



**PENGGUNAAN BIOPOLIMER BERBASIS KITOSAN SEBAGAI
CONTROLLED RELEASE FOSFAT**

SKRIPSI

Oleh
Ida Maulida
091810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGGUNAAN BIOPOLIMER BERBASIS KITOSAN SEBAGAI
CONTROLLED RELEASE FOSFAT**

SKRIPSI

Oleh
Ida Maulida
091810301042

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGGUNAAN BIOPOLIMER BERBASIS KITOSAN SEBAGAI
CONTROLLED RELEASE FOSFAT**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

**IDA MAULIDA
NIM 091810301042**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Khusnul Khotimah tercinta, terima kasih untuk doa, motivasi, kesabaran serta cinta kasih yang tiada henti tercurahkan;
2. Seluruh keluarga besarku yang telah mendidik dan menyayangiku sepenuh hati;
3. Guru-guru di TK Mutiara, SDN PAKU IV, SMPN 2 Srono, dan SMAN 1 Cluring serta seluruh dosen-dosen di Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Almamater tercinta Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

“Cukuplah ALLAH sebagai Penolongku... Dan ALLAH adalah sebaik-baiknya Pelindung”

(Terjemahan QS Ali Imran ayat 173.*)

Jangan berfikir kamu JATUH karena masalah yang diberikan Tuhan, karena sebenarnya Tuhan hanya menginginkan belajar BERDIRI.**)

Jangan mengeluhkan masalahmu jika kamu merasa bebanmu lebih BERAT daripada yang lain, itu karena Tuhan melihatmu lebih KUAT daripada yang lain.***)

*)Departemen agama Proyek Pengadaan Kitab Suci Al'Qur'an.1975. Al'Qur'an dan terjemahannya. Jakarta : PT. Bumi Restu.

**)Winston Churchill dalam Noel, B.2010.365. Hari Berfikir Positif. Jakarta:Daras Books.

***) Mario Teguh dala Blog Taufiq Hakim. 2012. Kumpulan Kalimat Motivasi.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Ida maulida

NIM : 091810301042

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Penggunaan Biopolimer Berbasis Kitosan sebagai *Controlled Release* Fosfat” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 18 Maret 2016

Yang menyatakan,

Ida Maulida

NIM 091810301042

SKRIPSI

**PENGGUNAAN BIOPOLIMER BERBASIS KITOSAN SEBAGAI
CONTROLLED RELEASE FOSFAT**

Oleh
Ida Maulida
NIM 091810301042

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si
Dosen Pembimbing Anggota : Asnawati, S.Si., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Penggunaan Biopolimer Berbasis Kitosan sebagai *Controlled Release* Fosfat” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tim Penguji;

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si
NIP. 197107031997021001

Asnawati, S.Si.,M.Si
NIP. 196808141999032001

Penguji I,

Penguji II,

Dwi Indarti, S.Si.,M.Si
NIP. 197409012000032004

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D
NIP. 195910091986021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

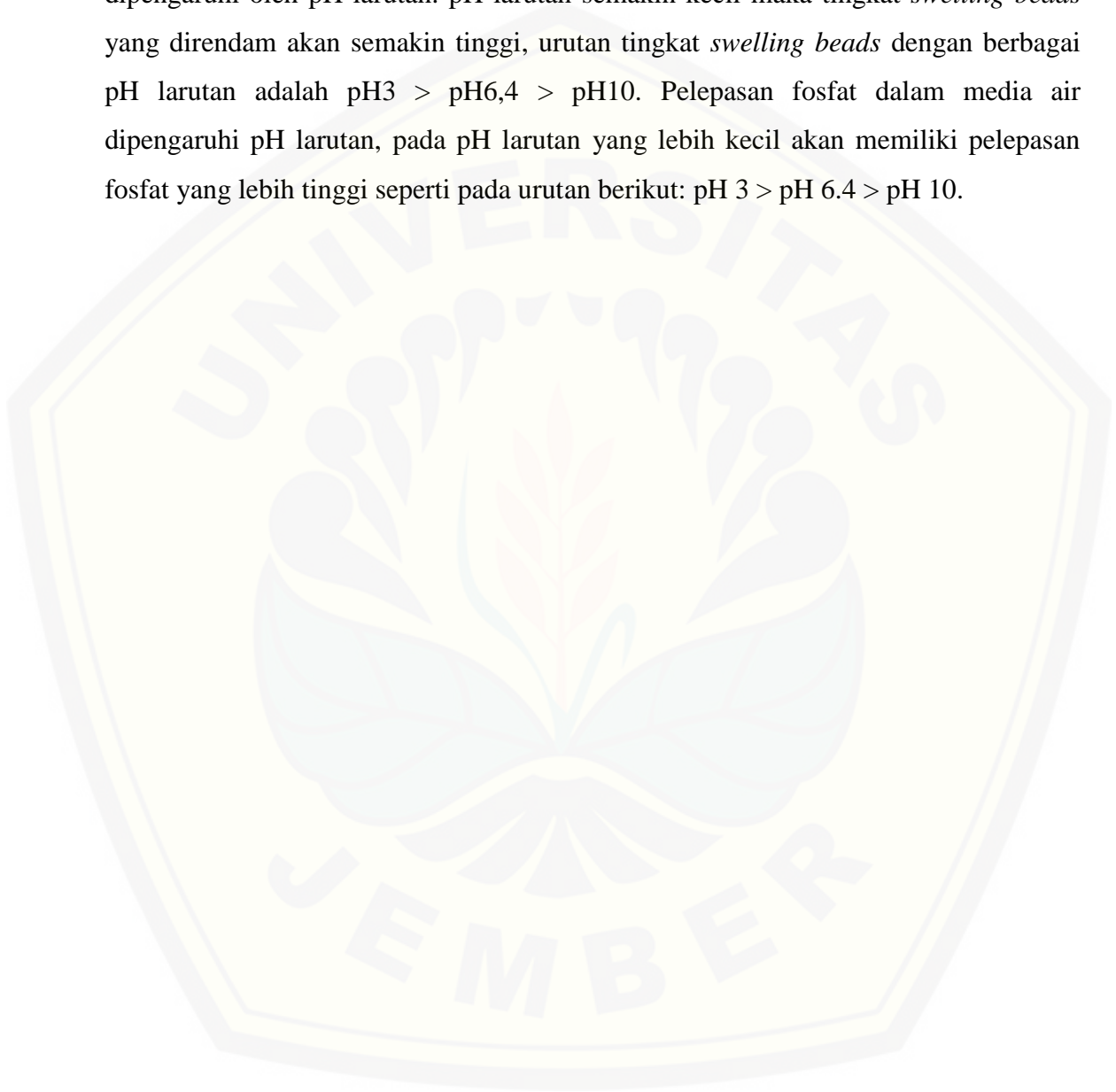
PENGUNAAN BIOPOLIMER BERBASIS KITOSAN SEBAGAI CONTROLLED RELEASE FOSFAT; Ida Maulida, 091810301042; 2016: 46 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pengelolaan tanaman yang kurang baik dan penggunaan pupuk secara berlebihan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Menurut Jones (1982) tanaman memanfaatkan unsur hara yang terkandung pada pupuk hanya sebesar 10-30% dari pupuk yang diberikan, berarti 70-90% pupuk masih berada didalam tanah sehingga dapat mencemari tanah. Kekurangefisienan penggunaan pupuk ini dapat diatasi dengan berbagai cara, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan metode *Controlled Release*. *Controlled Release* pada bidang pertanian dikenal dengan *Controlled Release Fertilizer* (CRF). CRF terdiri dari dua komponen utama yaitu bahan aktif dan matriks padatan yang berperan sebagai pengontrol pelepasan bahan aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan terhadap bentuk fisik *beads*. Mengkaji Daya Serap Air (DSA) *beads* kitosan/bentonit serta mengkaji *Controlled Release* bahan aktif fosfat yang terlepas dalam *beads* dengan berbagai pH.

Penelitian ini menggunakan kitosan sebagai bahan matriks yang dimodifikasi dengan bentonit dan pupuk fosfat sebagai bahan aktif. Kitosan yang digunakan adalah kitosan dengan Berat Molekul (BM) Rendah, Medium dan Tinggi untuk mengetahui sifat fisik *beads*. *Beads* kitosan/bentonit yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menjadi dua tahap yaitu uji Daya Serap Air (DSA) dan pelepasan (*release*) fosfat pada *beads*.

Berat Molekul (BM) kitosan berpengaruh pada bentuk fisik *beads* kitosan/bentonit yang diperoleh. Kitosan BM tinggi (310-375 kDa) menghasilkan *beads* bulat dan utuh (menyerupai butiran granula) daripada BM medium dan BM rendah. Diameter *beads* kitosan/bentonit pada BM tinggi adalah $1,15 \pm 0,01$ mm. BM

kitosan juga dapat mempengaruhi nilai % DSA *beads*. BM kitosan semakin tinggi maka nilai % DSA *beads* akan meningkat. Selain itu nilai % DSA *beads* juga dipengaruhi oleh pH larutan. pH larutan semakin kecil maka tingkat *swelling beads* yang direndam akan semakin tinggi, urutan tingkat *swelling beads* dengan berbagai pH larutan adalah $\text{pH}3 > \text{pH}6,4 > \text{pH}10$. Pelepasan fosfat dalam media air dipengaruhi pH larutan, pada pH larutan yang lebih kecil akan memiliki pelepasan fosfat yang lebih tinggi seperti pada urutan berikut: $\text{pH } 3 > \text{pH } 6.4 > \text{pH } 10$.



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penggunaan Biopolimer Berbasis Kitosan Sebagai *Controlled Release* Fosfat”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia serta sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini dalam penulisan skripsi ini;
3. Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini dalam penulisan skripsi ini;
4. Dwi Indarti, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
6. Dr. Ir. Jayus, selaku Ketua Divisi Biomaterial dan Bioproses Laboratorium CDAST;

7. Prof. Tri Agus Siswoyo, Ph.D., selaku Ketua Divisi Nutrasetikal dan Farmasetikal Laboratorium CDAST;
8. Bapak dan ibu dosen-dosen FMIPA UNEJ, dan dosen-dosen Jurusan Kimia khususnya yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan;
9. Staff laboratorium CDAST;
10. Ibunda Khusnul Khotimah tercinta untuk doa, kerja keras, kasih sayang dan cinta kasih yang tiada henti tercurahkan serta segala hal yang tidak dapat diuraikan satu persatu;
11. Keluarga besarku yang senantiasa memberikan cinta kasih, dorongan semangat, motivasi, dan doa;
12. Semua teman-teman angkatan 2009, 2010 dan 2011, terima kasih atas semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang telah diberikan;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan.

Jember, Maret 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Pelepasan Terkendali	5
2.2 Mekanisme Pelepasan Terkendali.....	6

2.3 Kitosan	7
2.3.1 Sifat Fisika dan Kimia Kitosan.....	9
2.3.2 Sifat <i>Swelling</i> Kitosan.....	10
2.4 Beads Kitosan	10
2.5 Bentonit	11
2.5.1 Sifat Fisika dan Kimia Bentonit	12
2.5.2 Peran Bentonit	13
2.5.3 Jenis Bentonit.....	13
2.6 Asam Asetat	15
2.7 Pupuk Majemuk	16
2.7.1 Pupuk Majemuk yang mengandung Fosfat	17
2.8 Fosfat	18
2.8.1 Klasifikasi Fosfor pada Fosfat	18
2.8.2 Metode Analisis Kuantitatif Fosfat.....	19
BAB 3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan	21
3.3 Diagram Alir Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Pembuatan Larutan Polimer	23
3.4.2 Pembuatan <i>Beads</i> Berbasis Kitosan.....	23

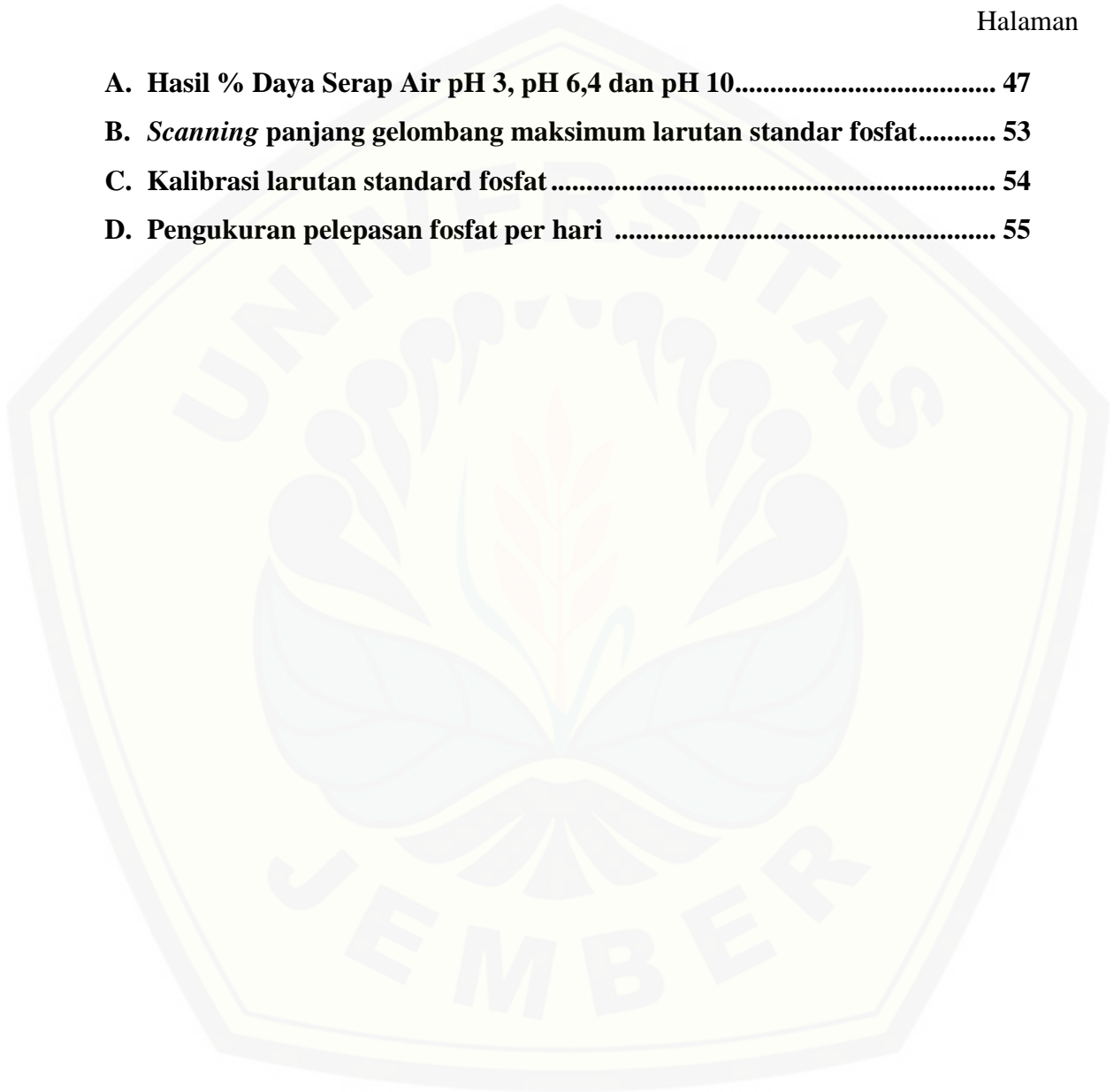
3.4.3 Pembuatan <i>Buffer</i> pH 3 dan pH 10	24
3.4.4 Karakterisasi <i>Beads</i> Kitosan/Bentonit	25
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pembuatan <i>Beads</i> Kitosan-Bentonit	29
4.2 Karakterisasi <i>Beads</i> CRF.....	33
4.2.1 Uji DSA (Daya Serap Air).....	34
4.2.2 Analisis Pelepasan Fosfat pada <i>Beads</i>	37
BAB 5. PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 <i>Controlled Release</i> bahan aktif pada matriks polimer	6
2.2 Struktur Kitin dan Kitosan	7
2.3 Reaksi pembentukan kitosan dari kitin	8
2.4 Reaksi kelarutan kitosan dengan asam asetat	9
2.5 Struktur bentonit	11
2.6 Struktur Asam Asetat	15
3.1 Skema preparasi dan pengujian <i>Beads</i> CRF	22
4.1 Protonasi Kitosan dalam Larutan Asam.....	29
4.2 Mekanisme pelarutan polimer.....	30
4.3 Tahapan pembuatan <i>Beads</i> CRF.....	30
4.4 Mekanisme pengikatan H-bentonit dengan kitosan	31
4.5 Pengaruh Variasi BM Kitosan Terhadap pembentukan <i>Beads</i>	33
4.6 Daya Serap Air <i>Beads</i> pada pH 3	34
4.7 Daya Serap Air <i>Beads</i> pada pH 6,4	35
4.8 Daya Serap Air <i>Beads</i> pada pH 10	35
4.9 <i>Scanning</i> panjang gelombang untuk penentuan fosfat.....	37
4.10 Kadar Fosfat yang dilepaskan oleh <i>Beads</i>	38
4.11 Mekanisme pelepasan fosfat dalam CRF.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Hasil % Daya Serap Air pH 3, pH 6,4 dan pH 10.....	47
B. <i>Scanning</i> panjang gelombang maksimum larutan standar fosfat.....	53
C. Kalibrasi larutan standard fosfat	54
D. Pengukuran pelepasan fosfat per hari	55



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masyarakat Indonesia kebanyakan menggunakan cara tradisional (metode konvensional) dalam pemupukan tanaman. Pengelolaan tanaman yang tidak benar dan penggunaan pupuk secara berlebihan dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Menurut Jones (1982) tanaman memanfaatkan unsur hara yang terkandung pada pupuk hanya sebesar 10-30% dari pupuk yang diberikan, berarti 70-90% pupuk masih berada di dalam tanah sehingga dapat mencemari lingkungan. Kekurangefisienan penggunaan pupuk ini dapat diatasi dengan berbagai cara, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan metode *Controlled Release*.

Controlled Release merupakan suatu teknik yang diterapkan untuk menekan laju pelepasan suatu bahan aktif sehingga laju bahan aktif tersebut dapat diatur sesuai dengan yang diperlukan (Thies, 1990). Keunggulan metode ini dengan metode konvensional adalah pelepasan material bahan aktif yang dilakukan dengan lebih efektif dan optimal. Teknik ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang diantaranya medis, farmasi dan pertanian (Wenten, 1999). Aplikasi *Controlled Release* pada bidang pertanian dikenal dengan *Controlled Release Fertilizer (CRF)*. CRF terdiri dari dua komponen utama yaitu bahan aktif dan matriks padatan yang berperan sebagai pengontrol pelepasan bahan aktif. Pemilihan dua material untuk aplikasi CRF merupakan faktor penting karena menentukan sebuah sistem pelepasan yang efisien.

Bahan aktif yang digunakan pada penelitian ini adalah fosfat. Fosfat merupakan salah satu unsur hara yang terkandung pada pupuk majemuk dan sangat berguna bagi tumbuhan karena dapat merangsang pertumbuhan akar terutama pada

awal pertumbuhan, mempercepat pembentukan bunga, biji dan buah, serta memperkuat daya tahan terhadap penyakit (Soepardi, 1983).

Polimer merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai bahan matriks untuk mengendalikan laju pelepasan bahan aktif (Thies,1990). Polimer yang digunakan dapat berasal dari polimer alam dan polimer sintetik. Aplikasi CRF banyak memanfaatkan polimer alam karena sifatnya yang fleksibel, mudah terurai, tidak beracun dan mudah digunakan untuk aplikasi tertentu (Muzarelli *et al.*, 2010).

Polimer alam yang dapat digunakan sebagai matriks untuk CRF salah satunya adalah kitosan. Kitosan merupakan polisakarida bernitrogen dengan rumus molekul $(C_6H_{11}NO_4)_n$ yang dapat diperoleh dari deasetilasi kitin. Keunggulan kitosan adalah bersifat *biodegradable*, *biocompatible*, tidak beracun dan ramah lingkungan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja kitosan dalam aplikasinya yaitu struktur kimia, suhu, rasio pengikat silang, berat molekul dan pH (Berger *et al.*, 2004).

Berat Molekul merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat kitosan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Honari *et al.* (2009) mengatakan bahwa kitosan dengan berat molekul tinggi dapat menghasilkan bentuk *micropartikel* yang lebih seragam daripada berat molekul medium dan rendah. Selain berat molekul, sifat kitosan juga dipengaruhi oleh pH larutan. Hasil penelitian Erna *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa sifat *swelling* kitosan dipengaruhi oleh pH larutan yaitu *swelling* kitosan meningkat pada pH <7 dan apabila pH >7 *swelling* kitosan akan menurun. Namun demikian, kitosan memiliki kelemahan yaitu sifat mekanik kitosan yang rendah. Sifat mekanik kitosan yang rendah tersebut dapat diperbaiki apabila dikompositkan pada permukaan lempung/*clay*. Pelapisan kitosan pada *clay* mendukung meningkatkan kemudahan dalam pengikatan dan memperbaiki stabilitas mekanik dari kitosan (Teofilovic *et al.*, 2013).

Bentonit merupakan jenis mineral yang banyak mengandung montmorilonit, memiliki struktur mineral lempung liat yang tersusun oleh dua lapisan tetrahedral dan satu lapisan oktrahedral. Satu unit sel montmorilonit terdapat daerah interlayer yang di isi oleh molekul air dan kation. Daerah interlayer tersebut dapat mengembang bila

dicelupkan ke dalam air. Bentonit sering diaplikasikan pada berbagai bidang karena bentonit memiliki sifat sebagai penukar kation (Panda, 2012).

Komposisi kitosan yang digunakan dalam sistem CRF adalah 2% w/v (dalam pelarut asam asetat 2%) dan bentonit 1% w/v (membentuk suspensi dengan air), hal ini mengacu pada eksperimen yang dilakukan oleh Hritodor *et al.*(2012) dan Teofilovic *et al.*(2013). Kitosan 2% dikompositkan pada permukaan bentonit 1% membentuk lapisan tipis, didalam bentonit terdapat daerah interlayer yang diisi oleh molekul air dan kation, kitosan sebagai polikationik berinteraksi dengan anion yang terdapat di permukaan daerah interlayer pada bentonit (Hritodor *et al.*, 2012). Kitosan 2% dikompositkan pada permukaan bentonit 1% membentuk *beads*, hasil dari penelitian tersebut adalah kitosan yang dimodifikasi dengan bentonit mendukung kemudahan dalam pengikatan dan memperbaiki stabilitas mekanik dari kitosan (Teofilovic *et al.*, 2013).

Berdasarkan hal-hal yang diuraikan di atas, maka diperlukan suatu tindakan penelitian untuk mengidentifikasi *Controlled Release fertilizer* (CRF) pada fosfat yang terkandung pada pupuk majemuk dengan biopolimer berbasis kitosan yang dimodifikasi dengan bentonit, serta meneliti seberapa besar pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan dan seberapa besar pengaruh pH larutan sebagai media cair *beads* kitosan/bentonit.

1.2 Rumusan Masalah

Salah satu usaha untuk mengontrol pelepasan fosfat adalah dengan membuat *beads* kitosan/bentonit. Berdasarkan uraian diatas beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan terhadap bentuk fisik *Beads* kitosan/bentonit?
2. Bagaimana pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan terhadap Daya Serap Air (DSA) *Beads* kitosan/bentonit?

3. Bagaimana *Controlled Release* fosfat yang terlepas pada *Beads* dengan berbagai pH larutan ?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat banyak masalah yang berpengaruh pada penelitian ini, maka perlu ada batasan masalah sebagai berikut :

1. Kitosan yang digunakan adalah kitosan dari Sigma Aldrich dengan variasi Berat Molekul Rendah (50-190 kDa) : Medium (190-310 kDa) : Tinggi (310-375 kDa).
2. Bentonit yang digunakan adalah bentonit dari Sigma Aldric dengan Berat Molekul 180,1 g/mol.
3. Bahan aktif yang digunakan adalah Pupuk Majemuk Nitrafos yang mengandung senyawa fosfat 61%.

1.4 Tujuan Penelitian

Bedasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengkaji pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan terhadap bentuk fisik *Beads* kitosan/bentonit.
2. Mengkaji pengaruh variasi Berat Molekul (BM) kitosan terhadap Daya Serap Air (DSA) *Beads* kitosan/bentonit.
3. Mengkaji *Controlled Release* Fosfat yang terlepas dalam *Beads* dengan berbagai pH larutan.

1.5 Manfaat Penelitian

Mengembangkan polimer alam secara umum dan kitosan secara khusus sebagai bahan dasar pembuatan material *Beads* kitosan/bentonit fosfat dalam aplikasi *Controlled Release fertilizer* (CRF), sehingga aplikasi CRF dapat berkembang dan dimanfaatkan dengan baik di berbagai bidang dan kalangan masyarakat.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pelepasan Terkendali (*Controlled Release*)

Sistem pelepasan terkendali (*Controlled Release*) merupakan suatu teknik atau metode yang diterapkan untuk menekan laju pelepasan suatu bahan aktif yang lajunya dapat diatur sesuai dengan yang diperlukan (Thies, 1990). Teknologi *controlled release* ini dirancang untuk menghantarkan berbagai jenis bahan aktif (obat-obatan, pestisida, minyak wangi dan lain-lain) dengan laju yang spesifik selama selang waktu tertentu pada lokasi yang dikehendaki. Keunggulan metode ini dengan metode konvensional adalah pelepasan material bahan aktif yang dilakukan dengan lebih efektif dan optimal. Oleh karena itu teknologi *controlled release* banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang yaitu bidang medis, farmasi, pertanian dan industri (Wenten, 1999).

Pemilihan material bahan untuk aplikasi sistem pelepasan terkendali sangat penting agar mampu menghasilkan sebuah sistem pelepasan yang efisien dan kontinyu. Sistem pelepasan terkendali dalam aplikasi *real* banyak memanfaatkan polimer alam salah satunya yang berbasis protein (kolagen, gelatin, albumin) dan polisakarida (pati, dekstran, kitosan). Polimer alam digunakan pada sistem pelepasan terkendali karena sifatnya yang fleksibel, mudah terurai, tidak beracun dan mudah digunakan untuk aplikasi tertentu (Muzarelli *et al.*, 2010).

Penggunaan teknik *controlled release* telah merambah ke beberapa bidang dan salah satu bidang yang banyak digunakan adalah bidang pertanian. Istilah *controlled release* dalam bidang pertanian disebut *controlled release fertilizer* (CRF), yang secara umum untuk menggambarkan jumlah pupuk atau nutrisi yang terlepas di lingkungan dalam jumlah tertentu, misalnya penggunaan pupuk Nitrogen Fosfat (NP), Nitrogen Kalium (NK) dan Nitrogen Fosfat Kalium (NPK) (Hussain, 1989). Faktor yang berpengaruh dalam CRF adalah kondisi tanah seperti kelembaban tanah, kebasahan,

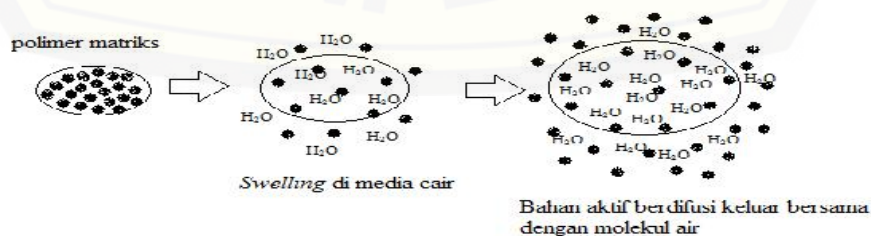
kekeringan dan aktifitas biologi dan cairan (Goertz, 1995; Shaviv, 1996; Raban *et al.*, 1997).

Sebagian besar pada pupuk tanaman mengandung fosfat karena fosfat sangat berguna bagi tumbuhan yaitu berfungsi untuk merangsang pertumbuhan akar terutama pada awal pertumbuhan, mempercepat pembentukan bunga, biji dan buah, serta memperkuat daya tahan terhadap penyakit (Soepardi, 1983). Pemilihan material bahan untuk aplikasi *controlled release fertilizer* (CRF) adalah penting agar mampu menghasilkan sebuah sistem pelepasan yang efisien dan kontinyu. Polimer merupakan salah satu bahan utama yang digunakan untuk mengendalikan laju pelepasan dan pergerakan dari material bahan aktif (Thies, 1990).

2.2 Mekanisme Pelepasan Terkendali (*Controlled Release*)

Molekul bahan aktif membutuhkan larutan di sekitar lingkungan untuk proses pelarutan. Polimer merupakan material yang dapat melindungi molekul bahan aktif pada sistem pelepasan untuk periode tertentu. Perlindungan ini dapat mencegah larutnya molekul bahan aktif, menghambat difusi molekul yang berlebih dan mengontrol laju aliran bahan aktif (Jantzen, 1996). Polimer dalam bentuk *beads* (butiran kristal) berfungsi sebagai pengontrol laju pelepasan bahan aktif. *Controlled release* dengan metode sistem matriks merupakan salah satu metode yang dapat mengatur laju pelepasan bahan aktif. Sistem matriks dilakukan dengan mendispersikan material bahan aktif dalam matriks polimer yang larut (Wenten, 1999).

Controlled release menggunakan prinsip difusi dalam proses pelepasan bahan aktif. Proses difusi bahan aktif dapat dilihat pada Gambar 2.1.

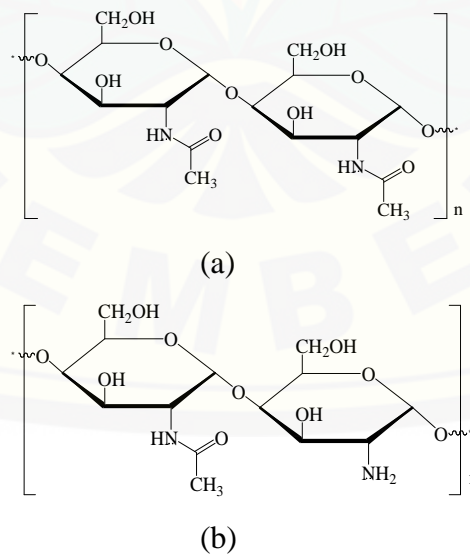


Gambar 2.1 *Controlled Release* bahan aktif pada matriks polimer (Linhard, 1989)

Bahan aktif yang terdispersi dalam matriks akan berdifusi secara perlahan ketika terjadi proses *swelling* dalam media cair. Pembasahan atau perendaman matriks dengan air atau cairan lain akan membuat molekul air menembus pori matriks dan terjadi *swelling*. Sifat matriks pada *beads* yang harus diperhatikan adalah porositas atau penyerapan matriks, pori dan dispersi substansi bahan aktif dalam matriks. Sifat *swelling* dalam media cair juga merupakan faktor penting dalam *controlled release* (Linhard, 1989).

2.3 Kitosan

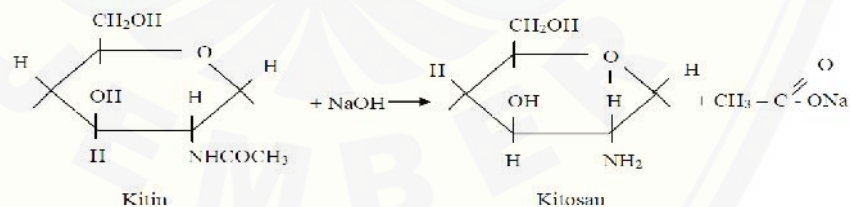
Kitosan merupakan polimer alam turunan dari kitin yang memiliki derajat desetilasi tertentu. Kitin adalah poli (2-asetomida-2-deoksi- (1-4)-D-glukopironosa) dengan rumus molekul $(C_8H_{13}NO_5)_n$ yang tersusun atas 47% C, 6% H, dan 40% O. Struktur kitin menyerupai struktur selulosa dan hanya berbeda pada gugus yang terikat di posisi atom C-2. Gugus C-2 selulosa adalah gugus hidroksil, sedangkan pada C-2 kitin adalah gugus N-asetil (-NHCOCH₃, asetamida). Kitosan merupakan kopolimer dari (1,4)-2-amino-2-deoksi-D-glukopiranosa dan 2-asetamido-2-deoksi-D-glukopiranosa seperti dalam Gambar 2.2 (Okuyama *et al.*, 1999).



Gambar 2.2 Struktur (a) Kitin dan (b) Kitosan (Muzzarelli, 1977).

Kitosan bersifat *biodegradable*, tidak beracun dan *biocompatible*. Kitosan merupakan biopolimer yang disintesis dari sejumlah organisme hidup di alam. Kitosan berasal dari kitin yang terdapat di alam sebagai kristal mikrofibril yang merupakan bentuk komponen struktur dalam eksoskeleton golongan artropoda, insekta, udang-udangan. Sumber kitin dapat diambil dari sampah kulit udang, kepiting, lobster dan cumi. Kitosan diperoleh dari proses deasetilasi kitin. Proses deasetilasi dengan kondisi tertentu akan menentukan berat molekul rata-rata dan derajat deasetilasi dari kitosan yang dihasilkan. Sifat *biodegradability* dan biologi kitosan bergantung pada jumlah bagian N-astil-D-glukosamin dan residu D-glukosamin (Qin *et al.*, 2006).

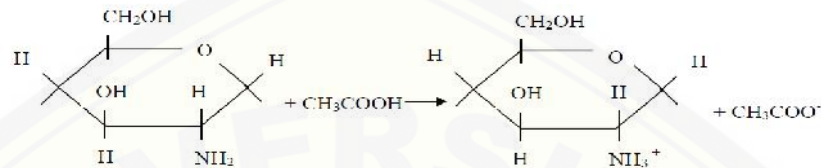
Isolasi kitosan dilakukan melalui proses deasetilasi kitin baik secara kimiawi maupun enzimatik. Deasetilasi kitin secara kimiawi dilakukan dengan merefluks kitin menggunakan larutan NaOH 50% selama waktu tertentu (1-2 jam). Namun kelemahan isolasi kitosan adalah terdapat kontaminasi limbah kimia, karena pada proses isolasi menggunakan larutan alkali kuat. Isolasi kitosan secara enzimatik dilakukan dengan menggunakan bakteri *Alkaligenius sp.* Bakteri tersebut mempunyai kemampuan untuk mendeasetilasi kitin menjadi kitosan. Proses ini secara ekonomis juga kurang menguntungkan, karena dalam proses tersebut membutuhkan temperatur yang tinggi selama waktu tertentu (Tarwadi, 2000). Proses reaksi pembentukan kitosan dari kitin dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Reaksi pembentukan kitosan dari kitin (Noviani, 2012).

Gugus amina bebas dalam larutan asam sangat cocok sebagai polikationik untuk mengkhelat logam atau membentuk dispersi. Oleh karena itu, dalam larutan asam kitosan akan menjadi polimer dengan struktur lurus sehingga sangat berguna untuk flokulasi, pembentuk film atau imobilisasi enzim (Ornum, 1992). Gugus amina bebas

dari kitosan dalam suasana asam akan terprotonasi membentuk gugus amino kationik (-NH_3^+). Kation dalam kitosan tersebut jika bereaksi dengan polimer anionik akan membentuk kompleks elektrolit (Sanford, 1989). Proses reaksi kelarutan kitosan ke dalam asam asetat dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Reaksi kelarutan kitosan dengan asam asetat (Noviani, 2012).

2.3.1 Sifat Fisika dan Kimia Kitosan

Kitosan adalah polimer semikristal dan stabil. Bentuk kitosan adalah padatan dengan warna putih sedikit kekuningan, mempunyai bau khas seperti rumput laut. Kitosan mempunyai derajat deasetilasi dan berat molekul bervariasi (Jayakumar *et al.*, 2010) yang merupakan dua sifat fisika-kimia penting pada kitosan. Derajat deasetilasi didefinisikan sebagai persentase dari gugus amino primer dalam kerangka polimer. Kualitas kitosan dapat dilihat dari sifat instriknya, yaitu kemurniannya, berat molekul, dan derajat deasetilasi. Kitosan komersial umumnya mempunyai derajat deasetilasi 60-95% dan berat molekul 10-1000 kDa. Tinggi rendahnya derajat deasetilasi ini tergantung pada jenis isolasi yang dilakukan (Khan *et al.*, 2002). Menurut Lubis (2006) berat molekul kitosan dapat mempengaruhi membran kitosan, sifat morfologi dan ukuran kristal. Kitosan dengan berat molekul tinggi telah dilaporkan dapat membentuk film yang mempunyai sifat-sifat yang baik, sebagai hasil dari ikatan intra dan intermolekul hidrogen (Muzzarelli, 1977).

Pembuatan kitosan dengan variasi berat molekul dapat dilakukan dengan beberapa metode. Kitosan dengan berat molekul rendah dapat diproduksi secara kimia atau dengan melalui proses depolimerisasi enzimatik dari kitosan. Kitosan berat molekul medium diperoleh dari depolimerisasi pada asam lemah sulfat panas dan menghasilkan kitosan berat molekul rendah (Ramadhan *et al.*, 2010).

Kitosan tidak berwarna dan mudah larut dalam larutan asam lemah. Kelarutan kitosan terjadi karena protonasi gugus amino pada posisi C-2 dari residu D-glukosamin, dimana polisakarida diubah menjadi polikation dalam media asam. Kelarutan kitosan rendah pada pH 7.4 atau basa lemah (pKa 6.2-7). Flokulasi terjadi pada pH 7.5 berkaitan dengan deprotonasi dan ketidaklarutan dari polimer (Jayakumar *et al.*, 2010).

Kaban (2009) mengatakan bahwa adanya gugus amino, kitosan merupakan polielektrolit kationik (pKa 6,5). Karena sifat kitosan yang basa ini, maka kitosan:

- a. Larut dalam larutan asam encer membentuk larutan yang kental, sehingga dapat digunakan untuk pembuatan gel dalam beberapa variasi konfigurasi seperti butiran, membran, pelapis, kapsul, serat dan spons.
- b. Membentuk kompleks yang tidak larut dalam air dengan polielektrolit anion yang dapat digunakan untuk pembuatan butiran, gel, kapsul dan membran.
- c. Digunakan sebagai pengkhelet ion logam berat di mana gel-nya menyediakan sistim proteksi terhadap efek destruksi dari ion.

2.3.2 Sifat *Swelling* Kitosan

Kitosan memiliki sifat hidrofilik yang kuat sehingga mampu menyerap molekul air yang berada di sekitar kitosan, oleh karena itu kitosan merupakan suatu hidrogel. Hidrogel merupakan polimer hidrofilik yang membentuk jaringan tiga dimensi dan mampu menyerap molekul air dan cairan biologis. Kitosan dapat menunjukkan karakteristik *swelling* didasarkan pada perubahan lingkungan disekitarnya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi respon hidrogel terhadap perubahan lingkungan yaitu, pH, temperatur, rasio bahan pengikat silang dan struktur kimia (Berger *et al.*, 2004).

2.4 *Beads* Kitosan

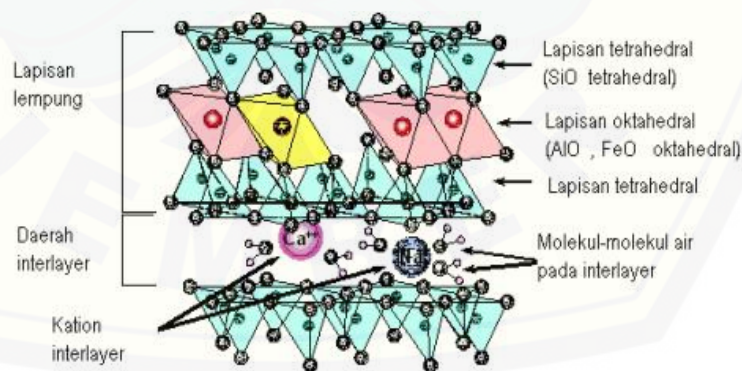
Kitosan dapat dimodifikasi menjadi bentuk *beads*. Ukuran diameter *beads* yang terbentuk bergantung pada ukuran bahan dan konsentrasi yang digunakan (Sagala, 2012). Zhang *et al.* 2011 melakukan eksperimen membuat *beads* dengan berbagai

diameter yaitu $0,85 \pm 0,01$ mm sampai dengan $2,07 \pm 0,01$ mm. *Beads* dengan diameter 0,85 mm ketika direndam dengan air mengalami perubahan ukuran diameternya menjadi 2,44 mm, hal ini menandakan bahwa *beads* tersebut bersifat hidrofilik.

Beads kitosan pada penelitian ini akan dibuat untuk aplikasi pelepasan nutrient pupuk. *Beads* pada pupuk SPT 36 berbentuk butiran granula yang memiliki diameter antara $1,07 \text{ mm} \pm 0,01$ sampai dengan $2,75 \text{ mm} \pm 0,01$.

2.5 Bentonit

Bentonit mempunyai bentuk berupa partikel butiran halus berwarna kuning muda, putih dan abu-abu dengan massa jenis 2,2-2,7 g/L dan massa molekul relatif bentonit sebesar 549,07 g/mol. Bentonit termasuk jenis mineral yang banyak mengandung montmorilonit, memiliki struktur mineral lempung liat jenis TOT (2:1) artinya strukturnya disusun oleh dua lapisan tetrahedral (T) dan satu lapisan oktahedral (O). Bentonit termasuk mineral *clay* golongan smektit dioktahedral yang mengandung sekitar 80% montmorillonit dan sisanya antara lain kaolin, illite, gypsum, feldspar, gypsum, abu vulkanik, pasir kuarsa dan monmorillonite yang berada diantara dua lapisan tetrahedral (Zulkarnaen *et al.*, 1990). Struktur bentonit dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur bentonit (Othmer, 1964).

Satu unit sel montmorilonit terdapat daerah interlayer yang diisi oleh molekul air dan kation-kation. Daerah interlayer dapat mengembang bila dicelupkan dalam air.

Secara alami struktur montmorillonit mengalami proses substitusi isomorfis, yaitu posisi Al(III) dan Fe(III) sehingga terdapat netto muatan negatif pada permukaan dan harus dinetralkan oleh kation seperti Natrium, Kalium dan Kalsium yang terserap di daerah interlayer montmorillonit. Kation yang terserap di daerah interlayer disebut kation interlayer (*exchangeable cations*) (Burch, 1997).

Montmorillonit merupakan bagian dari kelompok *smectit* dengan komposisi kimia secara umum $(Mg,Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot nH_2O$. Bentonit sering diaplikasikan pada berbagai bidang yaitu industri logam, pertanian, makanan dan minuman, farmasi, lingkungan dan katalis karena bentonit memiliki sifat sebagai penukar kation. Bentonit berbeda dari *clay* lain karena hampir seluruhnya (75%) merupakan mineral monmorillonit (Zulkarnaen *et al.*, 1990).

2.5.1 Sifat Fisika dan Kimia Bentonit

Sifat-sifat dari bentonit adalah:

- a. Memiliki kilap lilin
- b. Memiliki warna yang cukup bervariasi, mulai dari warna dasar putih, hijau muda kelabu, merah muda dalam keadaan segar, dan akan berubah warna menjadi krem apabila sudah melapuk, atau kecoklatan, serta hitam keabu-abuan, tergantung pada jenis dan jumlah fragmen mineralnya
- c. Bersifat sangat lunak, memiliki porositas yang tinggi, ringan, mudah pecah, terasa seperti sabun, mudah menyerap air, dan dapat melakukan pertukaran ion (*Ion exchanging*)
- d. Bentuk fisik adalah padatan
- e. pH berkisar 7-10
- f. Mempunyai titik didih sekitar 2192 °F (1200 °C)
- g. Mempunyai berat jenis berkisar antara 2,4 – 2,8 g/ml.

(Soedjoko,1987).

2.5.2 Peran Bentonit

Soedjoko (1987) menyatakan bahwa bentonit mempunyai dua peran yang sangat penting yaitu :

1. Penukar ion

Pemanfaatan bentonit sebagai bahan penukar ion didasarkan pada sifat permukaan bentonit yang bermuatan negatif sehingga kation-kation dapat terikat secara elektrostatik pada permukaan bentonit. Sifat ini juga merupakan hal penting dalam pengubahan Ca-bentonit menjadi Na-bentonit. Bentonit di Indonesia memiliki daya penukar kation dengan nilai kapasitas tukar kation yang berbeda untuk tiap-tiap daerah yaitu berkisar antara 50-100 meq/100 g. Hal ini disebabkan karena perbedaan komposisi kandungan kimianya.

2. Bahan penyerap (*Adsorben*)

Proses penyerapan zat warna merupakan proses yang sering ditemukan seperti penyerapan zat warna pada minyak hewani, minyak nabati, minyak bumi dan lain-lain. Dalam keadaan awal, bentonit mempunyai kemampuan tinggi untuk menjernihkan warna. Kemampuan penyerapan warna ini dapat ditingkatkan melalui proses pengolahan dan pengasaman.

Berdasarkan kandungan alumino silikat hidrat yang terdapat dalam bentonit, maka bentonit dapat dibagi atas 2 (dua) golongan ,yaitu :

- a. *Activated Clay* merupakan lempung yang mempunyai daya pemucatan yang rendah.
- b. *Fuller's Earth* biasanya digunakan sebagai bahan pembersih bahan wool dari lemak. *Fuller's earth* adalah sejenis lempung yang secara alami mempunyai sifat daya serap terhadap zat warna pada minyak, lemak dan pelumas. Karakteristik dari lempung jenis ini adalah mempunyai kandungan air yang tinggi, plastisitas yang rendah, dan struktur yang berlapis – lapis.

2.5.3 Jenis-jenis Bentonit

Menurut Soedjoko (1987) menyatakan bahwa terdapat dua jenis bentonit yang banyak dijumpai, yaitu :

1. *Swelling* Bentonit

Bentonit ini dapat mengembang atau sering disebut bentonit jenis Wyoming atau Na-Bentonit, yaitu jenis mineral montmorilonit yang mempunyai partikel lapisan air tunggal (*Single Water Layer Particles*) yang mengandung kation Na^+ yang dapat dipertukarkan. Bentonit jenis ini mempunyai kemampuan mengembang hingga delapan kali apabila dicelupkan ke dalam air, dan tetap terdispersi beberapa waktu didalam air. Dalam keadaan kering, berwarna putih, atau kuning gading, sedangkan dalam keadaan basah dan terkena sinar matahari akan berwarna mengkilap. Perbandingan antara kation Na^+ dan kation Ca^{2+} didalamnya sangat tinggi, serta suspensi koloidnya mempunyai pH 8,5-9,8. Kandungan NaO dalam bentonit jenis ini, pada umumnya lebih besar dari 2%.

2. *Non Swelling* Bentonit.

Bentonit ini kurang dapat mengembang atau sering juga disebut Ca-Bentonit, yaitu jenis mineral montmorilonit yang kurang dapat mengembang apabila dicelupkan didalam air, namun setelah diaktifkan dengan asam, maka akan memiliki sifat menyerap sedikit air dan akan cepat mengendap tanpa membentuk suspensi. Bentonit ini mempunyai pH-nya sekitar 4,0-7,1. Daya tukar ionnya juga cukup besar. Bentonit jenis ini mengandung kalsium dan magnesium yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan kandungan natriumnya.

Minto (2009) mengatakan bahwa sebelum digunakan dalam berbagai aplikasi bentonit harus diaktifkan dan diolah terlebih dahulu. Ada 2 cara yang dapat dilakukan untuk aktivasi bentonit, yaitu :

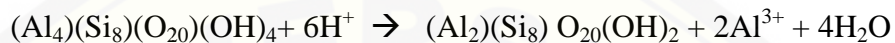
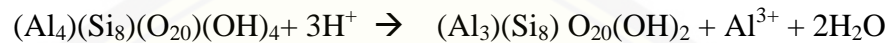
1. Secara pemanasan.

Bentonit dipanaskan pada temperatur 300° – 350°C untuk memperluas permukaan butiran bentonit.

2. Secara kontak asam.

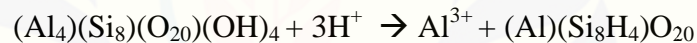
Tujuan dari aktivasi kontak asam adalah untuk menukar kation Ca^{2+} yang ada dalam Ca-Bentonit menjadi ion H^+ dan melepaskan ion Al, Fe, dan Mg dan pengotor-pengotor lainnya dari kisi-kisi struktur, sehingga secara fisik bentonit

tersebut menjadi lebih aktif. Asam sulfat dan asam klorida adalah zat kimia yang umum digunakan. Selama proses *bleaching* Al, Fe, dan Mg larut dalam larutan, kemudian terjadi penyerapan asam ke dalam struktur bentonit, sehingga rangkaian struktur (*frame work*) mempunyai area yang lebih luas. Proses pelepasan Al dari bentonit disajikan dalam persamaan berikut ini :



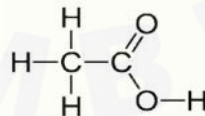
Sepuluh dari atom Al berpindah dari struktur bersama dengan gugus hidroksida. Atom-atom Al yang tersisa masih terkoordinasi dalam rangkaian tetrahedral dengan 4 atom oksigen tersisa.

Perubahan dari gugus oktahedral menjadi tetrahedral membuat kisi kristal bermuatan negatif pada permukaan kristal, sehingga dapat dinetralkan oleh ion hidrogen. Pada proses aktivasi selanjutnya terjadi pelarutan lebih banyak lagi. Persamaan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut ini :



2.6 Asam Asetat

Asam asetat dengan rumus struktur $HC_2H_3O_2$ dikenal juga dengan asam etanoat merupakan bahan kimia organik, dinamakan cuka karena rasanya yang asam dan baunya yang menyengat. Gambar 2.6 adalah struktur asam asetat.



Gambar 2.6 Struktur Asam Asetat.

Asam asetat merupakan satu dari asam karboksilat yang paling sederhana (berikutnya adalah asam format), merupakan reagensia dan bahan kimia industri yang sangat penting yang dipakai untuk memproduksi berbagai macam bahan (Safitra, 2008).

Asam asetat cair adalah pelarut protik hidrofilik (polar), mirip seperti air dan etanol. Asam asetat memiliki konstanta dielektrik 6,2 sehingga ia bisa melarutkan baik senyawa polar seperti garam anorganik dan gula maupun senyawa nonpolar seperti minyak dan unsur-unsur seperti sulfur dan iodin. Asam asetat bercampur dengan mudah dengan pelarut polar atau nonpolar lainnya seperti air, kloroform dan heksana. Sifat kelarutan dan kemudahan bercampur dari asam asetat ini digunakan secara luas dalam industri kimia (Safitra, 2008).

Asam asetat digunakan sebagai pelarut kitosan karena kitosan larut dengan cepat dalam asam organik seperti asam asetat, asam formiat dan asam sitrat (Mat, 1995). Adanya gugus amino menyebabkan kitosan dapat larut dalam larutan asam dengan pH <6,5. Gugus amino menyebabkan kitosan menjadi polielektrolit kationik (pKa 6,5). Kebiasaan kitosan menyebabkan sifat istimewa kitosan yaitu larut dalam media larutan asam pada pH <6,5 dan saat dilarutkan, gugus $-NH_3^+$ dengan muatan positif yang tinggi menempel pada suatu permukaan yang bermuatan negatif (Krajewska, 2003).

2.7 Pupuk Majemuk

Pupuk majemuk adalah pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara misalnya pupuk Nitrogen Phospat (NP), Nitrogen Kalium (NK), Phospat Kalium (PK), Nitrogen Phospat Kalium (NPK) ataupun Nitrogen Phospat Kalium Magnesium (NPKMg). Disebut pupuk majemuk karena pupuk ini mengandung unsur hara makro dan mikro dengan kata lain pupuk majemuk lengkap bisa disebut sebagai pupuk NPK atau *Compound Fertilizer*. Pupuk majemuk NP, NK, PK, NPK ataupun NPKMg adalah pupuk anorganik atau pupuk buatan yang dihasilkan dari pabrik-pabrik pembuat pupuk, yang mana pupuk tersebut mengandung unsur-unsur hara atau zat-zat makanan yang diperlukan tanaman (Sutejo, 2002). Kandungan unsur hara dalam pupuk majemuk dinyatakan dalam tiga angka yang berturut-turut menunjukkan kadar N, P_2O_5 dan K_2O (Hardjowigeno, 2003).

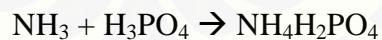
Pupuk majemuk memiliki bentuk yang berbeda-beda, dapat berbentuk bubuk, butiran (granul) maupun tablet. Bentuk dari pupuk majemuk ini dibuat sesuai dengan

kebutuhan tanaman misalnya pupuk dengan bentuk bubuk cepat larut dalam air, pupuk ini sesuai untuk tanaman yang berumur pendek. Pupuk dengan bentuk tablet mempunyai daya larut unsur hara dalam air yang lambat, pupuk tablet digunakan untuk pemupukan tanaman keras (tanaman tahunan). Pupuk majemuk lengkap mengandung semua unsur hara makro esensial bagi tanaman yang telah digabung menjadi satu kesatuan. Pupuk majemuk dibuat dalam bentuk butiran dengan ukuran yang seragam sehingga memudahkan penaburan yang merata. Keuntungan dari pemakaian pupuk majemuk yaitu dengan satu kali pemberian pupuk telah mencakup beberapa unsur sehingga tidak ada persoalan pencampuran pupuk (Sutejo, 2001).

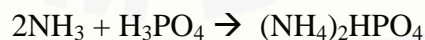
2.7.1 Pupuk Majemuk yang mengandung fosfat

Pupuk Majemuk adalah pupuk yang mengandung lebih dari satu unsur hara yang digunakan untuk menambah kesuburan tanah, misalnya pupuk Nitrogen Phospat (NP), Nitrogen Kalium (NK) dan Nitrogen Phospat Kalium (NPK). Pupuk NP atau biasa disebut ammonium fosfat dihasilkan dari hasil reaksi antara amonia dengan asam fosfat atau pencampuran fosfor dengan asam sulfat. Ada beberapa jenis pupuk ammonium fosfat yang banyak digunakan, diantaranya *Monoammonium Phosphate* (MAP), *Diammonium Phosphate* (DAP) dan *Ammonium Phosphate-Sulfate*.

MAP diperoleh dari hasil reaksi antara amonia dengan asam fosfat serta mengandung 12 % N dan 61 % P₂O₅ :



DAP diperoleh dari hasil reaksi antara amonia dengan asam fosfat serta mengandung 21 % N dan 53 % P₂O₅ :



Amonia juga dapat direaksikan dengan cara mencampurkan fosfor dengan asam sulfat yang menghasilkan *ammonium phosphate-sulfate* yang terdiri dari 16 % N dan 20 % P₂O₅:



(Jones, 1982).

2.8 Fosfat

Fosfor merupakan salah satu nutrisi utama yang sangat penting dalam pertumbuhan tanaman. Fosfor tidak terdapat secara bebas di alam. Fosfor ditemukan sebagai fosfat dalam beberapa mineral, tanaman dan merupakan unsur pokok dari protoplasma. Fosfor terdapat dalam air sebagai ortofosfat. Sumber fosfor alami dalam air berasal dari pelepasan mineral-mineral dan biji-bijian (Bauschamp, 1997).

Fosfat terdapat dalam tiga bentuk yaitu H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Fosfat umumnya diserap oleh tanaman dalam bentuk ion ortofosfat primer H_2PO_4^- atau ortofosfat sekunder HPO_4^{2-} sedangkan PO_4^{3-} lebih sulit diserap oleh tanaman. Bentuk yang paling dominan dari ketiga fosfat tersebut dalam tanah bergantung pada pH tanah (Engelstad, 1997). pH lebih rendah menyebabkan tanaman lebih banyak menyerap ion ortofosfat primer, sedangkan pada pH yang lebih tinggi ion ortofosfat sekunder yang lebih banyak diserap oleh tanaman (Hanafiah, 2005). Ortofosfat merupakan bentuk fosfat yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tanaman, sedangkan polifosfat harus terlebih dahulu mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat sebelum dimanfaatkan sebagai sumber fosfor.

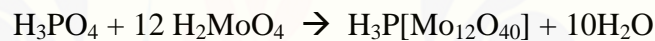
Fosfor sangat berpengaruh terhadap perkembangan tanaman dan pertumbuhan tanaman. Pengaruh P terhadap produksi tanaman dapat merupakan tingginya produksi tanaman atau bahan kering, perbaikan kualitas hasil dan mempercepat masa pematangan (Suriadikarta *et al.*, 2006). Kekurangan P pada tanaman akan mengakibatkan berbagai hambatan metabolisme, diantaranya dalam proses sintesis protein, yang menyebabkan terjadinya akumulasi karbohidrat dan ikatan nitrogen. Gejala lain adalah nekrosis (kematian jaringan) pada pinggir atau helai dan tangkai daun, diikuti melemahnya akar dan batang tanaman (Elfiati, 2005).

2.8.1 Klasifikasi Fosfor pada Fosfat

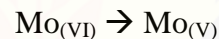
Hansen (1992) menyatakan bahwa kelarutan fosfor didalam fosfat sangat bervariasi. Metode kimia yang telah berkembang untuk mengukur kadar fosfor dalam pupuk fosfat adalah dengan menentukan kelarutannya dalam air, kelarutan dalam sitrat,

tidak larut dalam sitrat, ketersediaannya dan fosfat total sebagai P_2O_5 . Sampel kecil yang akan dianalisa, pertama kali diekstraksi dengan air, kemudian endapannya disaring, dan fosfor yang terkandung dalam filtrat ditentukan. Kandungan fosfor dari filtrat ditentukan dan dinyatakan sebagai persentase berat total sampel, ini mewakili fraksi sampel yang larut dalam air.

1. Fosfor yang larut dalam sitrat. Residu tersebut ditambahkan larutan ammonium sitrat 1 N, kemudian diekstraksi. Kandungan fosfor dari filtrat ditentukan dan dinyatakan sebagai persentase berat total sampel, ini dinamakan fosfor yang larut dalam sitrat.
2. Fosfor tersedia. Jumlah fosfor yang larut dalam air dan larut dalam asam sitrat 2 % mewakili taksiran yang tersedia untuk tanaman.
3. Fosfor total. Fosfor total dapat ditentukan secara langsung. Reaksi penentuan fosfat adalah sebagai berikut :



Biru Molibdem



2.8.2 Metode Analisis Kuantitatif Fosfat

Analisis kuantitatif fosfat ada beberapa metode, salah satu metode analisis kuantitatif fosfat yaitu metode asam askorbat. Asam askorbat merupakan salah satu pereduksi yang dapat memberikan warna kompleks biru yang maksimum. Dalam metode asam askorbat, ammonium molibdat dan kalium antimonil tartarat bereaksi dalam medium asam dengan larutan sampel membentuk kompleks antimonil fosfomolibdat yang akan direduksi menjadi kompleks biru-molibdem (*molybdenum blue*) oleh asam askorbat dan diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang ($\lambda = \pm 800$ nm). Metode asam askorbat ini dapat digunakan untuk berbagai tipe sampel dan mengalami gangguan yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode $SnCl_2$ (Baush, 1974).

Analisis kuantitatif fosfat dengan metode asam askorbat tersebut menggunakan alat spektrometri. Spektrometri merupakan salah satu metode analisis yang didasarkan

pada identifikasi dan kuantifikasi analit melalui sifat optisnya. Proses yang terjadi antara analit dengan radiasi elektromagnetik bisa melalui absorpsi, emisi, fluoresensi. Radiasi elektromagnetik berupa bentuk paket energi diskrit yang disebut foton. Suatu foton memiliki energi tertentu dan dapat menyebabkan transisi tingkat energi suatu atom atau molekul (Day dan Underwood, 2001).

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer didasarkan pada Hukum Beer-Lambert (Khopkar, 1990). Penentuan konsentrasi analit dalam sampel dapat ditentukan menggunakan kurva kalibrasi dengan persamaan Lambert-Beer sebagai berikut.

$$A = -\log(I_0/I) = abc$$

Simbol A adalah absorbansi atau cahaya yang diserap, I_0 adalah intensitas cahaya yang diberikan insiden pada panjang gelombang, I adalah intensitas ditransmisikan, b adalah tebal kuvet (cm), c yang konsentrasi spesies menyerap (g/L), a adalah absorptivitas ($\text{cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{L}$) (Day dan Underwood, 2001).

Fosfat dapat terukur menggunakan metode spektrometri karena dapat membentuk kompleks berwarna. Berdasarkan metode yang dikemukakan oleh Murphy Riley dalam Enemchukwu (2012), fosfat dapat mudah bereaksi dengan amonium molibdat membentuk suatu kompleks dengan katalis kalium antimonit tartar. Kompleks direduksi oleh asam askorbat dan membentuk kompleks berwarna biru. Penggunaan reagen tersebut dapat membuat konsentrasi fosfat dalam analit stabil pada temperatur ruang.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Center of Development Advance of Science And Technology* Universitas Negeri Jember. Pelaksanaan penelitian berlangsung mulai bulan Juli 2014 hingga Februari 2016.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Berbagai peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas (Gelas kimia, erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, pipet volume, kaca arloji, cawan petri, corong, buret, pipet mohr, botol gelas, tabung reaksi, pipet tetes), neraca analitik, oven listrik, hot plate, pengaduk magnetik, pipet mikro, pH meter, spatula, pengaduk, spektrometer UV-VIS, pinset, ball pipet, botol cuci, alat suntik 20 mL.

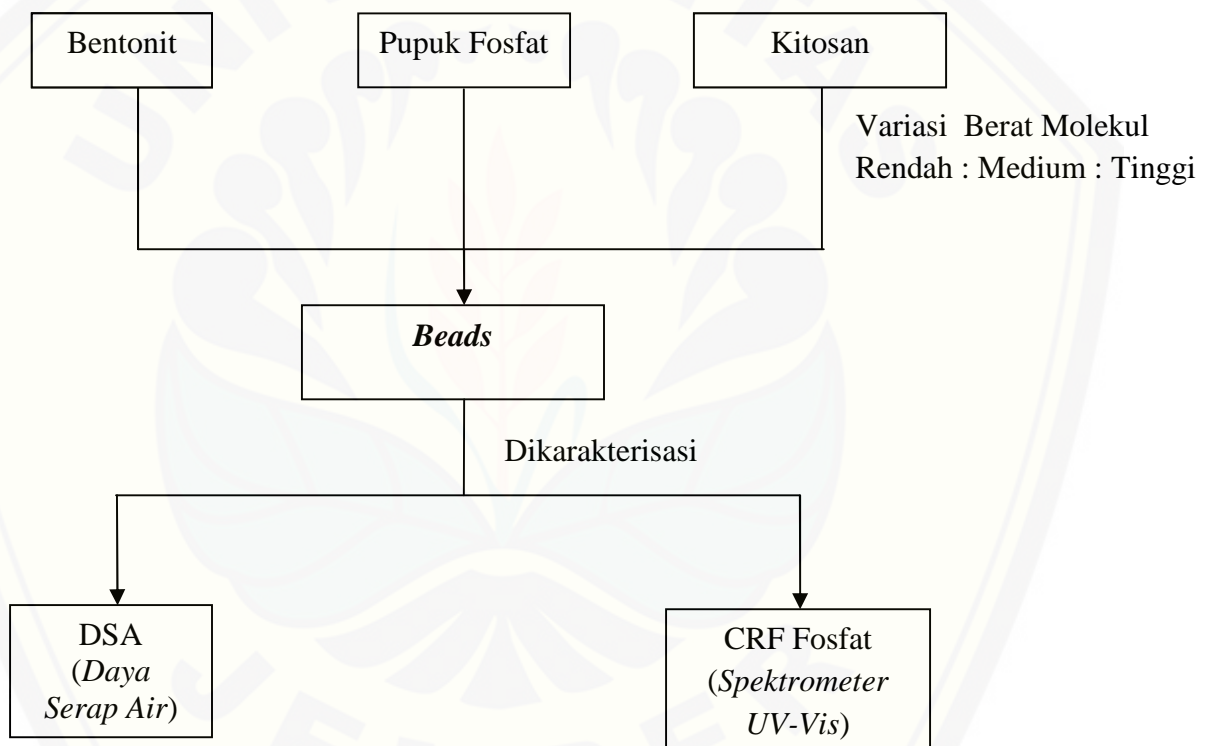
3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi: Kitosan (Berat Molekul Rendah, 50-190 kDa), Kitosan (Berat Molekul Medium, 190-310 kDa), Kitosan (Berat Molekul Tinggi, 310-375 kDa) Sigma Aldrich. Asam Asetat, CH_3COOH (merk E. Merck; $\rho = 1.05 \text{ g/cm}^3$; BM = 60.05 g/mol). Bentonit, $\text{H}_2\text{Al}_2\text{O}_6\text{Si}$ ($\rho = 180,1 \text{ g/cm}^3$) Sigma Aldrich. Pupuk majemuk fosfat (Nitrafos 61% Fosfat). Natrium Hidroksida, NaOH (Merck; $\rho = 2.13 \text{ g/cm}^3$; BM = 40 g/mol). Asam Sulfat, H_2SO_4 (Merck, BM = 119,98 g/mol). Natrium Molibdat, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ (BM = 1163.9 g/mol; $\rho = 2.498 \text{ g/cm}^3$). Asam Askorbat, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (Merck, BM = 176,14 g/mol). Kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4 (Merck, BM = 136 g/mol). Natrium Dihidrogen Fosfat, NaH_2PO_4 (Merck, BM = 119, 98 g/mol). Dinatrium Hidrogen Fosfat, Na_2HPO_4 (Merck, BM =

141,96 g/mol). Antimoni Kalium Tartrat, $\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (BM = 324.866 g/mol). Aquades.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang dikemukakan dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, maka pelaksanaan penelitian dilakukan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Skema preparasi dan pengujian *Beads* CRF

3.4 Prosedur Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi pembuatan *beads* dan larutan standart. *Beads* dikarakterisasi dengan % Daya Serap Air dan pelepasan fosfat dalam air. Secara detail tahapan dari penelitian dapat dilihat pada prosedur berikut ini.

3.4.1 Pembuatan Larutan Polimer

a. Larutan Asam Asetat 2% (v/v)

Pembuatan larutan asam asetat 2% (v/v) dilakukan dengan melarutkan 2 mL asam asetat glasial dengan aquades dalam labu ukur 100 mL hingga tanda batas.

b. Kitosan 2%

Kitosan sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL dan ditambahkan 50 mL asam asetat 2%, diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 24 jam hingga homogen.

c. Bentonit 1%

Bentonit sebanyak 0,5 g dikeringkan pada suhu 110 °C selama 2 jam, bentonit yang sudah kering dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL dan ditambahkan dengan aquades 50 mL, diaduk menggunakan pengaduk magnetik hingga membentuk suspensi.

3.4.2 Pembuatan *beads* kitosan/bentonit.

Beads dibuat dengan menambahkan 50 mL bentonit 1% kedalam 50 mL larutan kitosan 2% (Misal: kitosan Berat Molekul Rendah). Penambahan bentonit 1% ke dalam larutan kitosan 2% dilakukan secara perlahan-lahan disertai pengadukan menggunakan pengaduk magnetik selama 24 jam untuk memperoleh larutan homogen.

Fosfat yang ditambahkan ke dalam campuran kitosan/bentonit adalah sebesar 500 ppm dalam bentuk pupuk majemuk fosfat, sehingga pupuk majemuk fosfat yang diambil adalah sebesar 0,082 g dan diaduk selama 6 jam hingga semua tercampur secara merata. Larutan kemudian dibuat bentuk *beads* dengan menggunakan *syringes* ukuran 20 mL yang diteteskan perlahan-lahan ke dalam larutan NaOH 1M disertai pengadukan.

Beads yang diperoleh selanjutnya disaring menggunakan penyaring dan dicuci dengan aquades secara perlahan-lahan hingga diperoleh pH yang netral. *Beads* dikeringkan ke dalam oven suhu 40°C selama 24 jam (Jamnongan, 2010). Cara yang

sama dilakukan untuk pembuatan *beads* menggunakan kitosan dengan Berat Molekul Medium dan Berat Molekul Tinggi.

3.4.3 Pembuatan larutan *Buffer* pH 3, pH 6,4 dan pH 10

a. Pembuatan larutan *Buffer* pH 3

Buffer pH 3 dibuat dengan menyiapkan larutan asam sitrat, $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,1 M dan larutan dinatrium hidrogen fosfat, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,2 M. Larutan asam sitrat 0,1 M disiapkan dengan cara melarutkan 10,5 g padatan asam sitrat ke dalam aquades. Padatan asam sitrat dilarutkan ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Larutan dinatrium hidrogen fosfat 0,2 M disiapkan dengan cara melarutkan 26,8 g padatan dinatrium hidrogen fosfat ke dalam aquades. Padatan dinatrium hidrogen fosfat dilarutkan ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Penyiapan larutan *buffer* pH 3 dilakukan dengan mencampurkan 79,49 mL larutan asam sitrat 0,1 M dan 20,55 mL larutan dinatrium hidrogen fosfat 0,2 M dan diukur pH nya menggunakan pH-meter hingga menunjukkan angka 3. Pengambilan masing-masing larutan menggunakan gelas ukur, pipet mohr dan pipet mikro (Vogel, 1979).

b. Pembuatan larutan *Buffer* pH 6,4.

Buffer pH 6,4 dibuat dengan menyiapkan larutan kalium dihidrogen fosfat, KH_2PO_4 0,1 M dan larutan natrium hidroksida, NaOH 0,1 M. Larutan kalium dihidrogen fosfat 0,1 M disiapkan dengan cara melarutkan 6,8 g padatan kalium dihidrogen fosfat ke dalam aquades. Padatan kalium dihidrogen fosfat dilarutkan ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Larutan natrium hidroksida 0,1 M disiapkan dengan cara melarutkan 2 g padatan natrium hidroksida ke dalam aquades. Padatan natrium hidroksida dilarutkan

ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Penyiapan larutan *buffer* pH 6,4 dilakukan dengan mencampurkan 100 mL kalium dihidrogen fosfat 0,1 M dan 23,2 mL larutan natrium hidroksida 0,1 M dan diukur pH nya menggunakan pH-meter hingga menunjukkan angka 6,4. Pengambilan masing-masing larutan menggunakan gelas ukur, pipet mohr dan pipet mikro (Robinson *et al.*, 1968)

c. Pembuatan larutan *Buffer* pH 10

Buffer pH 10 dibuat dengan menyiapkan larutan dinatrium hidrogen fosfat, Na_2HPO_4 0,05M dan larutan natrium hidroksida, NaOH 0,1 M. Larutan dinatrium hidrogen fosfat 0,05 M disiapkan dengan cara melarutkan 3,55 g padatan dinatrium hidrogen fosfat ke dalam aquades. Padatan dinatrium hidrogen fosfat dilarutkan ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Larutan natrium hidroksida 0,1 M disiapkan dengan cara melarutkan 2 g padatan natrium hidroksida ke dalam aquades. Padatan natrium hidroksida dilarutkan ke dalam 50 mL aquades diaduk hingga larut, dimasukkan perlahan-lahan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas.

Penyiapan larutan *buffer* pH 10 dilakukan dengan mencampurkan 100 mL dinatrium hidrogen fosfat 0,05 M dan 6,6 mL larutan natrium hidroksida 0,1 M dan diukur pH nya menggunakan pH-meter hingga menunjukkan angka 10. Pengambilan masing-masing larutan menggunakan gelas ukur, pipet mohr dan pipet mikro (Robinson *et al.*, 1968)

3.4.4 Karakterisasi *Beads* Kitosan/Bentonit

Beads yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi Daya serap Air dan Pelepasan Fosfat (*Release*) sebagai berikut.

1. Daya Serap Air (*Swelling*)

Pengukuran DSA diawali dengan menimbang *beads* kering kemudian dicatat sebagai berat kering. *Beads* tersebut direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam, kemudian diusap air yang ada di permukaan *beads* dengan menggunakan tisu dan ditimbang kembali sebagai berat basah. Nilai %DSA diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ DSA} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Keterangan :

W_0 = Berat Kering (gram)

W_1 = Berat Basah (gram)

(Lan Wu & Liu, 2007).

2. Pengukuran pelepasan fosfat di dalam air.

Pelepasan fosfat dalam sampel dapat diukur dengan menggunakan metode spektrofotometri karena fosfat dapat membentuk kompleks berwarna. Ada beberapa tahapan dalam analisis ini yaitu pembuatan pereaksi fosfat pekat, pembuatan pewarna fosfat, pembuatan kurva kalibrasi dan pengukuran fosfat dalam sampel.

a. Pembuatan Pereaksi Fosfat Pekat

Pembuatan larutan pereaksi fosfat pekat dengan cara menimbang 1,20 gram ammonium molibdat dilarutkan dengan 10 mL aquades dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, selanjutnya ditambahkan 0,028 gram antimoni kalium tartrat ($\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6$) yang telah dilarutkan dengan 10 mL akuades. Asam sulfat pekat ditambahkan secara perlahan sebanyak 14 mL. Larutan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan ini disimpan pada tempat yang sejuk.

b. Pembuatan Pereaksi Pewarna Fosfat

Pembuatan pereaksi pewarna fosfat ini dilakukan dengan cara melarutkan 0,53 gram asam askorbat ke dalam 50 mL pereaksi fosfat pekat (pada point a). Selanjutnya

tambahkan 12,5 mL asam sulfat 2 M secara perlahan. Larutan tersebut diencerkan menggunakan labu ukur 500 mL sampai tanda batas. Larutan ini dibuat setiap hari.

c. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Pembuatan kurva kalibrasi diawali dengan membuat larutan standar fosfat dengan cara menimbang 0,126 gram natrium dihidrogen fosfat (NaH_2PO_4). Padatan dilarutkan ke dalam 20 mL aquades, dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas, diperoleh larutan standar fosfat dengan konsentrasi 100 ppm. Larutan standar fosfat dengan konsentrasi 100 ppm diambil sebanyak 0 mL, 1 mL, 2mL, 4mL, 6mL, 8 mL, dan 10 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL dan ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan standar tersebut masing- masing memiliki konsentrasi 0 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40ppm, 60 ppm, 80 ppm, 100 ppm.

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan mengambil larutan standar dengan konsentrasi 0 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 40ppm, 60 ppm, 80 ppm, 100 ppm. Masing-masing dari larutan standar tersebut diambil sebanyak 1 mL, dimasukkan dalam labu ukur 10 mL dan ditambahkan dengan reagen sebanyak 5 mL, kemudian ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas. Diperoleh larutan standar dengan konsentrasi 0, 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm. Larutan dikocok dan didiamkan hingga 30 menit.

Larutan dengan konsentrasi 6 ppm dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur dengan spektrometer pada panjang gelombang 400-780 nm. Larutan blanko yang digunakan adalah larutan standar 0 ppm dengan penambahan perlakuan yang sama.

Larutan standar dengan konsentrasi 0, 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur dengan spektrofotometer visible pada panjang gelombang maksimum dan dibaca absorbansi yang diperoleh. Masing-masing pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

d. Pengukuran Konsentrasi Fosfat dalam Sampel

Besarnya fosfat yang dilepaskan terhadap fungsi waktu dari masing-masing sampel dilakukan dengan cara mendistribusikan 0.5 g *beads* ke dalam beberapa gelas kimia masing-masing berisi 50 mL medium larutan. Medium larutan yang digunakan terdiri

dari *buffer* asam (pH 3), aquades (pH 6,4) dan *buffer* basa (pH10). Gelas kimia yang berisi beads dan medium cair tersebut didiamkan pada suhu ruang. Setiap 24 jam sampel dipipet 1 mL, dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL dan ditambahkan dengan reagen sebanyak 5 mL, kemudian ditambahkan dengan aquades hingga tanda batas. Larutan dikocok dan didiamkan hingga 30 menit. Larutan dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum. Gelas kimia yang larutannya telah diambil sebagai sampel tidak digunakan lagi untuk pengukuran selanjutnya, sehingga untuk 24 jam pertama diambil larutan dari gelas kimia pertama, kemudian 24 jam kedua diambil larutan dari gelas kimia kedua, dan seterusnya. Pengukuran pelepasan fosfat dilakukan sampai diperoleh pelepasan yang konstan. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

e. Penentuan % Konsentrasi Fosfat (P_1/P_0) pada *Beads*.

Besarnya % Konsentrasi Fosfat (P_1/P_0) dapat ditentukan dengan mencari konsentrasi awal (P_0) *beads*. Setiap pengukuran sampel dapat dihitung % (P_1/P_0) dengan menggunakan rumus berikut.

$$\% P_1/P_0 = \frac{[P]}{[P^0]} \times 100\%$$

Keterangan :

P_1 = Konsentrasi yang diukur

P_0 = Konsentrasi awal

(Jamnongkan, 2010).

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berat Molekul (BM) kitosan berpengaruh pada bentuk fisik *beads* kitosan/bentonit yang diperoleh. Kitosan BM tinggi (310-375 kDa) menghasilkan *beads* bulat dan utuh (menyerupai butiran granula) daripada BM medium dan BM rendah. Diameter *beads* pada BM tinggi adalah $1,15 \pm 0,01$ mm.
2. BM kitosan juga dapat mempengaruhi nilai % DSA *beads*. BM kitosan semakin tinggi maka nilai % DSA *beads* akan meningkat. Selain itu nilai % DSA *beads* juga dipengaruhi oleh pH larutan. pH larutan semakin kecil maka tingkat *swelling beads* yang direndam akan semakin tinggi, urutan tingkat *swelling beads* dengan berbagai pH larutan adalah $pH3 > pH6,4 > pH10$.
3. Pelepasan fosfat dalam media air dipengaruhi pH larutan, pada pH larutan yang lebih kecil akan memiliki pelepasan fosfat yang lebih tinggi seperti pada urutan berikut: $pH 3 > pH 6,4 > pH 10$.

5.2 Saran

Perlu dilakukan pembuatan *beads* dengan variasi rasio kitosan dan bentonit, serta perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan media *real* dalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Azeem, Basit, KuShaari, Man, & Thanh. 2014. "Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer". *Journal of Controlled Release*. Vol 181(4): 11–21.
- Beauchamp, E.G dan D.J. Hume. 1997. Agricultural soil manipulation: The use of bacteria, manuring and plowing. In J.D. van Elsas., J.T. Trevors dan E.M.H. Wellington (eds). *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker, New York. P 643-664.
- Beck, R. 2000. *Soil Analysis Handbook of Reference Methods*. USA: CRC Press.
- Berger, Reist, Mayer, Felt, Peppas and Gurny. 2004. "Structure and Interaction in Covalently and Ionically Crosslinked Chitosan Hydrogels for Biomedical applications". *Review article. Eur J. Pharm Biopharm*. Vol. 57(5):19-34.
- Burch, R. 1997. *Pillared Clay*. Elsevier Science Publisher Amsterdam, 283-297.
- Cahyaningrum SE, Narsito, Santoso SJ, & Agustini R, 2008. Adsorption of Zn(II) Matal Ion on Chitosan Beads from Shell Shrimp (*Penaus monodon*), *J. Manusia dan Lingkungan*, 15(2): 90-99.
- Day, R. A. & Underwood, A. L. *Analisa Kimia Kuantitatif. Edisi Keenam*. Terjemahan oleh Iis Sopyan. 2001. Jakarta: PT Erlangga.
- Dee P, Rosadalima. 2012. *Modifikasi Bentonit Terpillar Al dengan Kitosan Untuk Adsorpsi Ion Logam Berat*. Jakarta : UI Press.
- Elfiati, D. 2005. *Peranan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman*. Medan : USU Press.
- Enemchukwu, E. M. 2012. "Fabrication and Use of New Solid State Phosphate Ion Selective Electrodes for Monitoring Phosphorylation and Dephosphorylation Reactions". Africa: University of South Africa.
- Engelstad, O. P. 1997. *Teknologi Dan Penggunaan pupuk*. Edisi Ke-3. Yogyakarta: UGM Press.

- Erna, Maria., Haryati, Sri. 2008. Ketahanan Membran Komposit Kitosan/Polisulfon Terhadap pH. *Jurnal.Ris.Kimia*. Vol. 2 (1):217.
- Filayati, Rifda., M. Rusmini . 2012. *Pengaruh Massa Bentonit teraktivasi H_2SO_4 terhadap Daya Adsorsi Iodium*. Surabaya : UNESA Press.
- Goertz, H.M. 1995. *Technology development in coated fertilisers*. In: "Proc. Dahlia Greidinger Memorial Int. Workshop on Controlled/Slow Release Fertilisers". Israel : Technion Haifa.
- Hanafiah, K.A, 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : PT. Raja Grafindo Persada.
- Hansen, V.E., O.W. Israelsen, dan G.E. Stringham. 1992. *Irrigation Principles and Practices*. New York : John Wiley and Sons.
- Hardjowigeno, S. 2003. Ilmu Tanah. Jakarta : Akademika Pressindo.
- Hejazi, R. Amiji, M. 2003. "Preparation of Chitin Hydrogel Under Mild Condition". *J Control Release*. Vol. 15 (2): 89-151.
- Hristodor, C.M. Vrincisa, N. Pui, V. Novac, O. Copcia, V.E. Popovici, E. 2012. *Textural And Morphological Characterization of Chitosan/Bentonite Nanocomposite*. Romania : Technical University of Iasi.
- Honari, S., Maleki, N., dan Karami, M. 2009. The effect of chitosan molekul weight on the properties of alginate/ chitosan microparticles containg prednisolone. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. Vol. 8 (1) : 53-61.
- Huacai, G., Wan, P., dan Dengke, L. 2006. "Graft Copolymerization of Chitosan with acrylic Acid Under Microwave Irradiation and its Water Absorbency". *Carbohydrate Polymers*. Vol. 66 (2): 372-378.
- Hussain, Manzoor. 1989. Nuclear techniques in "controlled-release fertilizer". *Atoms in agriculture*. Vol. 71 (4): 119-121.
- Jamnongan, T., Kaewpirom. S. 2010. Controlled-Release Fertilizer Based on Chitosan Hydrogel: Phosphorus Release Kinetics. *Science Journal*. Vol.1 (1): 43-50.

- Jantzen, G. M., dan Robinson, J. R. 1996. *In Modern Pharmaceutics*, 3rd ed. Banker, G. S., Rhodes, C. T., Eds. New York : Marcel Dekker.
- Jayakumar, R. Deepthy, M., Manzoor, K., Nair, SV., Tamura, H. 2010. *Carbohydrat Polym.* Vol. 82 (2): 227.
- Jones, U.S. 1982. *Fertilizer and Soil Fertility*. 2nd ed. Reston Publ. Co. Reston, Virginia.
- Kaban, Jamara. 2009. *Modifikasi Kimia dari Kitosan dan Aplikasi Produk yang dihasilkan*. Medan: USU Press.
- Khan, Tranveer Ahmad., Kok Khiang Peh and Hung Seng Ch'ng. 2002. "Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan: The Influences of Analytical Methode". *J. Pharm Sci.* Vol. 3 (1): 205-212.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.
- Krajewska, B. 2003. Application of chitin-chitosan based materials for enzyme immobilization: a review. *Enzyme and microbial technology*. Vol. 35 (4):126-13.
- Kumar, M.N.V.R., 2000. "A Review of Chitin and Chitosan Application". *Reactive & Functional Polymers*. Vol. 46 (7): 1-27.
- Lan, Wu., Mingzhu, Liu. 2008. Preparation and Properties of Chitosan-Coated NPK Compound Fertilizer with Controlled-Release and Water-Retention. *Carbohydrate Polymer*. Vol. 72 (2): 240-247.
- Linhard, R. J. 1989. Biodegradable Polymers for Controlled Release of Drugs in P. Roshoff (ed), Controlled Release of Drugs. *Polymers and Aggregate Systems*. Vol. 165 (3): 211-215.
- Liverdi, L. 2010. *Efek Pemberian Fosfor terhadap Pertumbuhan dan Status Hara pada Bibit Manggis*. Sumatra Barat: Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika
- M. A. Nawi., S. Sabar., A.H. Jawad., Sheilatina, W.S.Wan Ngah. (2010). Adsorption of Reactive Red 4 by immobilized Chitosan on glass plates: Towards design of immobilized TiO₂-Chitosan synergistic photocatalyst-adsorption bilayer system. *Journal of Biochemical Engineering*. Vol. 49 (4) : 317-325.

- Mat, B.Zakaria. 1995. *Chitin and Chitosan*. Malaysia : University kebangsaan Malaysia.
- Minto, Supeno. 2009. *Bentonit Terpillar dan Aplikasi: Kimia Anorganik*. Cetakan 1 Medan : USU Press.
- Muzarelli, R.A.A. 1977. *Chitin*. Pergamon: Oxford.
- Muzarelli, R. A. A. Jayakumar. R., R. Prabakaran. 2010. *Chitosan for Biomaterials I*. Springer Heidelberg Dordrecht: London New York.
- Nimni, M.E., Cheung, D., Strates, B., Kodama, M., Sheikh, K. 1987. Chemically modified collagen: a natural biomaterial for tissue replacement. *J. Biomed. Mater. Res.* Vol.21 (1): 741-771.
- Okuyama, K., Noguchi, K., Hanafusa, Y., Osawa, K., and Ogawa, K. 1999. "Structural study of anhydrous tendon chitosan obtained via chitosan/acetic acid complex". *International Journal of Biological Macromolecules*. Vol. 26 (1): 285–293.
- Ornum, J.U.1992. Shrimp waste must it be wasted?. *Infofish*. Vol. 197 (6):48-51.
- Othmer DF, Kirk RE. 1964. *Encyclopedia of Chemical Tehnology*. New York. The Interscience Inc.
- Permansari, A. Siswaningsih, W. Wulandari, I. 2010. *Uji Kinerja Adsorben Kitosan-Bentonit Terhadap Logam Berat Dan Diazinon Secara Simultan*. Bandung: UPI Press.
- Purnawan, Candra. 2008. *Kitosan Dari Cangkang Udang dan Aplikasi Kitosan Sebagai Bahan Antibakteri pada Kain Katun*. Yogyakarta: UGM Press.
- Qin, C., Li, H., Xiao, Q. 2006. Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*. Vol. 63 (2): 367–374.
- Raban, S., Zeidel E., and Shaviv, A. 1997. Release Mechanisms Controlled Release Fertilisers in Practical Use. In "Third Int. Dahlia Greidinger Sym. on Fertilisation and The Environment" (J.J. Mortwedt, and A. Shaviv, Eds.). Technion: Haifa.

- Ramadhan, L.O.A.N. Radiman, C.L. Wahyudiningrum, D. 2010. *Deasetilasi Kitin secara Bertahap dan Pengaruhnya terhadap Derajat Deasetilasi serta Massa molekul Kitosan*. Bandung: ITB Press.
- Ricahard, A., Pethrick, G. E., Zaikov. & Pielichowski, J. 2009. *Monomers, Oligomers, Polymers, Coposites And Nanocomposite Research: Synthesis, Properties And Applications*. Nova Science Publishers, Inc : New York.
- Robinson, R.A., Stokes, R. H. 1968. *Electrolyte Solutions*. London: Butterworths.
- Safitra, Edwin R.. 2008. *Pembuatan Asam Asetat Dari Rebung*. Bandung : ITB Press.
- Sagala, Billy D.M. 2012. *Formula Beads Kitosan Untuk Sistem Pelepasan Obat Terkendali*. Jakarta : UI Press.
- Sanford PA. 1989. Chitosan comercial uses and potential application. Dalam *Chitin and Chitosan Sources. Chemistry Biochemistry, Phycical Properties and Application*. Elsevier Applied Science Published Ltd.
- Science Lab. 2005. *Material Safety Data Sheet Aquades*.
- Shaviv, A. 1996. "Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers". In "*Progress in Nitrogen Cycling Studies*" (Van Clemp et al. Eds.). Kluwer Academ Pub: The Netherlands.
- SNI, Anggota Tim. 2010. *Analisis P pada pupuk NPK*. Jember : Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Soedjoko T.S. 1987. Penelitian Pemanfaatan Bentonit di Indonesia. *Buleting PPTM* Vol.9 (2), Hal 15-24.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor: Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Bogor, IPB Press.
- Soepardi, G., S. Sabiham, dan Djokosudardjo. 1980. *Pupuk dan Pemupukan*. Bogor: Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Bogor, IPB Press.

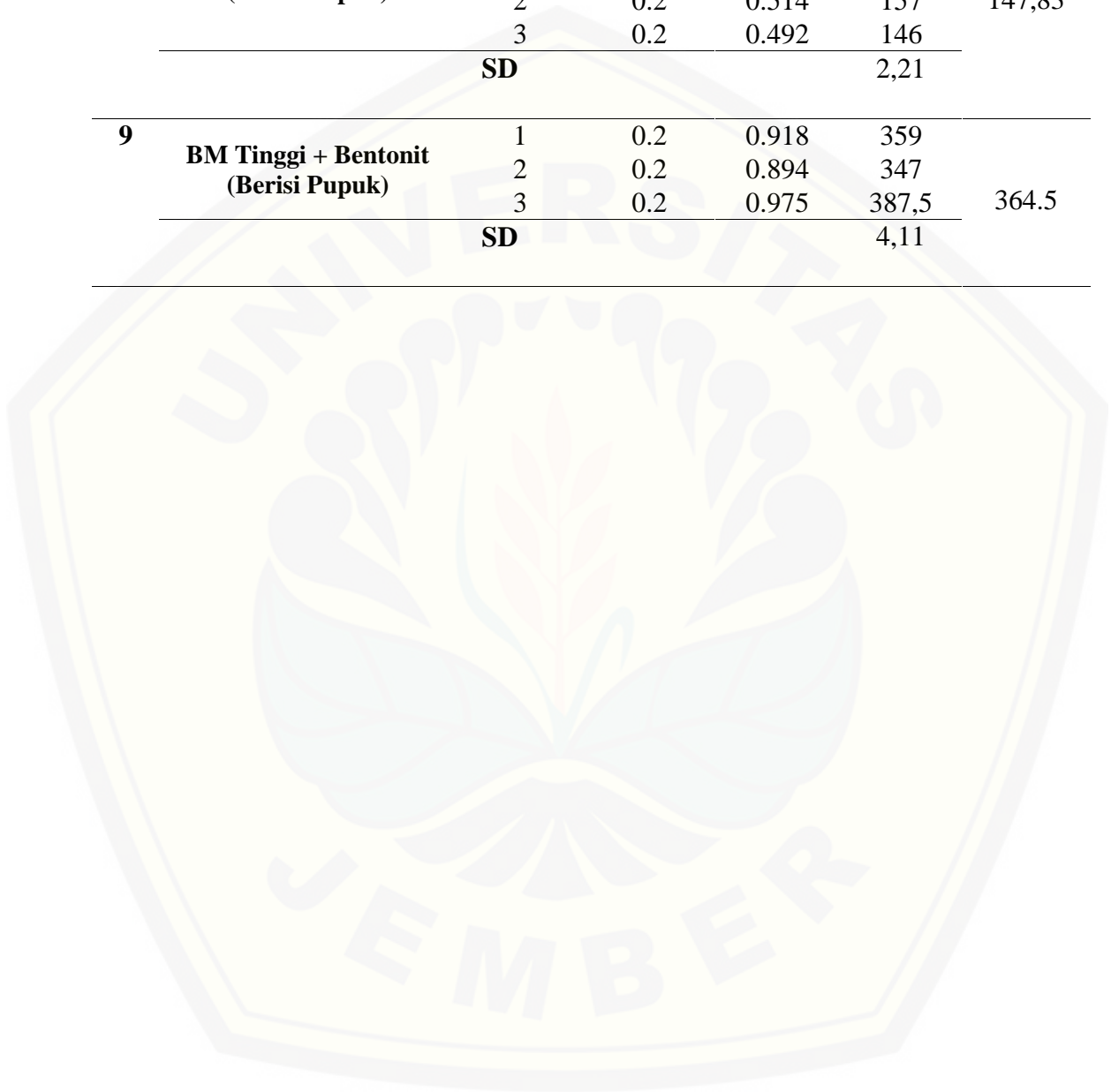
- Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Bogor : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sutejo, M. 2002. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta : PT Rineka Cipta,.
- Tarwadi, I. P. 2000. "Proses Pembuatan Kitosan dari Kulit Udang dan Pemanfaatannya untuk Bidang Kesehatan". Dalam *Need: Lingkungan, Manajemen, Ilmiah*. Vol. 14 (2): 46-50.
- Teofilovic, V. Pavlicevic, J. Bera, O. Jovicic, M. Simendic, J.B. Szecsenyi, K.M. Arogus, A. 2013. *Preparation And Thermal Properties of Chitosan/Bentonite Composite Beads*. Serbia : University of Novi Sad.
- Thies, C. 1990. "Swelling Properties of Chitosan Hydrogel". *Polym. Mater. Sci. Eng. Proceed*. Vol. 63(2):243.
- Vogel, A.I. 1979. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro edisi lima*. London : Longman Group Limited.
- Wenten, I. G. 1999. *Teknologi Membran Industrial*. Kumpulan Makalah. Bandung: ITP Press.
- Zhang, Zhen-Hai. Sun, Yong-Shun. Pang, Hui. Munyendo, Were.L.L. Lv, Hui-Xia. Zhu, Sheng-Liang. 2011. *Preparation and Evaluation of Berberine Alginate Beads for Stomach-Specific Delivery*. China: China Pharmaceutical University.
- Zulkarnaen, Wardoyo S. Marmer D.H. 1990. Pengkajian Pengolahan dan Pemanfaatan Bentonit dari Kecamatan Pule, Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur Sebagai Bahan Penyerap dan Bahan Lumpur Bor. *Buletin PPTM*. Vol.126 (9) : 9-12.

Lampiran A. Hasil % Daya Serap Air pH 3, pH 6,4 dan pH 10

• Hasil % Daya Serap Air pH 3

No	Beads Kitosan	Ulangan	Berat Kering (W ₀)	Berat Basah (W ₁)	% DSA	Rerata % DSA
1	BM Rendah	1	0.2	0.445	122,5	121,33
		2	0.2	0.442	121	
		3	0.2	0.441	120,5	
		SD			1,04	
2	BM Medium	1	0.2	0.749	274,5	275
		2	0.2	0.717	278,5	
		3	0.2	0.744	272	
		SD			3,28	
3	BM Tinggi	1	0.2	1.599	705	708,33
		2	0.2	1.636	718	
		3	0.2	1.604	702	
		SD			4,41	
4	BM Rendah + Bentonit	1	0.2	0.359	79,5	78,83
		2	0.2	0.355	77,5	
		3	0.2	0.359	79,5	
		SD			1,15	
5	BM Medium + Bentonit	1	0.2	0.579	189,5	188
		2	0.2	0.572	186	
		3	0.2	0.578	189	
		SD			1,89	
6	BM Tinggi + Bentonit	1	0.2	1.107	453,5	472,83
		2	0.2	1.149	474,5	
		3	0.2	1.181	490,5	
		SD			5,11	
7	BM Rendah + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.291	45,5	47.67
		2	0.2	0.295	47,5	
		3	0.2	0.306	53	
		SD			4,32	

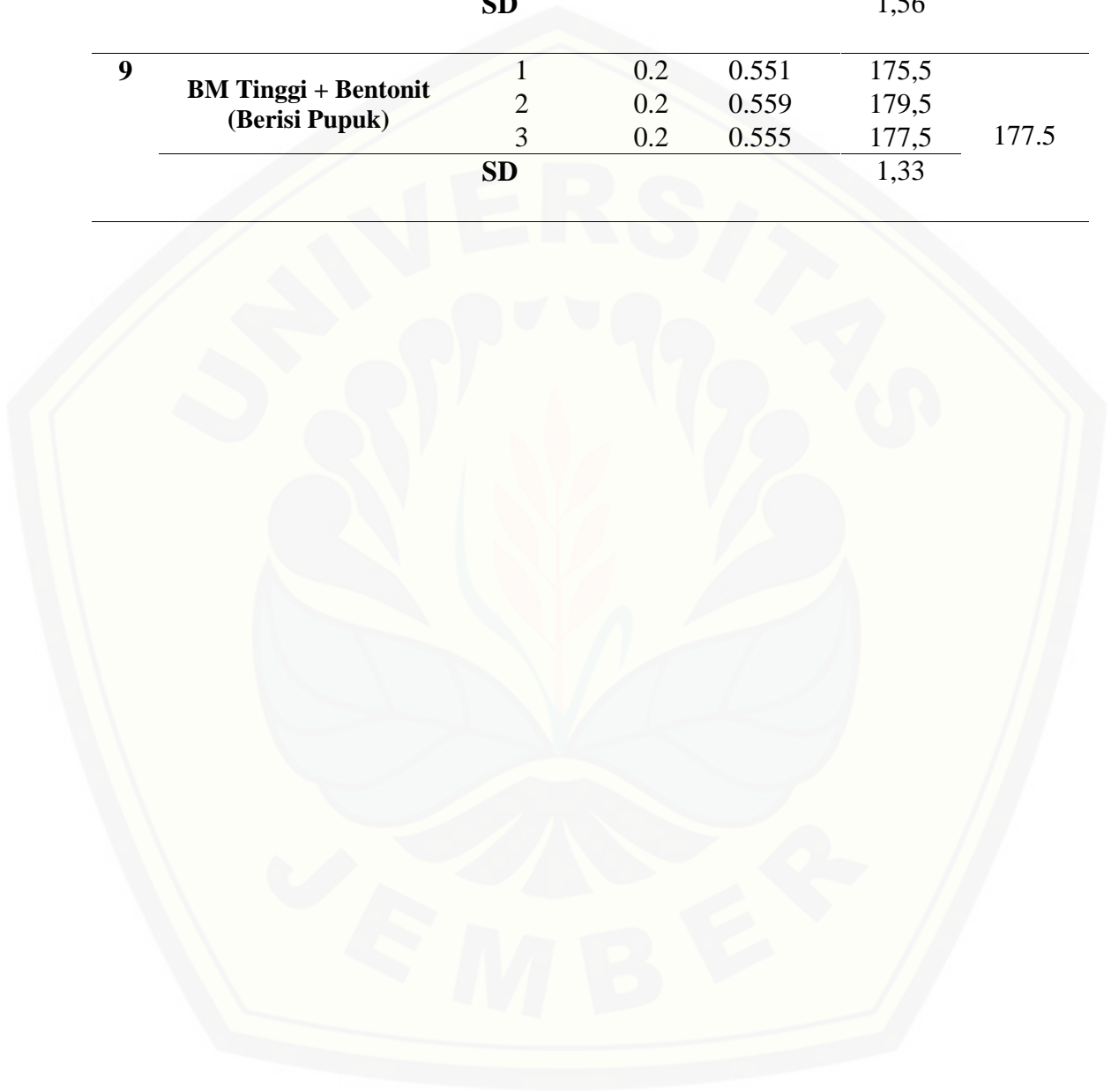
8	BM Medium + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.481	140,5	147,83
		2	0.2	0.514	157	
		3	0.2	0.492	146	
	SD				2,21	
9	BM Tinggi + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.918	359	364.5
		2	0.2	0.894	347	
		3	0.2	0.975	387,5	
	SD				4,11	



• Hasil % Daya Serap Air pH 6,4

No	Beads Kitosan	Ulangan	Berat Kering (W ₀)	Berat Basah (W ₁)	% DSA	Rerata % DSA
1	BM Rendah	1	0.2	0,364	82	86,33
		2	0.2	0,379	89,5	
		3	0.2	0,375	87,5	
		SD			1,44	
2	BM Medium	1	0.2	0,533	166,5	168,83
		2	0.2	0,539	169,5	
		3	0.2	0,541	170,5	
		SD			2,18	
3	BM Tinggi	1	0.2	1,022	411	416
		2	0.2	1,039	419,5	
		3	0.2	1,035	417,5	
		SD			1,31	
4	BM Rendah+ Bentonit	1	0.2	0.309	54,5	51,83
		2	0.2	0.297	48,5	
		3	0.2	0.305	52,5	
		SD			3,21	
5	BM Medium + Bentonit	1	0.2	0.391	95,5	95,5
		2	0.2	0.397	98,5	
		3	0.2	0.385	92,5	
		SD			1,87	
6	BM Tinggi + Bentonit	1	0.2	0,688	244	230,33
		2	0.2	0,639	219,5	
		3	0.2	0,655	227,5	
		SD			5,21	
7	BM Rendah +Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.275	37,5	36,83
		2	0.2	0.279	39,5	
		3	0.2	0.267	33,5	
		SD			2,78	

8	BM Medium + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0,366	83	82,67
		2	0.2	0,369	84,5	
		3	0.2	0,361	80,5	
		SD			1,56	
9	BM Tinggi + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.551	175,5	177.5
		2	0.2	0.559	179,5	
		3	0.2	0.555	177,5	
		SD			1,33	



• Hasil % Daya Serap Air pH 10

No	Beads Kitosan	Ulangan	Berat Kering (W _o)	Berat Basah (W ₁)	% DSA	Rerata % DSA
1	BM Rendah	1	0.2	0.302	51	46,67
		2	0.2	0.291	45,5	
		3	0.2	0.287	43,5	
		SD			3,54	
2	BM Medium	1	0.2	0.415	107,5	97.33
		2	0.2	0.388	94	
		3	0.2	0.381	90,5	
		SD			5,11	
3	BM Tinggi	1	0.2	0.502	151	148.5
		2	0.2	0.491	145,5	
		3	0.2	0.498	149	
		SD			3,78	
4	BM Rendah + Bentonit	1	0.2	0.265	32,5	27.67
		2	0.2	0.244	22	
		3	0.2	0.257	28,5	
		SD			5,12	
5	BM Medium + Bentonit	1	0.2	0.341	70,5	61.17
		2	0.2	0.316	58	
		3	0.2	0.310	55	
		SD			3,77	
6	BM Tinggi + Bentonit	1	0.2	0.447	123,5	120.5
		2	0.2	0.436	118	
		3	0.2	0.439	119,5	
		SD			2,61	
7	BM Rendah + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.248	24	22,33
		2	0.2	0.245	22,5	
		3	0.2	0.241	20,5	
		SD			1,54	

8	BM Medium + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.301	50,5	53.83
		2	0.2	0.313	56,5	
		3	0.2	0.309	54,4	
	SD			1,67		
9	BM Tinggi + Bentonit (Berisi Pupuk)	1	0.2	0.382	91	98.67
		2	0.2	0.401	100,5	
		3	0.2	0.409	104,5	
	SD			3,78		

Contoh Perhitungan % DSA :

Diketahui : W_0 = Berat *Beads* Kering

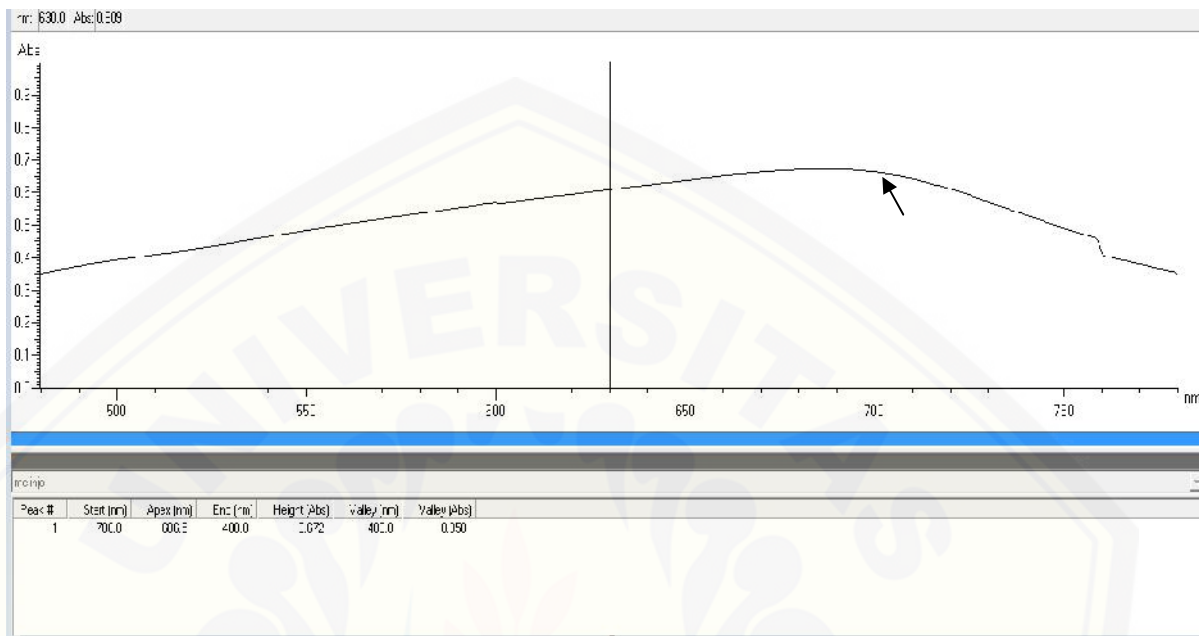
W_1 = Berat *Beads* Setelah Perendaman

Jika $W_0 = 0,23$ gram dan $W_1 = 0,65$ gram, maka

(%) DSA *Beads* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ DSA} &= \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,397 - 0,2}{0,2} \times 100\% \\
 &= 98,5 \%
 \end{aligned}$$

Lampiran B. Scanning max larutan standar fosfat

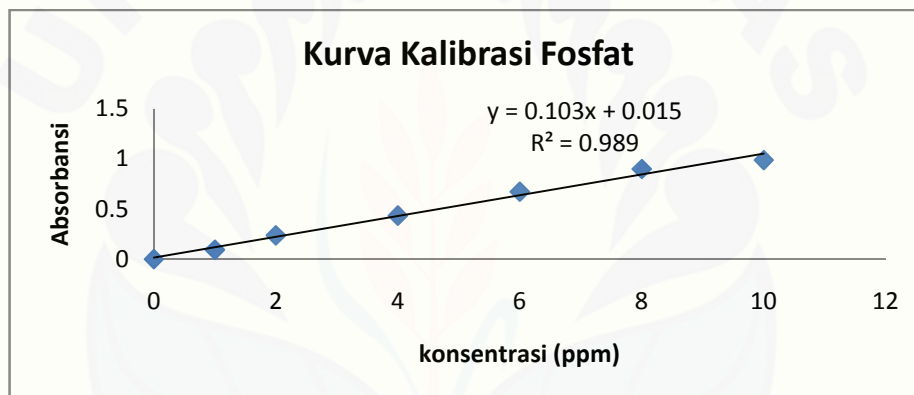


Keterangan

- Sample : larutan standar fosfat
- Instrument model : U-2900 Spectrophotometer
- Instrument parameters
- Measurement type : Wavelength scan
- Data Mode : Abs
- Starting Wavelength : 780.0 nm
- Ending Wavelength : 480.0 nm
- Scan Speed : 200 nm/ min
- Sampling interval : 0.5 nm
- Abs : 0.672
- Lamp Change Mode : Auto
- Lamda maks : 686.

Lampiran C. Kalibrasi larutan standard Fosfat

konsentrasi	Absorbansi			Absorbansi Rata -Rata	SD
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3		
0	0	0	0	0	0
1	0,093	0,094	0,093	0,093	0,00057
2	0,237	0,238	0,235	0,237	0,0015
4	0,435	0,434	0,434	0,434	0,00057
6	0,671	0,672	0,672	0,672	0,00057
8	0,896	0,898	0,898	0,898	0,0011
10	0,987	0,987	0,986	0,987	0,00057



Contoh perhitungan konsentrasi fosfat yang dilepaskan :

Fp = Faktor pengenceran = 10

Jika nilai absorbansi = 0.415

Persamaan yang dihasilkan $y = 0,103x + 0,015$

Nilai regresi 0,9897

Jika $y = 0,988$

Maka untuk mencari x adalah =

$$0,988 = 0,103x + 0,015$$

$$x = \frac{0,988 - 0,015}{0,103}$$

$$= 9,582$$

$$= 9,582$$

$$[\text{Fosfat}] \text{ sebenarnya} = 9,582 \times Fp$$

$$= 9,582 \times 10$$

$$= 95,82 \text{ ppm}$$

Lampiran D. Hasil Analisis Fosfat

Medium	Cair	Hari	Absorbansi			Rerata		FP	(P ₁) Konsentrasi x FP	P ₀	(P ₁ /P ₀)%	
			Ulangan	Ulangan	Ulangan	Absorbansi	SD					Konsentrasi
			1	2	3							
pH 3	0		0,081	0,080	0,085	0,082	0,003	0,786	10	7,86	98	8,024
	1		0,122	0,126	0,124	0,124	0,002	1,187	10	11,87	98	12,114
	2		0,248	0,241	0,255	0,248	0,007	2,391	10	23,91	98	24,401
	3		0,540	0,530	0,541	0,537	0,006	5,197	10	51,97	98	53,032
	4		0,707	0,705	0,709	0,707	0,002	6,853	10	68,53	98	69,927
	5		0,820	0,815	0,819	0,818	0,003	7,927	10	79,27	98	80,889
	6		0,900	0,899	0,904	0,901	0,001	8,734	10	87,34	98	89,119
	7		0,994	0,980	0,990	0,988	0,007	9,582	10	95,82	98	97,771
	8		0,981	0,991	0,992	0,988	0,006	9,582	10	95,82	98	97,771
pH 6,4	0		0,050	0,055	0,065	0,055	0,008	0,522	10	5,22	98	5,323
	1		0,091	0,091	0,094	0,092	0,002	0,882	10	8,82	98	9,005
	2		0,163	0,161	0,168	0,164	0,004	1,575	10	15,75	98	16,072
	3		0,250	0,251	0,246	0,249	0,003	2,410	10	24,10	98	24,596
	4		0,319	0,335	0,333	0,329	0,009	3,183	10	31,83	98	32,475
	5		0,400	0,414	0,415	0,409	0,008	3,963	10	39,63	98	40,439
	6		0,499	0,491	0,498	0,496	0,004	4,798	10	47,98	98	48,96
	7		0,600	0,602	0,601	0,601	0,001	5,819	10	58,19	98	59,372
	8		0,699	0,701	0,697	0,699	0,006	6,772	10	67,72	98	69,103

	9	0,740	0,780	0,790	0,770	0,026	7,464	10	74,64	98	76,16
	10	0,830	0,840	0,832	0,834	0,005	8,079	10	80,79	98	82,439
	11	0,888	0,889	0,890	0,889	0,001	8,617	10	86,17	98	87,925
	12	0,960	0,964	0,959	0,961	0,003	9,312	10	93,12	98	95,018
	13	0,981	0,989	0,991	0,987	0,005	9,566	10	95,66	98	97,617
	14	0,983	0,988	0,990	0,987	0,004	9,566	10	95,66	98	97,617
pH 10	0	0,034	0,031	0,031	0,032	0,002	0,299	10	2,99	98	3,057
	1	0,069	0,065	0,073	0,069	0,004	0,661	10	6,61	98	6,747
	2	0,111	0,120	0,117	0,116	0,005	1,112	10	11,12	98	11,343
	3	0,178	0,178	0,180	0,179	0,001	1,727	10	17,27	98	17,619
	4	0,230	0,235	0,240	0,235	0,005	2,271	10	22,71	98	23,176
	5	0,294	0,271	0,284	0,283	0,01	2,733	10	27,33	98	27,889
	6	0,311	0,345	0,331	0,329	0,02	3,176	10	31,76	98	32,409
	7	0,378	0,399	0,387	0,388	0,001	3,756	10	37,56	98	38,331
	8	0,450	0,458	0,451	0,453	0,004	4,383	10	43,83	98	44,722
	9	0,510	0,525	0,520	0,515	0,008	4,991	10	49,91	98	50,929
	10	0,566	0,550	0,588	0,568	0,01	5,504	10	55,04	98	56,167
	11	0,630	0,625	0,623	0,626	0,004	6,061	10	60,61	98	61,848
	12	0,700	0,730	0,640	0,690	0,05	6,688	10	66,88	98	68,246
	13	0,713	0,732	0,724	0,723	0,01	7,002	10	70,02	98	71,445
	14	0,767	0,771	0,766	0,768	0,003	7,444	10	74,44	98	75,96
	15	0,848	0,839	0,827	0,838	0,01	8,120	10	81,20	98	82,858
	16	0,899	0,887	0,872	0,886	0,01	8,586	10	85,86	98	87,615

17	0,909	0,949	0,926	0,928	0,02	8,992	10	89,92	98	91,75
18	0,995	0,939	0,961	0,965	0,03	9,331	10	93,31	98	95,209
19	0,989	0,986	0,989	0,988	0,002	9,573	10	95,73	98	97,687
20	0,986	0,989	0,989	0,988	0,002	9,573	10	95,73	98	97,687

Contoh perhitungan mencari nilai P_o pada *Beads*:

Pada adonan *Beads* 100 mL mengandung 0,05 g fosfat yang menghasilkan 5,1 g butiran *Beads*. Satu beakerglass berisi 0,5 g *Beads* direndam ke dalam 50 mL aquades.

$$\frac{0,05 \text{ g}}{5,1 \text{ g}} = \frac{P_o}{0,5 \text{ g}}$$

$$0,025 \text{ g} = 5,1P_o \text{ g}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,0049 \text{ g} \\ &= 4,9 \text{ mg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dirubah dalam bentuk ppm adalah : } P_o \text{ (ppm)} &= \frac{4,9 \text{ mg}}{50 \text{ mL}} \\ &= \frac{4,9 \text{ mg}}{0,05\text{L}} \\ &= 98 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan presentase fosfat yang dilepaskan:

Konsentrasi mula-mula $[P_o] = 98 \text{ ppm}$

Konsentrasi fosfat yang dilepaskan sampel $[P_1] = 79,27\text{ppm}$.

Presentase fosfat yang dilepaskan sebesar:

$$\frac{[P]}{[P^o]} \times 100\% = \frac{79,27 \text{ ppm}}{98 \text{ ppm}} \times 100\% = 80,889$$

