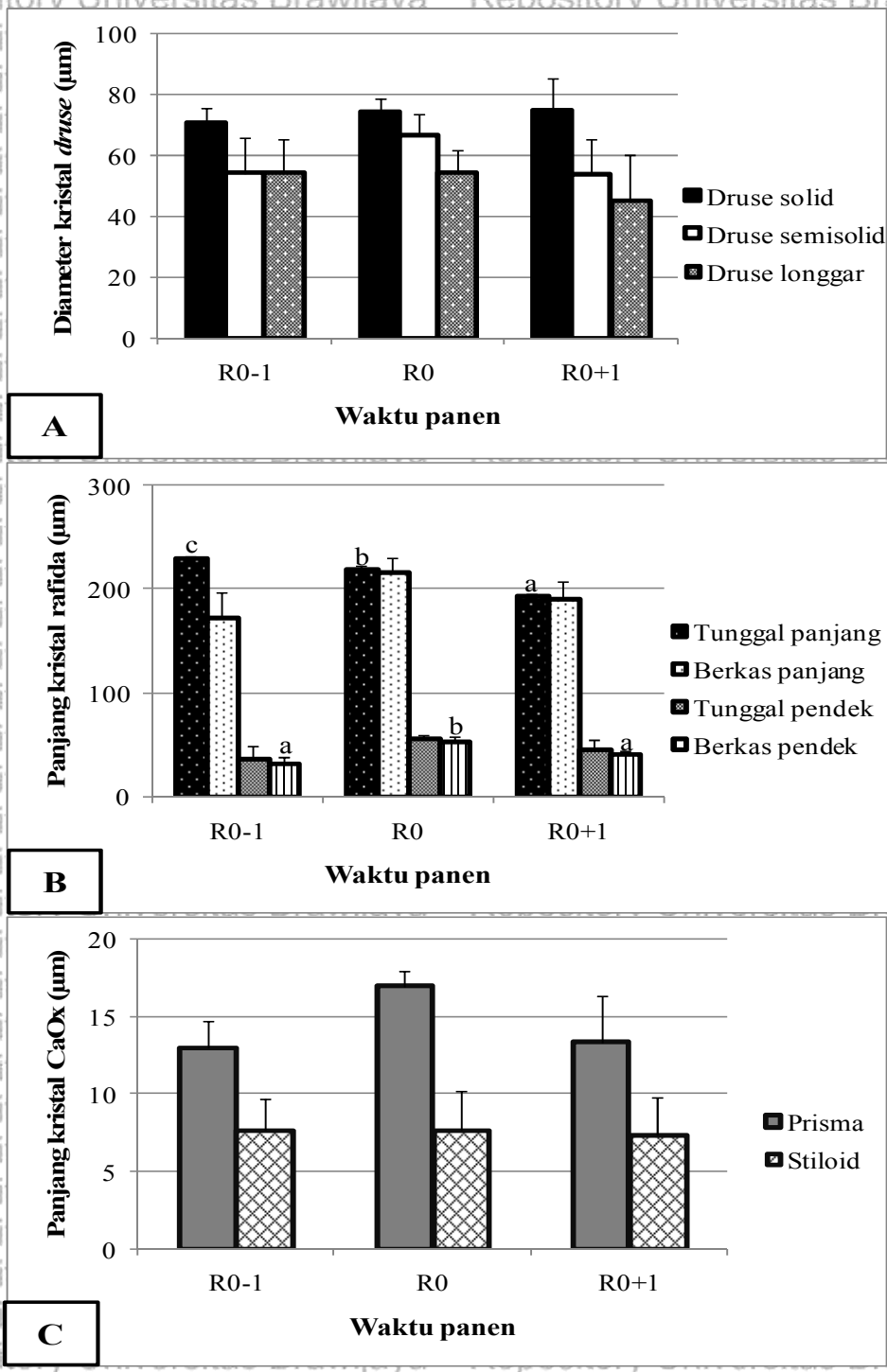
Berdasarkan hasil analisis ragam, diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada dinamika ukuran kristal rafida tunggal panjang dan rafida berkas pendek yang berasal dari umbi di tiga waktu panen yang berbeda. Ukuran rafida tunggal panjang yang terbesar dijumpai pada umbi yang dipanen sebelum tanaman rebah, yaitu sebesar $229,67 \pm 2,08 \mu\text{m}$. Ukuran rafida berkas pendek yang terbesar dijumpai pada umbi yang dipanen saat tanaman rebah, yaitu sebesar $53,67 \pm 3,51 \mu\text{m}$. Perbedaan ukuran kristal rafida tunggal panjang dan rafida berkas



pendek pada umbi yang dipanen di tiga waktu panen yang berbeda diduga karena adanya regulasi temporal.

Variasi ukuran pada kristal *druse* solid, *druse* semisolid, *druse* longgar, rafida berkas panjang, rafida tunggal pendek, prisma dan stiloid tidak terdapat perbedaan yang signifikan (Lampiran 12). Walaupun demikian, ukuran kristal pada umbi memiliki kecenderungan perbedaan ukuran kristal CaOx di ketiga waktu panen (Gambar 29). Ketika tanaman porang rebah, ukuran kristal *druse* semisolid (Gambar 29 A), rafida berkas panjang, rafida berkas pendek, rafida tunggal pendek (Gambar 29 B) dan prisma (Gambar 29 C), yang terdapat pada umbi cenderung lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal pada saat sebelum dan setelah tanaman porang rebah. Namun variasi ukuran kristal tersebut berbeda dengan variasi ukuran kristal *druse* solid (Gambar 29 A), pada saat tanaman porang rebah, ukuran kristalnya cenderung sama dengan ukuran kristal pada saat setelah tanaman rebah. Variasi ukuran tersebut juga berbeda dengan variasi ukuran kristal *druse* longgar (Gambar 29 A) dan stiloid (Gambar 29 C), pada saat tanaman porang rebah, ukuran kristalnya cenderung sama dengan ukuran kristal pada saat sebelum tanaman rebah. Demikian juga dengan variasi ukuran kristal rafida tunggal panjang (Gambar 29 B) yang ukuran kristalnya lebih besar ketika sebelum tanaman rebah dibandingkan dengan ukuran kristal pada saat tanaman rebah dan setelah tanaman rebah.

Ukuran kristal CaOx tidak hanya dipengaruhi oleh waktu panen namun juga dipengaruhi oleh level Ca. Menurut Mazen dkk. (2003), diketahui bahwa ukuran dan jumlah kristal pada tanaman akan meningkat sejalan dengan peningkatan level Ca pada media penanaman. Pengaturan morfologi kristal CaOx sangatlah kompleks. *Mutation affecting protein*, lipid, polisakarida berkontribusi untuk perubahan ukuran dan bentuk kristal CaOx (Nakata & Mc, Conn, 2000). Dugaan tersebut didukung oleh Franceschi & Nakata (2005), yang menjelaskan bahwa variasi ukuran kristal dalam satu spesies dapat dipengaruhi oleh faktor intrinsik (faktor genetik), seperti fungsi sel yang menjadi tempat pembentukan kristal dan faktor lingkungan, seperti jumlah kalsium yang tersedia selama proses pembentukan kristal.

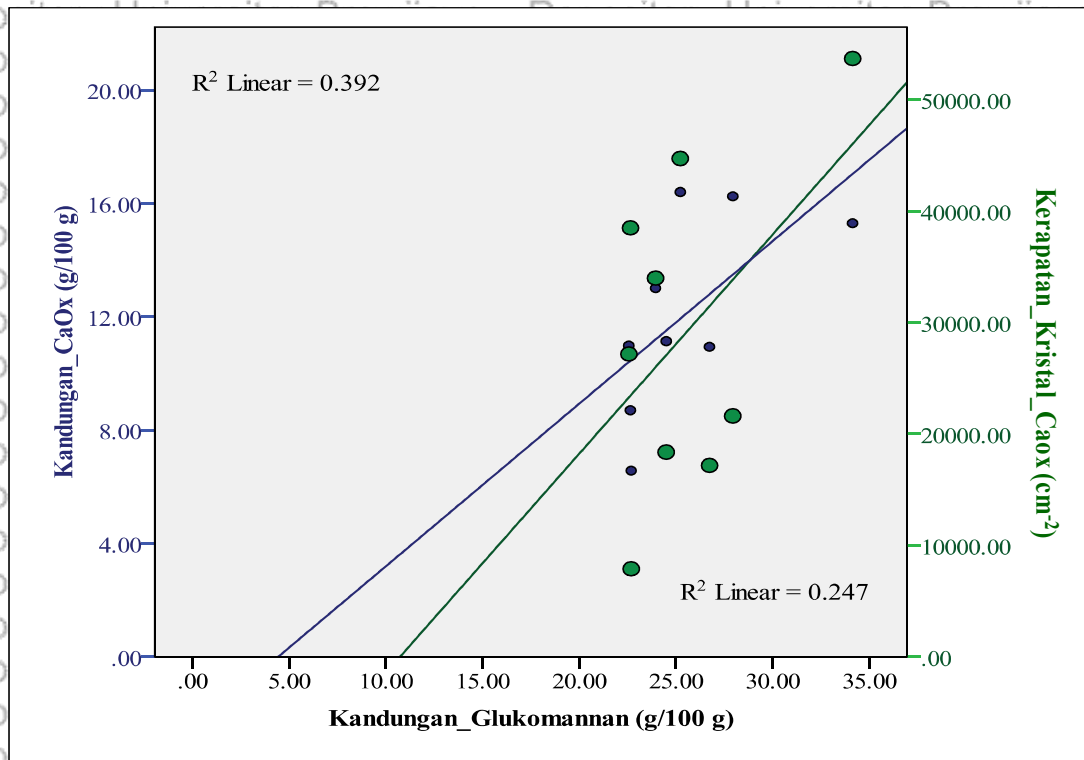


Gambar 29. Ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx) pada umbi porang (*A. muelleri*) periode tumbuh ketiga: (A) druse, (B) rafida, (C) prisma dan stiloid. Keterangan: huruf yang berbeda (dalam satu gambar) pada bentuk kristal yang sama menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan Uji Tukey α 0,05; R0-1: dua minggu sebelum tanaman rebah; R0: saat tanaman rebah; R0+1: dua minggu setelah tanaman rebah. Bar vertikal menunjukkan SD (*Standard Deviation*) (n=3)



4.7 Keterkaitan Antara Kandungan Glukomannan, Kalsium Oksalat (CaOx) dan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang Periode Tumbuh Ketiga

Berdasarkan hasil peninjauan, baik kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal CaOx memiliki kandungan dan kerapatan yang paling tinggi pada umbi yang dipanen saat tanaman rebah. Namun, akumulasi tersebut cenderung mengalami penurunan setelah tanaman rebah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan glukomannan maka semakin tinggi pula kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx. Dari fenomena tersebut dapat dikatakan bahwa, kandungan glukomannan dan CaOx, serta kerapatan kristal CaOx berbanding lurus.



Gambar 30. Keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx

Hasil uji korelasi menunjukkan adanya korelasi positif yang kuat antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan korelasi positif yang lemah antara kandungan glukomannan terhadap kerapatan kristal CaOx, dengan masing-masing nilai korelasi sebesar,



0,626 dan 0,497. Namun korelasi antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx tidak signifikan, dengan masing-masing nilai signifikansi sebesar 0,071 dan 0,174. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan glukomannan maka semakin tinggi pula kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx. Tingginya kandungan glukomannan diduga akan meningkatkan sintesis CaOx dan kristal CaOx (Lampiran 13).

Berdasarkan hasil analisis diketahui pula bahwa korelasi antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx masing-masing memiliki nilai determinansi sebesar 39,2 % ($R^2 = 0,392$) dan 24,7 % ($R^2 = 0,247$). Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa 39,2 % kandungan CaOx dan 24,7 % kerapatan kristal CaOx dipengaruhi oleh adanya kandungan glukomannan. Keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan CaOx dan kerapatan kristal CaOx dikemukakan oleh Wang dkk. (2013). Berdasarkan hasil penelitian Wang dkk. (2013) diungkapkan bahwa glukomannan *konjac* memiliki keterkaitan dengan ion kalsium (Ca). Kandungan glukomannan yang rendah mencegah terjadinya agregasi kalsium oksalat (CaOx) monohidrat, meningkatkan konsentrasi ion, mengurangi jumlah kristal CaOx dan menghambat pertumbuhannya. Umumnya kristal CaOx monohidrat yang dijumpai pada saat kandungan glukomannan rendah berbentuk bulat dan tumpul. Fenomena yang berbeda terjadi pada saat kandungan glukomannan tinggi. Adanya kandungan glukomannan yang tinggi memicu pembentukan dan pertumbuhan kristal CaOx monohidrat yang muncul dalam bentuk yang tidak teratur atau seperti lembaran.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kandungan glukomannan dan kerapatan kristal CaOx cenderung lebih tinggi pada umbi porang yang dipanen saat tanaman rebah, masing-masing sebesar $29,10 \pm 4,57$ g/100 g dan 40.020 ± 16.554 kristal/cm². Kandungan kalsium oksalat (CaOx) tertinggi dijumpai pada umbi porang yang dipanen saat tanaman rebah, yaitu sebesar $15,98 \pm 0,60$ g/100 g. Peningkatan kandungan glukomannan, CaOx dan kerapatan kristal CaOx dapat meningkatkan berat umbi porang. Peningkatan kandungan CaOx dan glukomannan dapat menyebabkan bertambahnya jumlah kristal CaOx. Peningkatan kandungan glukomannan dapat meningkatkan kandungan CaOx pada umbi porang. Kerapatan kristal *druse*, *stiloid* dan *prisma* memiliki kerapatan yang cenderung tinggi pada umbi yang dipanen saat tanaman rebah, yaitu 1.494 ± 286 , 31.280 ± 17.406 dan 6.256 ± 1.533 kristal/cm², dan mengalami penurunan kerapatan setelah tanaman rebah. Kristal *rafida* yang dijumpai pada saat pengamatan justru mengalami peningkatan kerapatan kristal pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah atau saat dormansi, yaitu sebesar 1.656 ± 368 kristal/cm². Dari hasil pengamatan mikroskopis, variasi bentuk kristal *stiloid*, *prisma druse* dan *rafida* di ketiga umur panen cenderung seragam, masing-masing mempunyai 1, 2, 3 dan 37 variasi. Dari hasil analisis variasi ukuran jenis kristal yang terdapat pada umbi porang hanya dua jenis kristal, yaitu kristal *rafida* tunggal panjang dan *rafida* berkas pendek, yang diduga dipengaruhi oleh regulasi temporal.

5.2 Saran

Mengingat kandungan glukomannan pada umbi porang di tiga umur panen yang tidak berbeda signifikan dan kandungan CaOx serta kerapatan kristal CaOx yang menurun pada umbi yang dipanen setelah tanaman rebah, maka disarankan petani porang untuk memanen umbi setelah tanaman rebah.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, D., Y. Rouzbehan & J. Rezaei. 2012. Effect of Harvest Date and Nitrogen Fertilization Rate on The Nutritive Value of Amaranth Forage (*Amaranthus hypochondriacus*). *Anim. Feed Sci. Technol.* 171: 6-13
- Abhyankar, A.R., D.M. Mulvihill, M.A. Fenelon & M.A.E. Auty. 2010. Microstructural Characterization of β -lactoglobulin-Konjac Glucomannan Systems: Effect of NaCl Concentration and Heating Conditions. *Food Hydrocoll.* 24: 18-26
- Abu-Zanat, M. M. W., F. M. Al-Hassanat, M. Alawi & G. B. Ruyle. 2003. Oxalate and Tannins Assessment in *Atriplex halimus* L. and *A. nummularia* L. *J. Range Manage.* 56(4): 370-374
- Ademark, P., J. Lundqvist, P. Högglund, M. Tenkanen, N. Torto, F. Tjerneld, & H. Stalbrand. 1999. Hydrolytic Properties of A β -Mannosidase Purified from *Aspergillus niger*. *J. Biotechnol.* 75: 281-289
- Antai, S.P. & U.S. Obong. 1992. The Effect of Fermentation on The Nutrient Status and on Some Toxic Components of *Icacinia manni*. *Plant Food Hum. Nutr.* 42(3): 219-224
- Arminas, S.A., & J.F. Calello. 2002. Gelled Cosmetic Remover Composition. *US Patent.* 6475496
- Buckeridge, M.S., H. Pessoa dos Santos & M.A.S. Tine. 2000. Mobilisation of Storage Cell Wall Polysaccharides in Seeds. *Plant Physiol. Biochem.* 38: 141-156
- Burrows, G.E. & R.J. Tyrl. 2013. **Toxic Plants of North America, Second Edition.** John Wiley and Sons, Inc. Hoboken
- Çalışkan, M. 2000. The Metabolism of Oxalic Acid. Turkish. *J. Zool.* 24: 103-106
- Cao, H. 2003. **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. Tesis
- Caramelli, G. 1992. Pasta with A High Content in Dietary Fibers and A Reduced Content in Calories. *European Patent Specification.* 0483288B1
- Central Tuber Crops Research Institute. 2010. **Annual Report.** S.K. Naskar Director. India.
- Chandra, T.S. & Y.I. Shethna. 1977. Microbial Metabolism of Oxalate and One-Carbon Compounds. *J. Indian Inst. Sci.* 5(4): 26-52



Chairiyah, N., N. Harijati, & R. Mastuti. 2011. Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Tanaman Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) yang Terpapar dan Tidak Terpapar Matahari. *Natural B.* 1(2): 130-138

Chairiyah, N., N. Harijati, & R. Mastuti. 2013. Variation of Calcium Oxalate (CaOx) Crystals in Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume). *Am. J. Plant Sci.* 4(9): 1765-1773

Chua, M.F.Y. 2011. **An Investigation of The Biology and Chemistry of The Chinese Medicinal Plant, *Amorphophallus konjac*.** University of Wolverhampton. Wolverhampton. Disertasi

Chua, M., T.J. Hocking, K. Chan & T.C. Baldwin. 2013. Temporal and Spatial Regulation of Glucomannan Deposition and Mobilization in Corms of *Amorphophallus konjac* (Araceae). *Am. J. Botany.* 100(2): 1-9

Cromack, K., P. Sollins, W.C. Graustein, K. Speidel, A.W. Todd, G. Spycher, C.Y. Li & R.L. Todd. 1978. Calcium Oxalate Accumulation and Soil Weathering in Mats of The Hypogeous Fungus *Hysterangium crassum*. *Soil Biol Biochem.* 11: 463-468

Cronin, E.H. & M.C. Williams. 1966. Principles for Managing Ranges Infested with Halogeton. *J. Range Manage.* 19(4): 226-227

Davis, A. M. 1981. The Oxalate, Tannin, Crude Fiber, and Crude Protein Composition of Young Plants of Some *Atriplex* Species. *J. Range Manage.* 34(4): 329-331

Dax, D., P. Eklund, J. Hemming, J. Sarfraz, P. Backman, C. Xu, & S. Willför. 2013. Amphiphilic Spruce Galactoglucomannan Derivatives Based on Naturally-Occurring Fatty Acids. *Bioresources.* 8(3): 3771-3790

Deganello, S., A.R. Kampf, & P.B. Moore. 1981. The Crystal Structure of Calcium Oxalate Trihydrate: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{C}_2\text{O}_4)$. *Am. Mineral.* 66: 859-865

Devi, R. & Y.M. Rao. 2005. Cosmeceutical Applications of Aloe Gel. *Nat. Prod. Rad.* 4(4): 322-327

De Vries, R.P. & J. Visser. 2001. *Aspergillus* Enzymes Involved in Degradation of Plant Cell Wall Polysaccharides. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 65(4): 497-515

Dhugga KS, R. Barreiro, B. Whitten, K. Stecca, J. Hazebroek, G.S. Randhawa, M. Dolan, A.J.

Kinney, D. Tomes, S. Nichols & P. Anderson. 2004. Guar Seed Beta-Mannan Synthase is A Member of The Cellulose Synthase Super Gene Family. *Science.* 303(5656): 363-366.



Edwards M.E., C.A. Dickson, S. Chengappa, C. Sidebottom, M.J. Gidley & J.S.G. Reid. 1999.

Molecular Characterisation of A Membranebound Galactosyltransferase of Plant Cell Wall Matrix Polysaccharide Biosynthesis. *Plant J.* 19(6): 691-697

Ellem, S. J., Y. B. Samish and D. Lachover. 1974. Salt and Oxalic Acid Content of Leaves of The Saltbush *Atriplex halimus* in The Northern Negev. *J. Range. Manage.* 27(4): 267-271

Franceschi, V.R., & P.A. Nakata. 2005. Calcium Oxalate in Plant: Formation and Function. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56: 41-71

Fujii, N., M. Watanabe, Y. Watanabe & N. Shimada. 1993. Rate of Oxalate Biosynthesis from Glycolate and Ascorbic Acid in Spinach (*Spinacia oleracea*) Leaves. *Soil Sci. Plant Nutr.* 39(4): 627-634

Gille, S., K. Cheng, & M.E. Skinner. 2011. Deep sequencing of Voodoo Lily (*Amorphophallus konjac*): An Approach to Identify Relevant Genes Involved in The Synthesis of The Hemicellulose Glucomannan. *Planta.* 234: 515-526

Goubet F., C.J. Barton, J.C. Mortimer, X.L. Yu, Z.N. Zhang, G.P. Miles, J. Richens, A.H. Liepman, K. Seffen & P. Dupree. 2009. Cell Wall Glucomannan in *Arabidopsis* is Synthesised by CSLA Glycosyltransferases, and Influences The Progression of Embryogenesis. *Plant J.* 60(3): 527-538

Govaerts, R. 2003. *Amorphophallus muelleri* Blume. <http://culturesheet.org>. Diakses 5 Januari 2010

Gul, B., D.J. Weber & M.A. Khan. 2000. Effect of Salinity and Planting Density on Physiological Responses of *Allenrolfea occidentalis*. *West. N. Am. Naturalist.* 60(2): 188-197

Hägglund, P. 2002. **Mannan-Hydrolysis by Hemicellulases: Enzyme-Polysaccharide Interaction of A Modular β -Mannanase.** Departemen Biokimia. Universitas Lund. Swedia. Disertasi

Hägglund, P. T. Eriksson, A. Collen, W. Nerinckx, M. Claeysens & H. Stalbrand. 2003. A Cellulose-Binding Module of The *Trichoderma reesei* β -Mannanase Man5A Increases The Mannan-Hydrolysis of Complex Substrates. *J. Biotechnol.* 101: 37-48

Hamadina, E.I. 2012. Origin of Vines, Feeder Roots and Tubers in Yam (*Dioscorea* Spp.): The Tuber Head or The Primary Nodal Complex?. *Nig. J. Agric. Food Environ.* 8(1): 67-72



Harijati, N., R. Azrianingsih, & S. Widyarti. 2010. Eksplorasi *Amorphophallus* sp. Endemik Jawa Timur yang Tinggi Glukomanan dan Rendah Alergenitasnya. *Basic Science Seminar VII*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya

Hartman, J. 2006. **Hemicellulose as Barrier Material**. Department of Fibre and Polymer Technology. Royal Institute of Technology, Stockholm. Disertasi

Hermelin, M.S. & M. Grimshaw. 2003. Modified Release Minerals. *US Patent Application*. 20030190355.

Hetterscheid, W.E.A & S. Ittenbach. 2012. Generic Diagnosis of *Amorphophallus* Blume. <http://www.aroid.org>. Diakses 27 Desember 2012

Ilarlan, H., R. G. Palmer, J. Imsande, & H. T. Horner. 1997. Quantitative Determination of Calcium Oxalate and Oxalate in Developing Seeds of Soybean (Leguminosae). *Am. J. Bot.* 84(9): 1042-1046

Ilarlan, H., R.G. Palmer, & H.T. Horner. 2001. Calcium Oxalate Crystals in Developing Seeds of Soybean. *Ann. Bot.* 88:243-257

Inagami, K.I., K. Ohmura, M. Haruna & T. Terabayashi. 1981. Starch and Agar Containing Noodles and Process of Preparing. *US Patent*. 4269863

Indriyani, S. 2011. **Pola Pertumbuhan Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) & Pengaruh Lingkungan Terhadap Kandungan Oksalat dan Glukomannan Umbi**. Program Pascasarjana. Universitas Airlangga. Surabaya. Disertasi

Iwuoha, C.I. & F.A. Kalu. 1995. Calcium Oxalate dan Physico-Chemical Properties of Cocoyam (*Colocasia esculenta* dan *Xanthosoma sagittifolium*) Tuber Flour as Affected by Processing. *Food Chem.* 54: 61-66

Ji, X.M. & X.X. Peng. 2005. Oxalate Accumulation as Regulated by Nitrogen Forms and Its Relationship to Photosynthesis in Rice (*Oryza sativa* L.). *J. Integr. Plant Biol.* 47(7): 831-838.

Jones, R.J. & C.W. Ford. 1972a. Some Factors Affecting The Oxalate Content of The Tropical Grass *Setaria sphacelata*. *Aust. J. Exp. Agric.* 12(57): 400-406

Jones, R.J. & C.W. Ford. 1972b. The Soluble Oxalate Content of Some Tropical Pasture Grasses Grown in South-East Queensland. *Trop. Grasslands.* 6(3): 201-204

Kaminishi, A. & N. Kita. 2006. Seasonal Change of Nitrate and Oxalate Concentration in Relation to The Growth Rate of Spinach Cultivars. *J. Hortic. Sci.* 41(7): 1589-1595



- Katoch, R., M. Thakur & N. Kumar. 2013. Effect of Morphological Stage and Clipping Intervals of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and *Setaria* (*Setaria anceps* Stapf.) on Biochemical Composition and *In Vitro* Dry Matter Digestibility in Mid Hill Himalayan Region. *Afr. J. Agric. Res.* 8(19): 2183-2188
- Keithley, J. & B. Swanson. 2005. Glucomannan and Obesity: A Critical Review. *Altern. Ther. Health Med.* 11(6): 30-34
- Kellar, K.E., J.C. Richards & C.A. Nesbitt. 2003. High Retention Sanitizer Systems. *US Patent.* 20030109405A1
- Kellar, K.E., J.C. Richards & C.A. Nesbitt. 2004. High Retention Sanitizer Systems. *US Patent.* 006828294B2
- Khan, M.S. 2007. Engineering Photorespiration in Chloroplasts: a Novel Strategy for Increasing Biomass Production. *Trends Biotechnol.* 25(10): 437-440
- Kipnis, T. and L. Dabush. 1988. Oxalate Accumulation in Napier Grass and Pearl Millet×Napier Grass Interspecific Hybrids in Relation to Nitrogen Nutrition, Irrigation and Temperature. *J. Sci. Food Agr.* 43(3): 211-223
- Kirk, K.T. & D. Cullen. 1998. **Environmentally Friendly Technologies for The Pulp and Paper Industry: Enzymology and Molecular Genetics of Wood Degradation by White-Rot Fungi.** John Wiley & Sons, Inc. New York
- Kisaki, T. & N.E. Tolbert. 1969. Glycolate and Glyoxylate Metabolism by Isolated Peroxisomes of Chloroplasts. *Plant Physiol.* 44: 242-250
- Kolo, K., & Ph. Claeys. 2005. In Vitro Formation of Ca-Oxalates and The Mineral Glushinskite by Fungal Interaction with Carbonate Substrates and Seawater. *Biogeosciences.* 2: 277-293
- Korth, K.L., S.J. Doege, S.H. Park, F.L. Goggin, Qin Wang, S.K. Gomez, G. Liu, L. Jia, & P.A. Nakata. 2006. *Medicago truncatula* Mutants Demonstrate The Role of Plant Calcium Oxalate Crystals as An Effective Defense Against Chewing Insects. *Plant Physiol.* 141: 188-195
- Kozukue, E., N. Kozukue & T. Kurosaki. 1983. Organic Acid, Sugar and Amino Acid Composition of Bamboo Shoots. *J. Food Sci.* 48(3): 935-938.
- Kumar, C.P., T. Lokesh, M. Gobinath, B. Kumar & D. Saravanan. 2013. Anti-Diabetic and Anti-Hyperlipidemic Activities of Glucomannan Isolated from *Araucaria Cunninghamii* Seeds. *J. Chem. Pharm. Sci.* 6(3): 204-209



Kuo, L., Maurice, & V.R. Franceschi. 2007. Correlations Between Calcium Oxalate Crystals and Photosynthetic Activities in Palisade Cells of Shade Adapted *Peperomia glabella*.

Bot. Stud. 48: 155-164

Kurniawan, A., I.P.A.H. Wibawa, & B. Adjie. 2011. Species Diversity of *Amorphophallus* (Araceae) in Bali and Lombok with Attention to Genetic Study in *A. paeoniifolius* (Dennst.) Nicolson. *Biodiversitas.* 12(1): 7-11

Lakitan, B. 2008. **Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan.** PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta

Lestari, B.L. 2011. Kajian ZPT Atonik dalam Berbagai Konsentrasi dan Interval Penyemprotan terhadap Produktivitas Tanaman Bawang Merah (*Allium ascolanicum* L.). *Rekayasa.* 40(1): 33-37

Li, X., D. Zhang, V.J. Lynch-Holm, T.W. Okita & V.R. Franceschi. 2003. Isolation of a Crystal Matrix Protein Associated with Calcium Oxalate Precipitation in Vacuoles of Specialized Cells. *Plant Physiol.* 133: 549-559

Li, H. & Z. Dao. 2006. A New Species of *Amorphophallus* (Araceae) from Yunnan, China. *Novon.* 16(2): 240-243

Li, H. & W.L.A. Hettterscheid. 2010. *Amorphophallus* Blume ex Decaisne, *Nouv. Ann. Mus. Hist. Nat.* 3: 366. 1834, nom. cons. *Fl. China.* 23: 23-33

Li, X., G.S. Wheeler, J. Ding. 2012. A Leaf-Rolling Weevil Benefits from General Saprophytic Fungi in Polysaccharide Degradation. *Arthropod. Plant Interact.* 6(3): 417-424

Libert, B. & C. Creed. 1985. Oxalate Content of Seventy-Eight Rhubarb Cultivars and Its Relation to Some Other Characters. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 60(2): 257-261.

Libert, B. 1987. Genotypic and Non-Genetic Variation of Oxalate and Malate Content in Rhubarb (*Rheum spp.* L.). *J. Hortic. Sci. Biotech.* 62(4): 513-522

Libert, B. & V.R. Franceschi. 1987. Oxalate in Crop Plants. *J. Agric. Food Chem.* 35: 926-938

Liepman, A.H., C.G. Wilkerson & K. Keegstra. 2005. Expression of Cellulose Synthase-Like (Csl) Genes in Insect Cells Reveals that CslA Family Members Encode Mannan Synthases. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America.* 102(6): 2221-2226

Liepman, A.H., C.J. Nairn, W.G.T. Willats, I. Sørensen, A.W. Roberts & K. Keegstra. 2007. Functional Genomic Analysis Supports Conservation of Function Among Cellulose Synthase-Like A Gene Family Members and Suggests Diverse Roles of Mannans in Plants. *Plant Physiol.* 143: 1881-1893



Lindqvist, Y. & C. Brändén. 1985. Structure of Glycolate Oxidase from Spinach. *Proceedings of The National Academy of Sciences*. 82: 6855-6859

Liu, P., S. Zhang & X. Zhang. 1998. Research and Utilization of *Amorphophallus* in China. *Acta Bot. Yunnanica*. 10: 48-61

Marais, J.P., A.D. Barnabas & D.L. Figenschou. 1997. Effect of Calcium Nutrition on The Formation of Calcium Oxalate in Kikuyugrass. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress*. p. 45

Masuyama, Y. 1983. Process for Preparing Biscuits Containing Glucomannan. *US Patent*. 4379173

Mazen, A.M.A., D. Zhang, & V.R. Franceschi. 2003. Calcium Oxalate Formation in *Lemna Minor*: Physiological and Ultrastructural Aspects of High Capacity Calcium Sequestration. *New Phytol.* 161: 435-448

McGoodwin, M. 2008. The Physiology Of Higher Plants: An Outline. <http://www.mcgoodwin.net/pages/plantphysuw425.pdf>. Diakses tanggal 20 Oktober 2013

Meric, C. 2008. Calcium Oxalate Crystals in *Conyza canadensis* (L.) Cronq and *Conyza bonariensis* (L.) Cronq. (Asteraceae: Astereae). *Acta Biol. Szeged*. 52(2): 295-299

Meric, C. 2009. Calcium Oxalate Crystals in Some Species of The Tribe Inuleae (Asteraceae). *Acta. Biol. Cracov. Bot.* 51(1): 105-110

Middleton, C.H. & G.A. Barry. 1978. A Study of Oxalate Concentration in Five Grasses in The Wet Tropics of Queensland. *Trop. Grasslands*. 12(1): 28-35

Mikkonen, K.S. 2009. **Mannans as Film Formers and Emulsion Stabilizers**. Department of Food Technology. University of Helsinki. Helsinki. Disertasi

Moore, G., P. Sanford & T. Wiley. 2006. **Perennial Pastures for Western Australia**. Department of Agriculture and Food Western Australia. Bulletin 4690. Perth

Mou, B. 2008. Evaluation of Oxalate Concentration in The U.S. Spinach Germplasm Collection. *J. Hortic. Sci.* 43(6): 1690-1693

Nakata, P.A. & M.M. Mc. Conn. 2000. Isolation of *Medicago truncatula* Mutants Defective in Calcium Oxalate Crystal Formation. *Plant Physiol.* 124: 1097-1104

Nakata, P.A. 2003. Advances in Our Understanding of Calcium Oxalate Crystal Formation and Function in Plants. *Plant Sci.* 164: 901-909

Noonan, S.C. & G.P. Savage. 1999. Oxalate Content of Foods and Its Effect on Humans. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 8(1): 64-74



Nurlaila, S. 2013. **Kajian Periode Tumbuh Berbeda terhadap Kerapatan Kristal Kalsium Oksalat (CaOx) pada Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume)**. Jurusan

Biologi. Universitas Brawijaya. Malang. Skripsi

Okutani, I. & N. Sugiyama. 1994. Relationship between Oxalate Concentration and Leaf Position in Various Spinach Cultivars. *J. Hortic. Sci.* 29(9): 1019-1021

Pathak, C.P., S.P. Barman, M.C. Philbrook, A.S. Sawhney, A.J. Coury, L.Z. Avila & M.T.

Kieras. 2003. Multiblock Biodegradable Hydrogels for Drug Delivery and Tissue Treatment. *United States Patent.* 6639014

Pemerintah Kabupaten Bojonegoro. 2009. Budidaya Tanaman Porang. <http://www.bojonegorokab.go.id>. Diakses 12 Maret 2009

Pennisi, S.V., D.B. McConnell, L.B. Gower, M.E. Kane, & T. Lucansky. 2001. Intracellular Calcium Oxalate Crystal Structure in *Dracaena sanderiana*. *New Phytol.* 150: 111-120

Piro, G., A. Zuppa, G. Dalessandro, & D.H. Northcote. 1993. Glucomannan Synthesis in Pea Epicotyls: The Mannose and Glucose Transferases. *Planta.* 190: 206-220

Pitojo, S. 2007. **Suweg**. Kanisius, Yogyakarta. Hal: 37-44

Prychid, C.J. & P.J. Rudall. 1999. Calcium Oxalate Crystals in Monocotyledons: A Review of Their Structure and Systematics. *Ann. Bot.* 84: 725 – 739

Prychid, C.J., R.S. Jabaily, & P.J. Rudall. 2008. Cellular Ultrastructure and Crystal Development in *Amorphophallus* (Araceae). *Ann. Bot.* 101: 983-995

Rahman, M.M., M. Niimi, Y. Ishii & O. Kawamura. 2006. Effects of Seasons, Variety and Botanical Fractions on Oxalate Content of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.). *J. Jpn. Grassl. Sci.* 52:161-166.

Rahman, M.M., M. Yamamoto, M. Niimi & O. Kawamura. 2008a. Effect of Nitrogen Fertilization on Oxalate Content in Rhodesgrass, Guineagrass and Sudangrass. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 21(2): 214-219

Rahman, M.M., Y. Ishii, M. Niimi & O. Kawamura. 2008b. Effects of Levels of Nitrogen Fertilizer on Oxalate and Some Mineral Contents in Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach). *J. Jpn. Grassl. Sci.* 54(3): 146-150.

Rahman, M.M., Y. Ishii, M. Niimi and O. Kawamura. 2008c. Effect of Salinity Stress on Dry Matter Yield and Oxalate Content in Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach). *Asian-Australasian Journal of Animal Science.* 21(11): 1599-1603.



Rahman, M. M., Y. Ishii, M. Niimi and O. Kawamura. 2009a. Change of Oxalate Form in Pot-Grown Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) by Application of Calcium Hydroxide. *J. Jpn. Grassl. Sci.* 55(1): 18-22

Rahman, M.M., Y. Ishii, M. Niimi & O. Kawamura. 2009b. Effect of Clipping Interval and Nitrogen Fertilization on Oxalate Content in Pot-Grown Napiergrass (*Pennisetum purpureum*). *Trop. Grasslands*. 43(2): 73-78

Rahman, M.M. & O. Kawamura. 2011. Oxalate Accumulation in Forage Plants: Some Agronomic, Climatic and Genetic Aspects. *Asian-australas. J. Anim. Sci.* 24(3): 439-448

Ravi, V., C.S. Ravindran, & G. Suja. 2009. Growth and Productivity of Elephant Foot Yam (*Amorphophallus paeoniifolius* (Dennst.Nicolson): an Overview. *J. Root Crops*. 35(2): 131-142

Reiter, W.D. 2008. Biochemical Genetics of Nucleotide Sugar Interconversion Reactions. *Curr. Opin. Plant Biol.* 11(3): 236-243

Rohmah, S.N. 2007. **Penggunaan BAP & 2,4-D dalam Kultur *In Vitro* Iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume, 1837).** Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata. Fakultas Kehutanan. Insitut Pertanian Bogor. Bogor. Skripsi

Roughan, P.G. & I.J. Warrington. 1976. Effect of Nitrogen Source on Oxalate Accumulation in *Setaria sphacelata* (cv. Kazungula). *J. Sci. Food Agr.* 27(3): 281-286

Santoso, S. 2012. **Aplikasi SPSS pada Statistik Parametrik.** PT. Elex Media Komputindo. Jakarta. Hal: 198-199

Saputra, R.A. 2010. **Kandungan Oksalat Terlarut dan Tidak Terlarut Dalam Umbi Dua Varian Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) di KPH Saradan, Jawa Timur pada Siklus Pertumbuhan Ketiga.** Jurusan Biologi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Brawijaya. Malang. Skripsi

Sakai, W.S., M. Hanson, & R.C. Jones. 1972. Raphides with Barbs and Grooves in *Xanthosoma sagittifolium* (Araceae). *Science*. 178: 314 -315

Savage, G. P., L. Vanhanen, S. M. Mason and A. B. Ross. 2000. Effect of Cooking on The Soluble and Insoluble Oxalate Content of Some New Zealand Foods. *J. Food Comp. Anal.* 13(3): 201-206



Sedayu, A., M.C.M. Eurlings, B. Gravendeel, & W.L.A. Hettterscheid. 2010. Morphological Character Evolution of *Amorphophallus* (Araceae) Based On A Combined Phylogenetic Analysis of *trnL*, *rbcL* and *LEAFY* Second Intron Sequences. *Bot. Stud.* 51: 473-490

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. Food Hum. Nutr.* 24(1):115-125

Singh, R.B. & Shelley. 2007. Polysaccharide Structure of Degraded Glucomannan from *Abrus precatorius* Linn. Seeds. *J. Environ. Biol.* 28(2): 461-464

Slepian, M.J. & S.P. Massia. 2001. Local Polymeric Gel Cellular Therapy. *US Patent*, 06290729

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.

Solo-de-Zaldivar, B., B. Herranz & J. Borderias. 2011. First Steps in Using Glucomannan to Make Thermostable Gels for Potential Use in Mince Fish Reestructuration. *Int. J. Food Eng.* 8(1): 1556-3758

Sothornvit, R., R. Chollakup & P. Suwanruji. 2010. Extracted Sericin from Silk Waste for Film Formation. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.* 32 (1): 17-22

Srivastava, S.K. & P.S. Krishnan. 1962. An Oxalic Acid Oxidase in The Leaves of *Bougainvillea spectabilis*. *Biochem. J.* 85(1): 33-38

Sumarwoto. 2004. Pengaruh Pemberian Kapur 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. *Biodiversitas.* 6(3): 185-190

Sumarwoto. 2007. Review: Kandungan Mannan pada Tanaman Iles-iles (*Amorphophallus muelleri* Blume.). *Biotechnologi.* 4(1): 28-32

Sunaga, Y., H. Harada & T. Hatanaka. 2005. Varietal Differences in Nitrate Nitrogen Concentration of Sudangrass (*Sorghum sudanese* (Piper) Stapf). *J. Jpn. Grassl. Sci.* 51(2): 169-177

Takata, T. 2003. Process for Producing Glucomannan Gel Particles. *US Patent Application Publication.* 20030060518A1



Takata, T. 2006. Process for Producing Glucomannan Gel Particles. *US Patent Application Publication*. 20060127557A1

Tartirat, O. & S. Charoenrein. 2011. Physicochemical Properties of Konjac Glucomannan Extracted from Konjac Flour by a Simple Centrifugation Process. *LWT-Food Sci. Techno.* 44: 2059-2063

Tifani, I., I. Sasli, & E. Gusmayanti. 2013. Pengaruh Lama Perendaman Sabut Kelapa sebagai Pupuk Cair terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Ubi Jalar. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian.* 2(2): 1-8

Torell, R., J.A. Young & B. Kvasnicka. 2005. Halogeton Poisoning. Cooperative Extension. University of Nevada. Fact Sheet-00-20. <http://www.unce.unr.edu/>. Diakses 24 September 2013

Vaughan, J.M. 1963. **The Oxidation of Spruce Glucomannan with Lead Tetraacetate.** The Institute of Paper Chemistry. Wisconsin. Disertasi

Volk, G.M., L.J. Goss & V.R. Franceschi. 2004. Calcium Channels are Involved in Calcium Oxalate Crystals Formation in Specialized Cells of *Pistia stratiotes* L. *Ann. Bot.* 93: 741-753

Vuksan, V., J.L. Sievenpiper, R. Owen, J.A. Swilley, P. Spadafora, D.J.A. Jenkins, E. Vidgen, F. Brighenti, R.G. Josse, L.A. Leiter, Z. Xu, & R. Novokmet. 2000. Beneficial Effects of Viscous Dietary Fiber from Konjac-Mannan in Subjects with The Insulin Resistance Syndrome. *Diabetes Care.* 23(1): 9-14

Wang, K. & Z. He. 2002. Alginate-Konjac Glucomannan-Chitosan Beads as Controlled Release Matrix *Int. J. Pharm.* 244(1/2): 117-126

Wang, R., B. Xia, B. Li, S. Peng, L. Ding & S. Zhang. 2008. Semi-Permeable Nanocapsules of Konjac Glucomannan-Chitosan for Enzyme Immobilization. *Int. J. Pharm.* 364(1): 102-107

Wang, L., L. Xiao, L. Cai, N. Yin, D. Kou & J. Pang. 2013. Influence of Konjac Glucomannan on the Crystallization Morphology and Structure of Calcium Oxalate. *Chin. J. Struct. Chem.* 32(6): 831-838

Webb, M. C. 1999. Cell-Mediated Crystallization of Calcium Oxalate in Plants. *Plant Cell.* 11: 751-761



White, P.J. & M.R. Broadley. 2009. Biofortification of Crops with Seven Mineral Elements Often Lacking in Human Diets – Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine (Research Review). *New Phytol.* 182: 49-84

Williams, M. C. 1960. Effect of Sodium and Potassium Salts on Growth and Oxalate Content of Halogeton. *Plant Physiol.* 35: 500-505.

Williams, M. C., B. J. Smith & R. Lopez. 1991. Effect of Nitrogen, Sodium and Potassium on Nitrate and Oxalate Concentration in Kikuyugrass. *Weed Technol.* 5(3): 553-556

Winter H. & S.C. Huber. 2000. Regulation of Sucrose Metabolism in Higher Plants: Localization and Regulation of Activity of Key Enzymes. *CRC Crit. Rev. Plant Sci.* 19(1): 31-67

Yang, Y.H., Y.B. Kang, K.W. Lee, T.H. Lee, S.S. Park, B.Y. Hwang & B.G. Kim. 2005. Characterization of GDP-Mannose Pyrophosphorylase from *Escherichia coli* O157:H7 EDL933 and Its Broad Substrate Specificity. *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 37(1-6):1-8

Yang, J., J. Xiao & L. Ding. 2009. An Investigation Into The Application of Konjac Glucomannan as A Flavor Encapsulant. *Eur. Food Res. Technol.* 229(3): 467-474

Yuzammi. 2009. The Genus of *Amorphophallus* Blume ex Decaisne (Araceae-Thomsonieae) in Java. *Reinwardtia.* 13(1): 1-12

Zhang, Y., B. Xie, & X. Gan. 2005. Advance in The Applications of Konjac Glucomannan and Its Derivatives. *Carbohydr. Polym.* 60: 27-31



LAMPIRAN

Lampiran 1. Rancangan penelitian dinamika kandungan glukomannan, kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (caox) pada umbi porang periode tumbuh ketiga

LT. 1.1 Rancangan penelitian

Waktu Panen	Variasi Kandungan Glukomannan	Variasi Kandungan Kalsium Oksalat	Variasi & Kerapatan Kristal CaOx
2 minggu sebelum tanaman layu	WP1 U1	WP1 U1	WP1 U1
	WP1 U2	WP1 U2	WP1 U2
	WP1 U3	WP1 U3	WP1 U3
Saat tanaman layu	WP2 U1	WP2 U1	WP2 U1
	WP2 U2	WP2 U2	WP2 U2
	WP2 U3	WP2 U3	WP2 U3
2 minggu setelah tanaman layu	WP3 U1	WP3 U1	WP3 U1
	WP3 U2	WP3 U2	WP3 U2
	WP3 U3	WP3 U3	WP3 U3

Keterangan: WP: Waktu Panen
U: Ulangan

LT. 1.2 Rancangan perolehan data penelitian

Waktu Panen Umbi	Interval Waktu Pengambilan Sampel	Ulangan (Umbi)	Berat Basah Umbi	Kandungan		Variasi & Kerapatan Kristal CaOx
				Glukomannan	Kalsium Oksalat	
1	2 minggu	1				



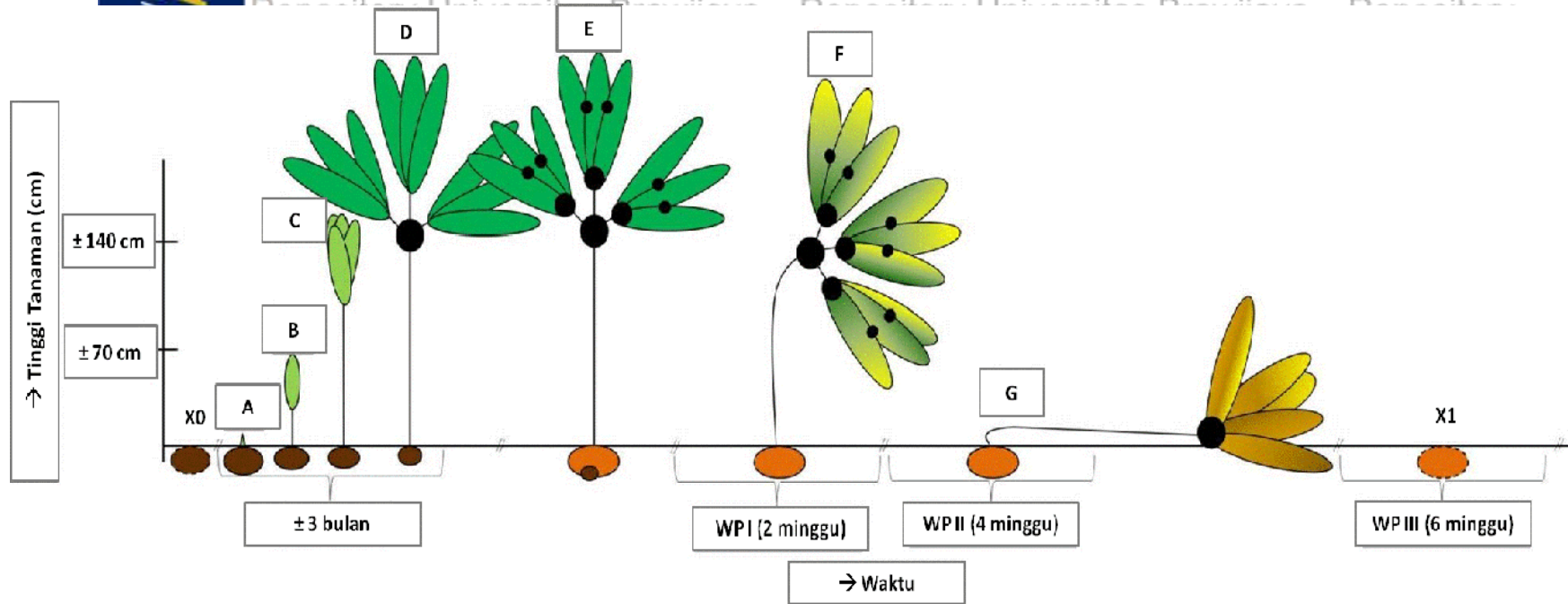
LT:1.2 Lanjutan

Waktu Panen Umbi	Interval Waktu Pengambilan Sampel	Ulangan (Umbi)	Berat Basah Umbi	Kandungan		Variasi & Kerapatan Kristal CaOx
				Glukomannan	Kalsium Oksalat	
I	4 minggu	1				
		2				
		3				
II	6 minggu	1				
		2				
		3				
III	6 minggu	1				
		2				
		3				

Lampiran 2. Standardisasi kalium permanganat (KMnO_4) 0,1 N

Larutan Asam Oksalat 0,1 N dipipet sebanyak 10 ml dengan menggunakan pipet volum dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 ml. Kemudian ditambahkan pula Asam Sulfat (H_2SO_4) 6 N sebanyak 10 ml serta diaduk rata. Setelah itu dipanaskan hingga mencapai $70-80^\circ\text{C}$ dengan menggunakan penangas air. Dalam keadaan panas, larutan dititrisi perlahan-lahan dengan larutan KMnO_4 0,1 N hingga diperoleh warna pink redup yang stabil. Setelah warna tersebut terbentuk, catat volum KMnO_4 yang terpakai. Percobaan dilakukan sebanyak tiga kali. Kemudian dihitung volum KMnO_4 , konsentrasi rata-rata, dan persentase ralatnya.

Lampiran 3. Penentuan tahapan pemanenan umbi porang pada periode tumbuh ketiga



LG 3.1. Pola pertumbuhan tanaman porang pada periode tumbuh ketiga. Ket: (A). Umbi yang mulai bertunas; (B). Seludang mulai memanjang, umbi mulai menyusut; (C). Seludang robek, daun tanaman porang mulai membuka; (D). Daun tanaman porang telah membuka, bulbil mulai muncul di percabangan utama, volume umbi semakin menyusut karena cadangan makanannya digunakan untuk pertumbuhan; (E). Bulbil mulai muncul di percabangan yang lain, umbi yang baru telah terbentuk; (F). Ujung daun mulai menguning, tangkai daun mulai layu; (G). Tanaman porang yang rebah; X0: Fase dormansi umbi periode tumbuh kedua; X1 Fase dormansi umbi periode tumbuh ketiga; WP: Waktu Panen; : umbi lama; : umbi baru



Lampiran 4. Analisis kandungan glukomannan

LT. 4.1 Analisis rata-rata kandungan glukomannan

Kadar Glukomannan

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Sebelum_Rebah	3	23.2533	1,08131	,62430	20.5672	25.9395	22.57	24.50
Saat_Rebah	3	29.1033	4,56750	2,63705	17.7570	40.4496	25.23	34.14
Setelah_Rebah	3	24.4467	2,08974	1,20651	19.2555	29.6379	22.65	26.74
Total	9	25.6011	3,71025	1,23675	22.7492	28.4531	22.57	34.14

LT. 4.2 Uji homogenitas varian

Kadar Glukomannan

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.099	2	6	.119

LT. 4.3 Uji anova kandungan glukomannan

Kadar Glukomannan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	57.331	2	28.666	3.258	.110
Within Groups	52.797	6	8.799		
Total	110.128	8			



Lampiran 5. Analisis korelasi kandungan glukomannan terhadap berat kering umbi porang

LT. 5 Uji korelasi bivariate

Correlations

		Kadar_ glukomannan	BK Umbi
Kadar_ glukomannan	Pearson Correlation	1	.269
	Sig. (2-tailed)		.485
	N	9	9
BK_Umbi	Pearson Correlation	.269	1
	Sig. (2-tailed)	.485	
	N	9	9

Lampiran 6. Analisis kandungan kalsium oksalat (CaOx)

LT. 6.1 Analisis rata-rata kandungan kalsium oksalat (CaOx)

Kadar CaOx	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Sebelum_Rebah	3	9.5633	2.59354	1.49738	3.1206	16.0060	6.57	11.14
Saat_Rebah	3	15.9833	5.9652	.34440	14.5015	17.4652	15.30	16.40
Setelah_Rebah	3	10.8833	2.15556	1.24451	5.5286	16.2380	8.70	13.01
Total	9	12.1433	3.39901	1.13300	9.5306	14.7560	6.57	16.40

LT. 6.2 Uji homogenitas varian

Kadar CaOx				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
2.425	2	6	.169	



LT. 6.3 Uji anova kandungan kalsium oksalat (CaOx)

Kadar CaOx

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	68.969	2	34.484	8.821	.016
Within Groups	23.457	6	3.910		
Total	92.426	8			

LT. 6.4 Post Hoc Tests

Kadar CaOx
TukeyHSD

(I) Waktu Panen	(J) Waktu Panen	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Sebelum_Rebah	Saat_Rebah	-6.42000*	1.61443	.017	-11.3735	-1.4665
	Setelah Rebah	-1.32000	1.61443	.707	-6.2735	3.6335
Saat_Rebah	Sebelum_Rebah	6.42000*	1.61443	.017	1.4665	11.3735
	Setelah Rebah	5.10000*	1.61443	.045	.1465	10.0535
Setelah Rebah	Sebelum_Rebah	1.32000	1.61443	.707	-3.6335	6.2735
	Saat_Rebah	-5.10000*	1.61443	.045	-10.0535	-.1465

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

LT. 6.5 Homogeneous Subsets

Tukey HSD^a

Waktu Panen	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Sebelum_Rebah	3	9.5633	
Setelah Rebah	3	10.8833	
Saat_Rebah	3		15.9833
Sig.		.707	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.



Lampiran 7. Analisis korelasi kandungan kalsium oksalat (CaOx) terhadap berat umbi porang

LT. 7 Uji korelasi bivariate

Correlations

		Kadar CaOx	BK Umbi
Kadar_CaOx	Pearson Correlation	1	.636
	Sig. (2-tailed)		.066
	N	9	9
BK_Umbi	Pearson Correlation	.636	1
	Sig. (2-tailed)	.066	
	N	9	9

Lampiran 8. Analisis kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx)

LT. 8.1 Analisis rata-rata kerapatan total kristal kalsium oksalat (CaOx)

Kerapatan Total Kristal CaOx

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
R0-1	3	17821.0000	9655.84093	5574.80236	-6165.4386	41807.4386	7901.00	27189.00
R0	3	40020.3333	16553.72455	9557.29732	-1101.3981	81142.0647	21621.00	53706.00
R0+1	3	29896.0000	11241.43358	6490.24471	1970.7309	57821.2691	17179.00	38508.00
Total	9	29245.7778	14698.55405	4899.51802	17947.4690	40544.0866	7901.00	53706.00

LT. 8.2 Uji homogenitas varian

Kerapatan Total Kristal CaOx

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.790	2	6	.496



LT. 8.3 Uji anova kerapatan total kristal kalsium oksalat (CaOx)

Kerapatan Total Kristal CaOx

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.411E8	2	3.706E8	2.252	.186
Within Groups	9.873E8	6	1.645E8		
Total	1.728E9	8			

Lampiran 9. Analisis korelasi kandungan kalsium oksalat (CaOx) terhadap kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx)

LT. 9 Uji korelasi bivariante

Correlations

		Kadar CaOx	Kerapatan Kristal CaOx
Kadar_CaOx	Pearson Correlation	1	.578
	Sig. (2-tailed)		.103
	N	9	9
Kerapatan_Kristal_CaOx	Pearson Correlation	.578	1
	Sig. (2-tailed)	.103	
	N	9	9

Lampiran 10. Analisis korelasi kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx) terhadap berat umbi porang

LT. 10 Uji korelasi bivariante

Correlations

		Kerapatan Kristal CaOx	Berat Umbi
Kerapatan_Kristal_CaOx	Pearson Correlation	1	.443
	Sig. (2-tailed)		.232
	N	9	9
Berat_Umbi	Pearson Correlation	.443	1
	Sig. (2-tailed)	.232	
	N	9	9



Lampiran 11. Analisis kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

ET. 11.1 Analisis rata-rata kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
Druse	R0-1	3	677.0000	521.47483	301.07363	-618.4153	1972.4153	333.00	1277.00
	R0	3	1494.3333	286.16837	165.21938	783.4517	2205.2150	1214.00	1786.00
	R0+1	3	1034.3333	860.23040	496.65425	-1102.5974	3171.2641	240.00	1948.00
	Total	9	1068.5556	631.95829	210.65276	582.7894	1554.3217	240.00	1948.00
Stiloid	R0-1	3	12948.6667	9220.73643	5323.59466	-9956.9124	35854.2458	4365.00	22696.00
	R0	3	31279.6667	17405.91837	10049.31166	-11959.0316	74518.3649	12657.00	47138.00
	R0+1	3	23714.6667	12787.05988	7382.61246	-8050.1510	55479.4843	9166.00	33171.00
	Total	9	22647.6667	14195.75329	4731.91776	11735.8447	33559.4886	4365.00	47138.00
Rafida	R0-1	3	995.0000	434.16472	250.66512	-83.5249	2073.5249	597.00	1458.00
	R0	3	990.0000	411.47175	237.56332	-32.1525	2012.1525	553.00	1370.00
	R0+1	3	1655.6667	368.00045	212.46516	741.5029	2569.8305	1424.00	2080.00
	Total	9	1213.5556	482.97027	160.99009	842.3117	1584.7994	553.00	2080.00
Prisma	R0-1	3	3201.0000	1817.29442	1049.21542	-1313.4096	7715.4096	1746.00	5238.00
	R0	3	6255.6667	1532.70034	884.90495	2448.2280	11063.1054	4801.00	7856.00
	R0+1	3	3491.6667	2182.50002	1260.06697	-1929.9639	8913.2973	1309.00	5674.00
	Total	9	4316.1111	2176.15610	725.38537	2643.3695	5988.8528	1309.00	7856.00

LT. 11.2 Uji homogenitas varian

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Druse	1.608	2	6	.276
Stiloid	.681	2	6	.541
Rafida	.015	2	6	.985
Prisma	.133	2	6	.878

LT. 11.3 Uji anova kerapatan masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Druse	Between Groups	1007320.889	2	503660.444	1.381	.321
	Within Groups	2187649.333	6	364608.222		
	Total	3194970.222	8			
Stiloid	Between Groups	5.092E8	2	2.546E8	1.385	.320
	Within Groups	1.103E9	6	1.838E8		
	Total	1.612E9	8			
Rafida	Between Groups	879617.556	2	439808.778	2.675	.148
	Within Groups	986464.667	6	164410.778		
	Total	1866082.222	8			
Prisma	Between Groups	1.706E7	2	8527585.778	2.456	.166
	Within Groups	2.083E7	6	3471678.556		
	Total	3.789E7	8			

Lampiran 12. Analisis ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

LT. 12.1 Analisis rata-rata ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
Druse_Solid	R0-1	3	70.3333	5.03322	2.90593	57.8301	82.8366	65.00	75.00
	R0	3	74.0000	4.58258	2.64575	62.6163	85.3837	69.00	78.00
	R0+1	3	74.6667	10.69268	6.17342	48.1046	101.2287	63.00	84.00
	Total	9	73.0000	6.65207	2.21736	67.8868	78.1132	63.00	84.00
Druse_Semisolid	R0-1	3	54.0000	11.53256	6.65833	25.3515	82.6485	41.00	63.00
	R0	3	66.6667	6.65833	3.84419	50.1265	83.2069	59.00	71.00
	R0+1	3	53.6667	11.37248	6.56591	25.4159	81.9175	41.00	63.00
	Total	9	58.1111	10.85639	3.61880	49.7662	66.4561	41.00	71.00
Druse_Longgar	R0-1	3	54.6667	10.59874	6.11919	28.3379	80.9954	45.00	66.00
	R0	3	54.3333	7.50555	4.33333	35.6885	72.9782	50.00	63.00
	R0+1	3	45.3333	14.74223	8.51143	8.7116	81.9551	34.00	62.00

LT. 12.1 Lanjutan

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
Total	9	51.4444	10.84102	3.61367	43.1113	59.7776	34.00	66.00	
Rafida_Berkas_Panjang	R0-1	3	173.0000	23.51595	13.57694	114.5831	231.4169	146.00	189.00
	R0	3	216.3333	13.27906	7.66667	183.3463	249.3203	201.00	224.00
	R0+1	3	191.0000	16.00000	9.23760	151.2538	230.7462	175.00	207.00
	Total	9	193.4444	24.53116	8.17705	174.5881	212.3008	146.00	224.00
Rafida_Tunggal_Panjang	R0-1	3	229.6667	2.08167	1.20185	224.4955	234.8378	228.00	232.00
	R0	3	219.6667	2.08167	1.20185	214.4955	224.8378	218.00	222.00
	R0+1	3	193.0000	2.00000	1.15470	188.0317	197.9683	191.00	195.00
	Total	9	214.1111	16.51094	5.50365	201.4197	226.8025	191.00	232.00
Rafida_Berkas_Pendek	R0-1	3	31.6667	6.50641	3.75648	15.5039	47.8295	25.00	38.00
	R0	3	53.6667	3.51188	2.02759	44.9427	62.3907	50.00	57.00
	R0+1	3	41.3333	2.08167	1.20185	36.1622	46.5045	39.00	43.00
	Total	9	42.2222	10.29293	3.43098	34.3104	50.1341	25.00	57.00
Rafida_Tunggal_Pendek	R0-1	3	36.3333	12.66228	7.31057	4.8785	67.7882	25.00	50.00
	R0	3	56.0000	3.00000	1.73205	48.5476	63.4524	53.00	59.00
	R0+1	3	45.3333	9.01850	5.20683	22.9301	67.7365	36.00	54.00
	Total	9	45.8889	11.63448	3.87816	36.9458	54.8319	25.00	59.00
Prisma	R0-1	3	13.0000	1.73205	1.00000	8.6973	17.3027	12.00	15.00
	R0	3	17.0000	1.00000	.57735	14.5159	19.4841	16.00	18.00
	R0+1	3	13.3333	3.05505	1.76383	5.7442	20.9225	10.00	16.00
	Total	9	14.4444	2.65100	.88367	12.4067	16.4822	10.00	18.00
Stiloid	R0-1	3	7.6667	2.08167	1.20185	2.4955	12.8378	6.00	10.00
	R0	3	7.6667	2.51661	1.45297	1.4151	13.9183	5.00	10.00
	R0+1	3	7.3333	2.51661	1.45297	1.0817	13.5849	5.00	10.00
	Total	9	7.5556	2.06828	.68943	5.9657	9.1454	5.00	10.00

LT. 12.2 Uji homogenitas varian

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Rafida_Tunggal_Panjang	.054	2	6	.948
Druse_Solid	1.646	2	6	.269
Druse_Semisolid	.746	2	6	.514
Druse_Longgar	1.019	2	6	.416
Rafida_Berkas_Panjang	.999	2	6	.422
Rafida_Berkas_Pendek	1.174	2	6	.371
Prisma	2.114	2	6	.202
Rafida_Tunggal_Pendek	1.854	2	6	.236
Stiloid	.038	2	6	.963

LT. 12.3 Uji anova ukuran masing-masing bentuk kristal kalsium oksalat (CaOx)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Rafida_Tunggal_Panjang	Between Groups	2155.556	2	1077.778	255.263	.000
	Within Groups	25.333	6	4.222		
	Total	2180.889	8			
Druse_Solid	Between Groups	32.667	2	16.333	.305	.748
	Within Groups	321.333	6	53.556		
	Total	354.000	8			
Druse_Semisolid	Between Groups	329.556	2	164.778	1.612	.275
	Within Groups	613.333	6	102.222		
	Total	942.889	8			
Druse_Longgar	Between Groups	168.222	2	84.111	.654	.554
	Within Groups	772.000	6	128.667		
	Total	940.222	8			
Rafida_Berkas_Panjang	Between Groups	2843.556	2	1421.778	4.329	.069
	Within Groups	1970.667	6	328.444		
	Total	4814.222	8			
Rafida_Berkas_Pendek	Between Groups	729.556	2	364.778	18.548	.003
	Within Groups	118.000	6	19.667		
	Total	847.556	8			
Prisma	Between Groups	29.556	2	14.778	3.325	.107
	Within Groups	26.667	6	4.444		
	Total	56.222	8			
Rafida_Tunggal_Pendek	Between Groups	581.556	2	290.778	3.480	.099
	Within Groups	501.333	6	83.556		
	Total	1082.889	8			
Stiloid	Between Groups	.222	2	.111	.020	.981
	Within Groups	34.000	6	5.667		
	Total	34.222	8			



LT. 12.4 Post Hoc Tests

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) Waktu Panen	(J) Waktu Panen	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Rafida_Tunggal_Panjang	R0-1	R0	10.00000*	1.67774	.002	4.8522	15.1478
		R0+1	36.66667*	1.67774	.000	31.5189	41.8144
	R0	R0-1	-10.00000*	1.67774	.002	-15.1478	-4.8522
		R0+1	26.66667*	1.67774	.000	21.5189	31.8144
	R0+1	R0-1	-36.66667*	1.67774	.000	-41.8144	-31.5189
		R0	-26.66667*	1.67774	.000	-31.8144	-21.5189
Rafida_Berkas_Pendek	R0-1	R0	-22.00000*	3.62093	.002	-33.1100	-10.8900
		R0+1	-9.66667	3.62093	.082	-20.7767	1.4433
	R0	R0-1	22.00000*	3.62093	.002	10.8900	33.1100
		R0+1	12.33333*	3.62093	.033	1.2233	23.4433
	R0+1	R0-1	9.66667	3.62093	.082	-1.4433	20.7767
		R0	-12.33333*	3.62093	.033	-23.4433	-1.2233

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

LT. 12.5 Homogeneous Subsets Rafida Tunggal Panjang

Tukey HSD^a

Waktu Panen	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
R0+1	3	193.0000		
R0	3		219.6667	
R0-1	3			229.6667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

LT. 12.6 Homogeneous Subsets Rafida Berkas Pendek

Rafida_Berkas_Pendek

Tukey HSD^a

Waktu Panen	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
R0-1	3	31.6667	
R0+1	3	41.3333	
R0	3		53.6667
Sig.		.082	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.



Lampiran 13. Keterkaitan antara kandungan glukomannan terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx)

LT. 13.1 Uji korelasi bivariate antara kandungan glukomannan terhadap kandungan kalsium oksalat (CaOx) dan kerapatan kristal kalsium oksalat (CaOx)

Correlations

		Kandungan_ CaOx	Kandungan_ Glukomannan	Kerapatan_ Kristal CaOx
Kandungan_CaOx	Pearson Correlation	1	.626	.578
	Sig. (2-tailed)		.071	.103
	N	9	9	9
Kandungan_ Glukomannan	Pearson Correlation	.626	1	.497
	Sig. (2-tailed)	.071		.174
	N	9	9	9
Kerapatan_Kristal_CaOx	Pearson Correlation	.578	.497	1
	Sig. (2-tailed)	.103	.174	
	N	9	9	9