

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI PUPUK NITROGEN
LEPAS LAMBAT BERBAHAN HIDROKSIAPATIT-ALGINAT-
UREA**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia**



Diajukan Oleh:

Vika Uluwul Himmah

NIM: 2108036041

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI PUPUK NITROGEN
LEPAS LAMBAT BERBAHAN HIDROKSIAPATIT-ALGINAT-
UREA**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Kimia



Diajukan Oleh:

Vika Uluwul Himmah

NIM: 2108036041

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Vika Uluwul Himmah

NIM : 2108036041

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI PUPUK NITROGEN LEPAS LAMBAT BERBAHAN HIDROKSIAPATIT-ALGINAT- UREA

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk dari sumbernya.

Semarang, 27 Juni 2025
Pembuat Pernyataan,



Vika Uluwul Himmah
NIM. 2108036041

PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka, Ngaliyan, Semarang
Telp. 024-7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Pembuatan dan Karakterisasi Pupuk Nitrogen Lepas
Lambat Berbahan Hidroksiapatit-Alginat-Urea
Nama : **Vika Uluwul Himmah**
NIM : 2108036041
Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang *tugas akhir* oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 27 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,

Kholidah, M.Sc.

NIP. 198508112019032008

Sekretaris Sidang,

Mutista Hafshah, M. Si.

NIP. 199401022019032015

Penguji I

Dr. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Ed.

NIP. 198304152009122008

Penguji II,

Dr. Mulyatun, S.Pd., M.Si.

NIP. 198305042011012008

Pembimbing,

Kholidah, M.Sc.

NIP. 198508112019032008

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan
bimbingan, arahan, dan koreksijaskah skripsi dengan:

Judul : **Pembuatan dan Karakterisasi Pupuk Nitrogen
Lepas Lambat Berbahan Hidrksiapatit-
Alginat-Urea**

Penulis : **Vika Uluwul Himmah**

NIM : 2108036041

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
untuk diajukan sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Pembimbing,



Kholidah, M.Sc.

NIP. 198508112019032008

Pembuatan dan Karakterisasi Pupuk Nitrogen Lepas Lambat Berbahan Hidrokksiapatit-Alginat-Urea

Vika Uluwul Himmah

NIM. 2108036041

ABSTRAK

Pupuk urea merupakan salah satu sumber hara penting bagi tanaman, sehingga penggunaannya sangat dibutuhkan dalam jumlah besar. Namun, ketersediaan nitrogen dari pupuk tersebut tidak mampu bertahan lama akibat tercucinya unsur tersebut oleh air tanah. Oleh karena itu, pembuatan pupuk lepas lambat nitrogen berbasis urea yang dikompositkan dengan natrium alginat dan HAP sebagai matriks untuk pengontrol pelepasan nitrogen perlu dilakukan. Penelitian ini dibuat dua variasi komposisi yaitu urea-alginat (AU) dan urea-hidrokksiapatit-alginat (UHA). Proses sintesis dimulai dengan melarutkan alginat 0,75 g dalam akuades. Kemudian dicampurkan dengan larutan urea 0,6 g untuk membuat AU, selanjutnya pembauatan UHA dilakukan dengan penambahan hidroksiapatit 2,25 g. Campuran tersebut dibentuk menjadi *beads* melalui peneteskan ke dalam larutan CaCl_2 2%, Karakterisasi dilakukan menggunakan FTIR, XRD, dan analisis kadar urea menggunakan UV-Vis, serta uji lepas lambat dalam media air.. Spektrum FTIR AU menunjukkan interaksi kuat antar komponen, ditandai dengan pergeseran pita vibrasi -NH, C=O, dan munculnya pita khas gugus karboksilat (COO^-) dari alginat. Penambahan HAP menyebabkan munculnya ikatan baru P-O asimetris dan PO_4^{3-} simetris. Hasil XRD mengindikasikan penurunan kristalinitas urea setelah dikompositkan dengan alginat, yang menunjukkan transisi fase amorf. Adanya puncak-puncak khas HAP dalam *beads* UHA alginat-HAP membuktikan keberhasilan integrasi kristal HAP ke dalam matriks polimer. Hasil uji lepas lambat menunjukkan bahwa *beads* UA dan UHA melepaskan nitrogen sebesar

34,83% dan 13,43% pada menit ke-90, yang menandakan laju pelepasan urea dari kedua sampel tersebut lebih lambat dibandingkan dengan urea murni, sehingga membuktikan keberhasilan sintesis pupuk lepas lambat dengan pelepasan paling optimal ditunjukkan oleh *beads* UHA.

Kata Kunci: *pupuk lepas lambat nitrogen, urea, alginat, hidroksiapatit.*

TRANSLITER ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Meteri Agama dan Meteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I Nomor: 158/1987 dan Nomor: 054/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sanding [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	t
ب	B	ظ	z
ت	T	ع	'
ث	S	غ	Gh
ج	J	ف	F
ح	h	ق	Q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	z	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	ه	H
ش	Sy	ء	"
ص	s	ي	Y
ض	d		

Bacaan Madd:

a > = a panjang

i > = i panjang

u > = u panjang

Bacaan Diftong:

au = اَو

ai = اَي

iy = اِي

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah swt yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul: "Sintesis Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbahan Hidroksiapatit-Alginat-Urea" dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam semoga terlimpah pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang diutus untuk menyempurnakan akhlaq manusia, dan yang kita nantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari adanya bimbingan, motivasi, serta do'a dari berbagai pihak, maka dari itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar Ali, M. Ag., Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M. Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Dr. Mulyatun, S. Pd., M. Si. Dan Mohammad Agus Prayitno, M.Pd., Ketua dan Sekretaris Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. Kholidah, M.Sc., dan Zidni Azizati, M.Sc., Dosen Pembimbing tercinta yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, motivasi, bantuan, serta

dukungan kepada penulis dengan penuh pengertian selama menjalani riset atau saat penyusunan skripsi.

5. Wirda Udaibah, M.Si., dosen wali studi yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dari awal masa kuliah sampai akhir studi.
6. Segenap Dosen, Pegawai dan Civitas Akademika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan pemahaman.
7. Kedua Orang Tua, Bapak Imam Pujiyono dan Ibu Roikhatul Mukhotiah, Kakak Dhiaulhaq Abiyyu, saudara kembar Viki Uluwul Himmah serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, kasih sayang kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik dan lancar sampai akhir.
8. Sahabat kuliah saya, yang telah menjadi tempat berbagi cerita, tawa, dan saling mendukung dalam perkuliahan sampai akhir studi sarjana ini.
9. Sahabat MTs saya sebagai teman rasa keluarga yang selalu berbagi segala hal sehingga penulis tetap semangat menjalani kehidupan.
10. Sabina, Ajeng, dan Nada, yang selalu menjadi teman diskusi maupun teman riset selama penulis

mengerjakan tugas akhir.

11. Teman-teman Kimia 2021 khususnya Kim-B, Keluarga besar UKM Ristek khususnya pengurus periode 2024, dan KKN MIT 2024 Posko 120 Desa Kadilangu yang telah berdinamika bersama dan turut membentuk pribadi penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat demi terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini banyak kekurangan dan jauh dari sekempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran agar penulis dapat memperbaiki skripsi ini. Semoga naskah skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, 25 Juni 2025
Penulis



Vika Uluwul Himmah
NIM. 2108036041

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	v
TRANSLITER ARAB-LATIN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	11
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian	12
BAB II	13
TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Landasan Teori	13
1. Urea	13
2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dekomposisi Urea di Dalam Tanah	16
3. Hidroksiapatit	20

4. Alginat.....	25
5. Pupuk lepas Lambat.....	27
6. Bentuk-Bentuk <i>Slow Release Fertilizer</i> (SRF).....	29
B. Karakterisasi.....	33
1. Spektrometer FTIR.....	33
2. Spektrofotometer Uv-Vis.....	37
3. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	40
C. Kajian Relevan.....	43
D. Hipotesis.....	46
BAB III.....	49
METODE PENELITIAN.....	49
A. Waktu dan Tempat Penelitian	49
B. Alat dan Bahan.....	49
1. Alat	49
2. Bahan.....	50
C. Prosedur Kerja.....	50
1. Pembuatan Hidroksiapatit.....	50
2. Pembuatan <i>Beads</i> Urea-Alginat (UA) dan Urea-Hidroksiapatit-Alginat (UHA).....	51
3. Pengujian Lepas Lambat Urea Murni, <i>Beads</i> urea-alginat, <i>Beads</i> Urea-Hidroksiapatit-Alginat	52
BAB IV	57
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	57
A. Preparasi Hidroksiapatit (HAp).....	57
B. Pembuatan <i>Beads</i> Pupuk Lepas Lambat Urea.....	62

C. Analisis Kadar Urea Terloading dalam Sampel	72
D. Pengujian Lepas Lambat Urea, <i>Beads</i> Urea-Alginat dan <i>Beads</i> Urea-hidroksiapatit-alginat	79
BAB V	85
PENUTUP	85
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN-LAMPIRAN	103
RIWAYAT HIDUP	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Pupuk Urea	14
Gambar 2. 2 Struktur HAP	21
Gambar 2. 3 Struktur senyawa alginat	26
Gambar 2. 4 Penampang alat FTIR.....	34
Gambar 2. 5 Spektrum FTIR dari (a) urea (b) HAP dan (c) HAP-urea.....	36
Gambar 2. 6 Penampang Instrumen Uv-Vis	38
Gambar 2. 7 XRD dari Urea-hidroksiapatit.....	42
Gambar 4. 1 Sintesis Hidroksiapatit.....	59
Gambar 4. 2 Spektrum FTIR Hidroksiapatit.....	59
Gambar 4. 3 Difaktogram Sinar-X Hidroksiapatit	61
Gambar 4. 4 (a) beads UA (b) beads UHA	63
Gambar 4. 5 Spektrum FTIR Pupuk Urea, beads UA, beads UHA.....	64
Gambar 4. 6 Difaktogram XRD (a) Urea (b) beads UA dan beads UHA.....	70
Gambar 4. 7 Reaksi p-DAB dengan urea	72
Gambar 4. 8 Kurva standar urea	75
Gambar 4. 9 Ikatan hidrogen Urea-alginat	78
Gambar 4. 10 Ikatan hidrogen HAp urea.....	79
Gambar 4. 11 Lepas lambat nitrogen dalam media air	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Kerja Penelitian.....	103
Lampiran 2 Perhitungan kurva standar.....	107
Lampiran 3 Analisis pupuk lepas lambat.....	109
Lampiran 4 Hasil uji FTIR.....	121
Lampiran 5 Hasil uji XRD	123
Lampiran 6 Dokumentasi.....	125

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1	Interpretsi hasil uji FTIR Urea, UA, dan UHA.....	65
Tabel 4. 2	Kandungan urea terloading pada sampel	76
Tabel 4. 3	% urea release pada sampel.....	81

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Populasi dunia diperkirakan akan bertambah setiap tahun sehingga memerlukan peningkatan produksi tanaman dan pasokan pangan (Sandaruwan, 2017). Penggunaan pupuk dapat meningkatkan produktivitas tanaman sebesar 60% untuk mengatasi ketahanan pangan melalui pertanian berkelanjutan (Asma, 2021). Keberhasilan pertumbuhan tanaman tidak hanya dilihat sebagai hasil usaha manusia, tetapi juga dipahami sebagai manifestasi rahmat dan berkah dari Allah SWT. Tanaman yang tumbuh subur dianggap sebagai bentuk rezeki yang diberikan oleh Allah SWT untuk mengingatkan manusia akan pentingnya rasa syukur atas nikmat yang diberikan. Konsep ini sejalan dengan ajaran dalam Al-Qur'an yang mengajak manusia untuk merenungi dan mensyukuri karunia Allah dalam berbagai bentuk, termasuk kesuburan tanah dan hasil panen melimpah khususnya dalam surah Ar-Ra'd ayat 4 yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَجَنَّتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزَرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ
وَّغَيْرُ صِنَوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضَ لِّبَعْضِهَا عَلَى بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ
لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Artinya: *“Dan di bumi ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. Kami melebihkan sebahagian tanam-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.”* (QS Ar-Ra’d: 4).

Menurut Tafsir Al-Muyassar, surah Ar-Ra’d ayat 4 menjelaskan bahwa Allah SWT telah menciptakan bumi dengan beragam jenis permukaan yang memiliki karakteristik berbeda. Keberagaman ini dapat dilihat dari struktur tanah yang terdiri dari tanah subur, tanah kering, padang pasir tandus, dan tanah berbatu. Variasi warna tanah juga menunjukkan keunikan ciptaan-Nya, mulai dari warna merah, coklat, hingga hitam pekat. Keajaiban penciptaan Allah SWT juga terlihat dari berbagai jenis tanaman yang mampu tumbuh di tanah subur. Contohnya dapat diamati pada pohon kurma yang memiliki karakteristik pertumbuhan berbeda. Ada yang tumbuh bercabang dan ada pula yang tidak bercabang. Meskipun kedua pohon tersebut mendapatkan asupan air yang sama.

Fenomena serupa juga dapat ditemui pada tanaman buah-buahan dan biji-bijian yang meskipun terlihat mirip secara fisik, namun memiliki cita rasa yang berbeda karena ditanam pada jenis tanah yang berbeda. Semua keberagaman dan keunikan dalam penciptaan ini merupakan bukti nyata kekuasaan Allah SWT yang patut direnungkan dan dipahami oleh manusia yang menggunakan akal pikirannya. Fenomena alam ini mengajarkan kita untuk senantiasa bersyukur dan mengagumi kebesaran Allah SWT dalam menciptakan alam semesta dengan segala kesempurnaannya (Kojin Mashudi, 2020).

Salah satu bentuk kekuasaan Allah yang dapat kita amati dalam sistem pertanian modern adalah peran unsur hara yang terkandung dalam tanah, yang berfungsi mendukung kehidupan tanaman. Nitrogen merupakan unsur hara makro yang memiliki peran kritis dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Keberadaannya sangat utama dalam mengoptimalkan proses pertumbuhan vegetatif, meningkatkan proses penghijauan daun, serta mendukung tahap pembuahan. Pupuk urea menjadi salah satu sumber nitrogen paling populer di kalangan petani, dengan keunggulan kandungan nitrogen mencapai 46% dan sifat aplikasi yang relatif

mudah. Namun, dibalik keunggulannya, pupuk urea memiliki sejumlah kelemahan signifikan. Sifat higroskopis yang dimilikinya menyebabkan efisiensi penyerapan nitrogen oleh tanaman hanya berkisar antara 30-50% (Guohua, 2021). Kondisi ini mengakibatkan sebagian besar nitrogen terbuang melalui berbagai mekanisme, seperti pencucian dalam bentuk nitrat, penguapan sebagai gas amoniak, dekomposisi, dan *drainase* (Hidayat, 2014). Akibatnya berimbas pada kerugian ekonomi dan sumber daya pertanian, serta pencemaran lingkungan dan kesehatan manusia (Naz, 2016).

Peningkatan efisiensi dari penggunaan pupuk dapat dilakukan dengan cara mengembangkan teknologi pelepasan kandungan hara dalam pupuk secara lepas lambat. Pupuk lepas lambat dirancang khusus untuk membantu melepaskan unsur hara secara bertahap sesuai dengan kebutuhan tanaman selama periode pertumbuhan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi kehilangan nutrisi dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk (Assimi *et al.*, 2020). Penggunaan produk pupuk lepas lambat menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi pemberian pupuk dan mengurangi dampak negatif lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan pupuk konvensional secara berlebihan, seperti

pencemaran air tanah, emisi gas rumah kaca, dan degradasi tanah. Hal tersebut sebagian besar disebabkan oleh senyawa nitrogen seperti nitrat dan amonium yang tidak terserap oleh tanaman (Wang *et al.*, 2015). Selain itu, pelepasan senyawa volatil seperti amonia dan oksida nitrogen dari pupuk nitrogen telah berdampak pada masalah kesehatan manusia, penurunan keanekaragaman hayati, dan perubahan iklim (Smith *et al.*, 2024).

Keuntungan dari penggunaan pupuk lepas lambat yaitu dapat mengurangi kehilangan unsur hara secara efektif, karena unsur hara dilepaskan secara bertahap sehingga lebih sedikit yang terbuang melalui penguapan, dekomposisi atau drainase. Selain itu, pupuk lepas lambat menyediakan pasokan unsur hara yang berkelanjutan selama periode pertumbuhan tanaman, memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan secara konsisten. Penggunaan pupuk lepas lambat juga dapat menurunkan frekuensi pemupukan, karena pupuknya lebih tahan lama di tanah. Terakhir dengan mengurangi kebutuhan pupuk konvensional, penggunaan pupuk lepas lambat juga dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan pupuk berlebihan. Secara keseluruhan, pupuk lepas lambat menjanjikan sebagai solusi yang efektif dalam

meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, menyediakan nutrisi yang dibutuhkan tanaman secara berkelanjutan, dan mengurangi dampak negatif lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan pupuk konvensional (Zhang *et al.*, 2020). Pupuk lepas lambat nitrogen dapat dibuat melalui dua cara, yaitu pelapisan (*coating*) maupun pertukaran ion (Li *et al.*, 2019).

Material yang sering digunakan sebagai bahan dalam pembuatan pupuk lepas lambat yaitu polimer. Polimer alami yang sering digunakan sebagai pembawa struktur pelapis adalah kelompok polisakarida salah satunya seperti alginat yang berfungsi sebagai matriks yang sangat baik untuk *slow release* (Sathisaran & Balasubramanin, 2020). Alginat merupakan material polimer yang dapat mengalami ikatan silang dengan adanya tambahan kation divalent ke dalam larutan cairan. Alginat memiliki beberapa sifat diantaranya *biodegradable*, ramah lingkungan, non-toksik, serta mampu menghambat pelepasan suspensi dalam air sebagai campuran pelapis pupuk urea (Mayori *et al.*, 2018). Alginat memiliki gugus fungsional karboksil ($-COOH$) yang berperan penting dalam mengontrol pelepasan nutrisi pupuk (Rodrigues *et al.* 2018). Mekanisme kerja alginat sebagai pelapis pupuk lepas lambat didasarkan pada kemampuannya membentuk

membran hidrofilik yang dapat mengatur difusi nutrisi. Struktur polimer alginat memungkinkan terjadinya pengendapan dan pembentukan gel yang lambat, sehingga dapat memperlambat pelepasan unsur hara ke dalam tanah (Shaviv, 2001). Selain itu, gugus hidroksil (-OH) alginat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air, menyebabkan pembentukan gel melalui proses *swelling* yang dipengaruhi oleh pH, konsentrasi ion, berat molekul, dan suhu.

Namun, penggunaan material alginat sebagai pelapis dalam pembuatan pupuk lepas lambat memiliki keterbatasan, terutama terkait efisiensi pelepasan unsur hara. Alginat sangat mudah terdegradasi dengan adanya kation monovalen sehingga membatasi efektivitasnya dalam pengaplikasiannya (He *et al.*, 2015). Selain itu, alginat memiliki matriks yang cenderung lemah dan rapuh, sehingga tidak mampu memberikan perlindungan jangka panjang terhadap pupuk yang didalamnya. Oleh karena itu, diperlukan penambahan material penguat yang dapat meningkatkan kestabilan dan mengendalikan laju pelepasan nitrogen. Salah satu solusi yang telah dikembangkan adalah penambahan material anorganik ke dalam matriks polisakarida untuk membentuk biokomposit, yang terbukti mampu meningkatkan

kekuatan mekanik dan stabilitas pelepasan (Adzmi *et al.* 2012; Li *et al.* 2007). Sejalan dengan upaya tersebut, penelitian yang disintesis oleh Suci dan Astar (2022) menunjukkan bahwa enkapsulasi urea menggunakan agen lepas lambat berbasis alginat yang dikombinasikan dengan lumpur PDAM terbukti efektif dalam mengendalikan pelepasan nitrogen. Formulasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman, tetapi juga mampu mengurangi kehilangan nitrogen akibat pencucian (*leaching*).

Hidroksiapatit merupakan material anorganik yang dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan pupuk lepas lambat. Hidroksiapatit memiliki potensi sebagai matriks pelepas lambat karena sifatnya yang biokompatibel, tidak larut dengan cepat dalam air, dan mampu mengikat ion nutrisi seperti nitrogen dalam bentuk amonium atau urea. Hidroksiapatit merupakan senyawa kalsium fosfat berstruktur kristalin heksagonal dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, yang tersusun dari gugus fosfat dan hidroksil yang membentuk jaringan kuat dan stabil (Song *et al.*, 2020). Interaksi antara gugus fosfat (PO_4^{3-}) bermuatan negatif dengan kation seperti ammonium (NH_4^+) serta pembentukan ikatan hidrogen antara gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dari struktur hidroksiapatit

dengan molekul polar seperti gugus $\text{-NH}_2\text{CONH-}$ dari urea menjadi mekanisme utama yang dapat menahan pelepasan nitrogen (Wang *et al.*, 2022). Struktur kristal hidroksiapatit mampu menyerap molekul urea melalui interaksi elektrostatis dan ikatan hidrogen, yang memungkinkan pelepasan nitrogen terjadi secara bertahap dan terkontrol (Zhou *et al.*, 2011).

Penambahan hidroksiapatit dalam sistem pupuk lepas lambat berfungsi sebagai bahan pendukung yang berperan dalam menstabilkan senyawa nitrogen dan mengurangi laju pencucian (*leaching*) ke lingkungan (Wang *et al.*, 2017). Menurut Pan *et al.* (2019), hidroksiapatit mampu menahan senyawa nitrogen secara sementara melalui mekanisme penyerapan dan pertukaran ion, sehingga dapat memperpanjang waktu ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan meningkatkan efisiensi pemupukan di lahan pertanian. Penelitian yang dilakukan oleh Kottegoda (2017) menunjukkan bahwa kombinasi urea dengan nanohibrida hidroksiapatit mampu memperlambat pelepasan nitrogen secara signifikan. Interaksi antara urea dan hidroksiapatit menyebabkan perubahan struktur ikatan yang berkontribusi terhadap pelepasan nitrogen yang lebih lambat dan berkelanjutan dalam media air. Oleh karena itu, formulasi berbasis hidroksiapatit memiliki

potensi tinggi untuk diaplikasikan sebagai pupuk lepas lambat, karena mampu mengontrol pelepasan hara.

Pembuatan pupuk lepas lambat memerlukan teknik pelapisan yang mampu memberikan kontrol presisi terhadap pelepasan zat aktif (Bhatia, 2020). Salah satu teknik pelapisan yang dapat digunakan untuk pupuk nitrogen lepas lambat adalah teknik ekstrusi. Teknik ekstrusi merupakan metode pelapisan secara fisik yang dilakukan dengan menekan campuran bahan aktif dan bahan pelapis melalui lubang cetakan, sehingga terbentuk butiran dengan bentuk dan ukuran yang relatif seragam. Teknik ini dapat dilakukan secara sederhana dengan menggunakan alat bantu seperti *syringe*. Teknik ekstrusi sangat sesuai untuk pelapisan zat aktif yang sensitif terhadap panas atau memiliki kestabilan terbatas, seperti urea. Selain itu, metode ini memungkinkan pengendalian bentuk dan ukuran butiran (*beads*) dengan relatif mudah, serta menghasilkan matriks yang homogen dan terdispersi dengan baik (Agustin & Wibowo, 2021).

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan pembuatan pupuk lepas lambat menggunakan bahan hidroksiapatit atau alginat. Akan tetapi, belum ada penelitian yang menggabungkan penggunaan kombinasi bahan hidroksiapatit dan alginat dalam pembuatan pupuk

lepas lambat nitrogen. Maka dari itu inovasi yang diusulkan pada penelitian ini yaitu pembuatan pupuk nitrogen lepas lambat dengan bahan alginat dan hidroksiapatit melalui teknik ekstrusi, dengan urea sebagai sumber nitrogen, sebagai solusi untuk mengatasi laju pelepasan dan pemanfaatan hara di dalam tanah yang belum optimal, serta untuk meminimalkan pencemaran lingkungan yang ditimbulkan oleh pupuk konvensional.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik hidroksiapatit yang dihasilkan?
2. Bagaimana karakteristik produk pupuk lepas lambat nitrogen yang dibuat?
3. Bagaimana aktivitas pelepasan lambat nitrogen pada pupuk lepas lambat yang dibuat?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan dari hidroksiapatit
2. Untuk mengetahui karakteristik produk pupuk lepas lambat yang dihasilkan

3. Untuk mengetahui pelepasan pelepasan lambat nitrogen pada pupuk lepas lambat yang dihasilkan.

D. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan memberikan manfaat, sebagai berikut:

1. Bagi masyarakat: membantu masyarakat dalam mengatasi pencemaran air dan udara serta pengembangan sintesis
2. Bagi peneliti: mampu mengembangkan potensi peneliti dalam menciptakan inovasi dalam teknik pupuk lepas lambat

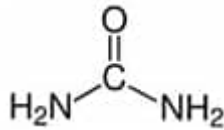
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Urea

Urea adalah sejenis pupuk yang mengandung kadar nitrogen yang tinggi, berkisar antara 45% hingga 56%. Urea ini berbentuk kristal berwarna putih atau kadang-kadang kemerahan, dan memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (Lobang, 2022). Biasanya, pupuk urea memiliki tekstur yang kasar. Massa jenis senyawa urea adalah sekitar $1,33.103 \text{ kg/m}^3$, dan titik lelehnya adalah sekitar $132,7^\circ\text{C}$. Urea larut dengan baik dalam air, tetapi tidak larut dalam pelarut organik. Ini memudahkan petani untuk menggunakannya bersamaan dengan penyiraman tanaman. Selain digunakan sebagai pupuk, urea juga diproduksi secara industri dengan mensintesisnya dari amonia dan karbondioksida. Senyawa urea ini digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada resin urea-formaldehida yaitu resin sintesis yang mengandung gugus berulang berupa $-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-$ dalam industri farmasi (Ronaldo, 2018). Adapun struktur urea dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Struktur Pupuk Urea (Depkes RI, 2020)

Kandungan nitrogen yang terdapat dalam urea memiliki peran sangat penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman, terutama selama periode pertumbuhan, serta berkontribusi pada proses metabolisme tanaman. Urea memiliki sifat mudah menguap, yang memungkinkannya untuk dengan mudah menyerap uap air dan dengan demikian, mudah larut dalam air. Lebih lanjut, tingginya volatilitas urea membuatnya cenderung menguap dengan cepat. Biasanya, tanaman menyerap nitrogen dalam bentuk ion NH_4^+ atau NO_3^- . Jenis ion yang diserap oleh tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis tanah, jenis tanaman yang ditanam, dan tahapan pertumbuhan tanaman. Pada kondisi tanah yang memiliki manajemen nitrogen yang optimal, tanaman akan cenderung menyerap nitrogen dalam bentuk ion nitrat (NO_3^-), mengingat bahwa ion NH_4^+ akan mengalami transformasi menjadi ion nitrat (Lobang, 2022). Namun, ketika urea digunakan dengan cara langsung disebar ke tanah, proses hidrolisis urea akan

berlangsung lebih cepat, menghasilkan amonia yang mudah menguap. Ketidakcukupan pasokan nitrogen bagi tanaman dapat menghambat pertumbuhan tanaman yang dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman yang terhambat, pertumbuhan akar yang terbatas, serta daun tanaman yang berubah menjadi kuning dan mudah rontok. Kehilangan nitrogen dari urea melalui penguapan dan pergerakan oleh air hujan dapat mencapai 50-60%, yang akhirnya akan meningkatkan biaya yang dikeluarkan untuk membeli pupuk (Ronaldo, 2018).

Hasil pertumbuhan tanaman bisa dinilai dari respons tanaman terhadap pupuk yang disediakan sesuai dengan kebutuhan gizi tanaman dan dosis yang sesuai. Pemupukan adalah solusi untuk memasok unsur hara dalam jumlah yang dibutuhkan tanaman. Akan tetapi, penggunaan pupuk urea yang tidak efisien dapat menyebabkan berbagai permasalahan, seperti tercucinya urea oleh air tanah dan oenguapan yang berpotensi menjadi sumber pencemaran lingkungan dan eutrofikasi, serta berkontribusi terhadap efek rumah kaca. Di sisi lain, tanaman mampu menyerap sekitar 30-40% nitrogen dari pupuk urea, sehingga hal ini tentu dapat meningkatkan beban biaya pemupukan.

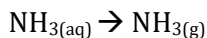
akibat penggunaan pupuk yang dilakukan berkali-kali (Costa *et al.*, 2013).

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dekomposisi Urea di Dalam Tanah

Mineralisasi nitrogen di dalam tanah melibatkan dua reaksi yaitu amonifikasi dan amonifikasi. Amonifikasi adalah proses mikrobial yang terjadi akibat adanya hidrolisis makromolekul N organik oleh mikroorganisme, sedangkan pada amonifikasi, mikroorganisme mengkonversi amina dan asam amino menjadi NH_4^+ . Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) mengalami reaksi amonifikasi yang menghasilkan pelepasan ion NH_4^+ , proses ini dikenal juga sebagai hidrolisis urea yang berlangsung karena adanya enzim urease di dalam tanah. Reaksi amonifikasi urea dapat dilihat pada persamaan 2.1

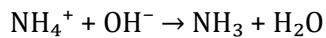


Kandungan Nitrogen total di dalam tanah terdiri dua bentuk utama, yaitu ion NH_4^+ dan NH_3 . Ketika NH_3 berada di dalam tanah, maka dapat mengalami pertukaran ke atmosfer melalui reaksi sederhana yang disajikan pada persamaan 2.2



Pada kondisi pH tanah yang tinggi (>7), terjadi proses kehilangan amonia ke udara atau dikenal

sebagai volatilisasi amonia. Peningkatan pH ini umumnya disebabkan oleh penambahan urea ke dalam tanah, yang selama proses amonifikasi menyebabkan kenaikan pH. Akibatnya, amonia mudah menguap. Proses volatilisasi amonia tersebut disajikan pada persamaan 2.3 berikut.



Nitrifikasi merupakan proses oksidasi ion amonium (NH_4^+) menjadi nitrat (NO_3^-) yang berlangsung di dalam tanah dengan bantuan bakteri sebagai mediator utama. Sebaliknya, proses denitrifikasi melibatkan reduksi nitrat menjadi senyawa gas seperti NO , N_2O , dan N_2 . Salah satu faktor tanah yang paling berpengaruh terhadap laju denitrifikasi adalah ketersediaan oksigen (Singh dkk., 2008).

Urea mengalami dekomposisi secara enzimatik di dalam tanah menjadi CO_2 dan NH_4^+ . Proses hidrolisis ini dikatalisis oleh enzim urease yang secara alami terdapat pada tanah, tanaman, serta sisa-sisa tumbuhan. Urease memiliki siklus aktif yang terdiri dari dua atom Ni yang terhubung melalui jembatan karbamat. Setiap atom nikel berikatan dengan dua atom nitrogen dari cincin imidazol, sementara sisi

koordinasi lainnya dilengkapi oleh gugus karboksilat dan molekul air. Kemampuan mikroorganisme dalam menghidrolisis urea bervariasi, yaitu antara 17% hingga 70% untuk bakteri tanah dan dari 78% hingga 98% untuk jamur tanah. Meskipun urease umumnya berasal dari mikroba, beberapa penelitian menunjukkan bahwa aktivitas urease juga dapat berasal dari tanaman (Junejo et al., 2011).

Aktivitas enzim urease dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kandungan bahan organik, nilai pH tanah, suhu, kelembaban serta konsentrasi urea yang tersedia (O'Toole *et al.*, 1982). Seing dengan bertambahnya kedalam tanah, kandungan bahan organik umumnya menurun, sehingga aktivitas urease juga ikut berkurang. Enzim ini memainkan utama dalam proses hidrolisis urea di tanah, yang menghasilkan amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Reaksi ini turut meningkatkan pH tanah, yang pada gilirannya mempercepat pelepasan nitrogen ke atmosfer melalui proses volatilisasi amonia. Kenaikan pH tanah secara langsung berkontribusi terhadap percepatan laju hidrolisis urea (Ahmed *et al.*, 2006).

Kenaikan suhu tanah dapat mempercepat laju hidrolisis urea, karena kelauran urea dalam air turut

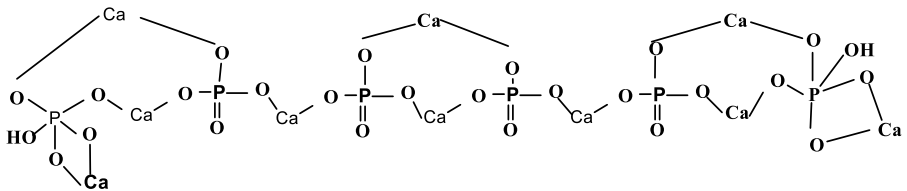
meningkat seiring dengan bertambahnya, karena kelarutan urea dalam air turut meningkat seiring bertambahnya temperatur. Enzim urease yang dihasilkan secara ekstraseluler oleh mikroorganisme tanah, memiliki aktivitas yang semakin tinggi pada suhu yang lebih hangat. Pertumbuhan mikroorganisme serta produksi urease juga meningkat pada suhu tinggi, dengan aktivitas optimum urease terjadi pada kisaran suhu 60°C hingga 70°C. Selain suhu, proses hidrolisis urea juga dipengaruhi oleh lain seperti konsentrasi urea, kadar air tanah, dan pH tanah. Kondisi pH yang ideal untuk berlangsungnya hidrolisis urea adalah 6 hingga 7. Namun, jika konsentrasi urea melebihi 6 M, kecepatan hidrolisis urea justru menurun karena enzim mengalami denaturasi. Kelembaban tanah memegang peran penting dalam proses ini, mengingat urea memiliki sifat higroskopis yang memungkinkan urea menyerap air saat bersentuhan dengan cairan atau uap air disekitarnya. Setelah diaplikasikan ke tanah, urea akan larut dengan cepat karena memiliki kelarutan yang sangat tinggi di dalam air yakni sekitar 1080 g L⁻¹ pada suhu 20 °C (Wahl *et al.*, 2006).

Urea yang dilapisi dengan senyawa inert, seperti urea berlapis sulfur, urea berlapis polietilen, dan urea berlapis super fosfat merupakan salah satu pendekatan pembuatan pupuk urea lepas lambat yang mekanismenya dikendalikan melalui difusi dari lapisan pelindung. Meskipun metode pelapisan ini efektif dalam mengatur pelepasan urea, kelemahan utamanya adalah biaya produksinya yang tinggi (jiang et al., 2010). Sebagai alternatif, Xiaoyu et al (2013) melakukan penelitian dengan memanfaatkan bentonit dan polimer untuk menghasilkan struktur kisi tiga dimensi melalui pelarutan langsung urea, guna menciptakan sistem pelepasan lambat yang lebih efisien dan ekonomis.

3. Hidroksiapatit

Hidroksiapatit (HAP) adalah bahan apatit $[M_{10}(XO_4)_6Z_2]$ dengan rumus kimia $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ yang biasa digunakan dalam bidang medis. Secara umum, struktur kristal berbentuk heksagonal, komposisi unsur penyusun (% berat ideal) yaitu Ca sebesar 39,9%, P sebesar 18,5%, H sebesar 0,2%, O sebesar 41,41% dan rasio kalsium fosfat (Ca/P) yang ideal adalah 1,67. Kalsium terdapat dalam tulang berbentuk senyawa yang digabungkan dengan gugus

fosfat (PO_4^{3-}), gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dan karbonat (CO_3^{2-}) (Purwasasmita et al., 2008). Senyawa hidroksiapatit dalam tulang dibagi menjadi dua fase yaitu fase amorf dan kristal. Adapun fase stabil kristal hidroksiapatit yang dikenali dengan nama hidroksiapatit (HAP) dengan rumus molekul $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ (Purnama et al. ., 2006). Bentuk HAP menunjukkan struktur kristal monoklinik dan heksagonal dengan parameter kisi $a = b = 9,42\text{\AA}$, $c = 6,88\text{\AA}$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$. Struktur senyawa hidroksiapatit dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Struktur HAP

Hidroksiapatit (HA) memiliki dua bentuk struktur kristal utama, yaitu monoklinik dan heksagonal. Struktur monoklinik terbentuk ketika gugus hidroksil (OH^-) tersusun secara teratur dalam pola berulang OH-OH-OH-OH- , yang menyebabkan parameter kisi b menjadi dua kali lipat. Sementara itu, struktur heksagonal merupakan bentuk yang paling stabil di antara senyawa kalsium fosfat lainnya dan terbentuk

dalam kondisi stoikiometri, khususnya ketika susunan ion OH^- tidak teratur (Muliati, 2016).

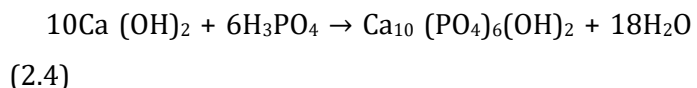
Struktur kristal hidroksiapatit heksagonal memiliki parameter kisi $a = 9,4225 \text{ \AA}$, $c = 6,881 \text{ \AA}$, dan sudut $\beta = 120^\circ$, dengan grup ruang kristal $P6_3/m$. Sedangkan pada struktur monoklinik, parameter kisi adalah $a = 9,421 \text{ \AA}$, $b = 2a$, $c = 6,881 \text{ \AA}$, dan sudut $\beta = 120^\circ$, dengan grup ruang kristal $P2_1/b$ (Hardiyanti, 2016). Rasio kalsium terhadap fosfor (Ca/P) dalam struktur HA adalah 1,67, dan massa jenisnya sekitar 3,19 g/mL (Suryadi, 2011).

Proses preparasi serbuk hidroksiapatit sangat dipengaruhi oleh morfologi, kesetimbangan stoikiometri, tingkat kristalinitas, serta ukuran partikel, terutama dalam skala nanometer yang memiliki peranan penting dalam aplikasi sebagai biomaterial. Sintesis serbuk hidroksiapatit telah dilakukan dengan memanfaatkan berbagai sumber kalsium (Ca) dan fosfor (P), seperti kalsium nitrat $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ yang direaksikan dengan amonium hidrogen fosfat $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$, serta kalsium hidroksida $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ yang dipadukan dengan asam fosfat (H_3PO_4) (Hardiyanti, 2016). Salah satu metode

yang efektif untuk memperoleh hidroksiapatit adalah metode presipitasi (pengendapan).

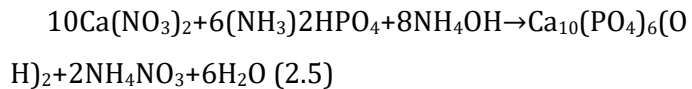
Metode presipitasi atau pengendapan merupakan reaksi asam-basa yang menghasilkan padatan kristal berupa garam dan air. Metode ini memiliki sejumlah keunggulan, antara lain reaksi kimia yang berlangsung relatif sederhana, ukuran partikel yang dihasilkan umumnya sangat baik, komposisi yang tinggi dapat dicapai meskipun pada suhu rendah, serta prosesnya tergolong hemat biaya dan mudah dilakukan (Saputra et al., 2016).

Dalam proses ini, digunakan beberapa senyawa yang mengandung ion kalsium (Ca^{2+}) sebagai sumber kalsium dan ion fosfat (PO_4^{3-}) sebagai sumber fosfor (Mohammad et al., 2014). Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah dengan mereaksikan kalsium hidroksida [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] dan asam fosfat [H_3PO_4] sebagai bahan utama dalam metode ini. Adapun persamaan reaksi yang terjadi yaitu:



Pada Persamaan 2.4, reaksi antara asam fosfat (H_3PO_4) dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) menunjukkan tingkat kemurnian hidroksiapatit (HAP)

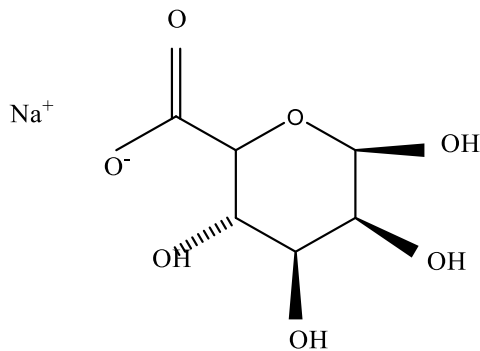
yang dihasilkan. Penggunaan bahan Ca(OH)_2 dan H_3PO_4 dalam sintesis HAP hanya menghasilkan air sebagai produk sampingan, tanpa membentuk senyawa lain atau bereaksi dengan unsur-unsur lain. Adapun persamaan reaksi yang terjadi yaitu:



Pada Persamaan 2.5, reaksi antara larutan diamonium hidrogen fosfat dan kalsium nitrat dianggap kurang ekonomis dan berpotensi menyebabkan kontaminasi. Kualitas reagen sangat menentukan dalam memperoleh hidroksiapatit (HAp) dengan tingkat kemurnian yang tinggi (Gopinath et al., 2015). Beberapa faktor yang memengaruhi sifat mekanik hidroksiapatit meliputi bentuk serbuk, tingkat porositas, dan ukuran partikel. Menurut Smith (1996), pori-pori pada HAp tersusun secara tidak teratur dan tidak saling terhubung (non-adherent), sehingga keberadaan pori-pori tersebut menjadi salah satu penyebab lemahnya kekuatan struktur material HAP. Selain itu, ukuran partikel juga dapat menurunkan kekuatan material karena memengaruhi keterikatan antar partikel (Afrizal, 2016).

4. Alginat

Alginat adalah salah satu kelompok polisakarida yang terbentuk dalam dinding sel alga coklat, dengan kadar mencapai 40% dari total berat kering dan memegang peranan penting dalam mempertahankan struktur jaringan alga (Rasyid, 2010). Alginat disintesis pertama kali oleh Stanford pada tahun 1880 (Chapman & Chapman, 1980). Pada awalnya alginat dianggap sebagai suatu asam polimannuronat, namun sejak tahun 1964 alginat lebih dikenal sebagai kopolimer dari asam L-guluronat dan asam D-mannuronat. Pada prinsipnya alginat terdiri dari 3 macam struktur, yaitu homopolisakarida α -1,4-L-guluronat, β -1,4-D-mannuronat, dan heteropolisakarida yang merupakan bentuk selang-seling asam α -1,4-L-guluronat dan asam β -1,4-D-mannuronat (An Ullman's, 1998). Asam alginat dalam alga coklat umumnya terdapat sebagai garam-garam kalsium, magnesium dan natrium. Tahap pertama pembuatan alginat adalah mengubah kalsium dan magnesium alginat yang tidak larut menjadi natrium alginat yang larut dalam air dengan pertukaran ion di bawah kondisi alkalin (Pereira *et al.*, 2013). Struktur senyawa alginat ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Struktur senyawa alginat

Kelarutan alginat serta kemampuannya dalam mengikat air sangat dipengaruhi oleh jumlah ion karboksilat, berat molekul, dan nilai pH. Kemampuan pengikatan air akan meningkat jika kandungan ion karboksilat lebih tinggi dan jumlah residu kalsium alginat kurang dari 500. Namun, pada kondisi pH di bawah 3, alginat akan mengalami pengendapan (Diharningrum & Husni, 2018). Struktur molekul alginat merupakan polimer linear yang tidak bercabang, terdiri dari sekitar 700 hingga 1000 unit β -D-mannuronat (M) dan α -L-guluronat (G). Ikatan β -D-mannuronat berbentuk $4C_1$ diequatorial, sedangkan α -L-guluronat memiliki konfigurasi $1C_4$ diaxial (Wandrey, 2005). Rantai yang terdiri atas 3 segmen polimer yang berbeda terlihat pada Gambar 2.3

5. Pupuk lepas Lambat

Pupuk lepas lambat merupakan jenis pupuk yang dirancang untuk melepaskan unsur hara secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman. Hal ini penting karena nutrisi dalam pupuk umumnya mudah hilang akibat kelarutannya yang tinggi dalam air, penguapan, atau proses denitrifikasi (Savana & Maharani, 2018). Pupuk lepas lambat mampu mengatur laju pelepasan unsur hara ke dalam tanah selama masa pemupukan berlangsung. Berbeda dengan pupuk konvensional yang umum digunakan, pupuk jenis ini memiliki karakteristik khusus yang memungkinkan pelepasan nutrisi terjadi lebih lambat. Selain itu, penggunaan pupuk lepas lambat juga berkontribusi dalam memperbaiki kualitas tanah, mengatur sifat fisik tanah, serta meningkatkan tingkat keberhasilan dalam proses perkecambahan benih (Al-Samarrai et al., 2018).

Pupuk lepas lambat adalah jenis pupuk yang telah dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dengan mengatur pelepasan unsur hara dalam pupuk secara bertahap dan lambat. Proses pembuatan pupuk lepas lambat melibatkan berbagai metode, termasuk peningkatan ukuran partikel, perubahan struktur

permukaan pupuk, pencampuran dengan bahan yang memiliki kelarutan rendah, dan pelapisan pupuk dengan lapisan tertentu. Semua langkah ini bertujuan untuk memperlambat pelepasan unsur hara dalam tanah saat pupuk digunakan (Aulia, 2022).

Syarat suatu pupuk Menurut Liu *et al* (2010) suatu pupuk dikategorikan sebagai SRF apabila mampu melepaskan unsur hara secara lambat dan terkendali, dengan waktu pelepasan yang lebih Panjang dibandingkan pupuk konvensional, serta dapat mengurangi kehilangan nutrient ke lingkungan, seperti pelindian dan volatilisasi.

Lebih lanjut, Trenkel (2010) menjelaskan bahwa pupuk lepas lambat harus memenuhi beberapa syarat teknis, yaitu memiliki mekanisme pengendalian pelepasan seperti pelapisan, enkapsulasi, atau modifikasi kimia, menunjukkan efisiensi pemupukan yang lebih tinggi melalui peningkatan serapan tanaman dan penurunan frekuensi aplikasi, serta memiliki kestabilan terhadap factor lingkungan seperti kelembaban, suhu, dan pH tanah.

Sementara itu menurut Salisbury Greenhouse (2021), SRF yang baik juga harus tidak menyebabkan lonjakan konsentrasi hara secara tiba-tiba (*no nutrient*

shock) aman bagi akar tanaman, serta harus mampu menyediakan unsur hara dalam bentuk yang bioavailable, serta memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan pupuk larut cepat.

Salah satu aktivitas akar tanaman yaitu melakukan sekresi asam-asam organik yang dapat membentuk kelasi dengan ion logam di dalam tanah serta menjamin ketersediaan ion nutrisi bagi akar tanaman (Chandra *et al.*, 2009). Ketersediaannya ion nutrisi dapat diuji dan dilihat kelarutannya di dalam asam organik. Menurut Bhattacharya *et al.* (2007), idealnya ion hara dalam pupuk memiliki kelarutan rendah dalam air, tetapi tetap larut dalam asam organik seperti asam sitrat dan asam oksalat agar tetap tersedia bagi tanaman.

6. Bentuk-Bentuk *Slow Release Fertilizer* (SRF)

Menurut Trankel (2010), SRF dapat diklasifikasikan ke dalam enam bentuk utama berdasarkan mekanisme pelepasannya, sifat kimianya, serta metode pelapisannya. Keenam bentuk tersebut meliputi:

a. Produk Kondensasi Urea-Aldehid

Salah satu bentuk pupuk lepas lambat yang telah dikembangkan adalah senyawa

hasil kondensasi antara urea dan aldehid, seperti urea-formaldehid (UF), isobutyldene diurea (IBDU), dan cyclo diurea (CDU). Pupuk ini melepaskan nitrogen secara perlahan melalui proses hidrolisis dan degradasi mikroba di tanah, sehingga cocok digunakan dalam hortikultura, taman, dan lanskap. Laju pelepasan dari senyawa ini sangat bergantung pada rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) dan kondisi lingkungan tanah seperti kelembaban dan suhu.

b. Pupuk Berlapis atau Terkapsulasi

Pupuk jenis ini dikembangkan dengan melapisi butiran pupuk aktif (seperti urea) menggunakan bahan pelindung untuk mengontrol pelepasan nutrisi. Jenis pelapis yang umum digunakan meliputi:

- a. *Sulphur-coated urea* (SCU): urea dilapisi dengan sulfur cair, kemudian ditutup dengan wax atau *sealant* polimer untuk menyegel pori-pori.
- b. *Polymer-coated urea* (PCU): Butiran urea dilapisi menggunakan polimer sintetis seperti poliuretan, polietilen, atau resin berbasis ester melalui Teknik semprot

- c. *Polymer/sulphur-coated urea (PSCU)*: Kombinasi pelapisan sulfur dan polimer untuk memperbaiki kestabilan fidik dan control pelepasan.

c. Pupuk Berbasis Matriks Gel

Selain pelapisan, pupuk lepas lambat juga dapat diformulasikan dalam bentuk matriks gel yang mengandung biopolymer hidrofilik seperti alginate, karbosimetilselulosa (CMC), atau pati termodifikasi untuk membentuk matriks gel yang menjebak larutan nutrient. Proses pembuatannya melibatkan pencampuran urea ke dalam larutan polimer, yang kemudian diteteskan ke dalam larutan ion divalent seperti CaCl_2 sehingga terjadi gelasi ionik. Butiran gel ini mengontrol pelepasan nutrient melalui mekanisme difusi air, dan sering dikeringkan untuk memperpanjang umur simpan.

d. Senyawa Anorganik dengan kelarutan Rendah

Selain bahan organik-polimer, terdapat pula pupuk lepas lambat berbasis senyawa anorganik yang memiliki kelarutan rendah seperti:

- a. Struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$): dihasilkan dari presipitasi larutan magnesium, ammonium, dan fosfat.

b. *Partially Acidulated Phosphate Rock* (PAPR):

Dibuat dari batu fosfat yang direaksikan Sebagian dengan asam sulfat.

Senyawa ini melepaskan nutrisi secara perlahan akibat kelarutan rendah dalam tanah masam atau pada area dengan resiko pencucian tinggi.

e. **Pupuk dalam Bentuk Fisik Khusus**

SRF juga dapat diformulasikan dalam bentuk padat dengan luas permukaan yang kecil untuk memperlambat pelepasan. Contohnya meliputi, supergranule, table, spike, plant food stiks, dan briket. Pembuatan dilakukan dengan dengan tekanan mekanik menggunakan mesin cetak atau tablet press. Bentuk fisik ini memperlambat pelarutan pupuk di tanah dan banyak digunakan pada tanaman pot, lanskap, atau skala Perkebunan.

f. **Metode Pelapisan (*Coating Methods*)**

Metode pelapisan pupuk meliputi Teknik pelapisan sulfur, pelapisan polimer, serta kombinasi keduanya. Dalam metode SCU, urea dilapisi dengan lapisan sulfur cair yang kemudian ditutup dengan *wax* atau resin untuk menyegel pori-pori. Sedangkan pada *polymer-coated urea*

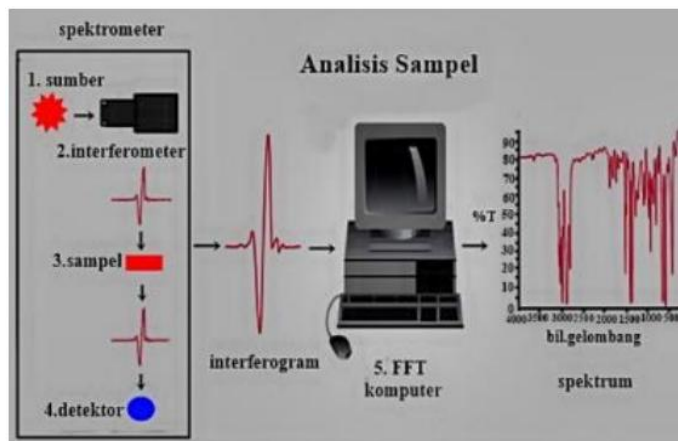
(PCU), bahan seperti poliuretan, polietilen, atau resin polyester digunakan untuk mengontrol laju difusi nutrient keluar dari granul. Gabungan sulfur dan polimer (PSCU) menawarkan kekuatan mekanik lebih tinggi serta pola pelepasan yang lebih stabil dalam jangka waktu lama. Selain itu, pelapisan alami menggunakan bahan seperti lateks, gambut, atau lempung juga dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan.

B. Karakterisasi

1. Spektrometer FTIR

Spektroskopi infra merah merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam suatu molekul melalui interaksinya dengan radiasi elektromagnetik pada rentang panjang gelombang 0,75-1000 μm atau dalam bilangan gelombang 13.000-10 cm^{-1} . Metode ini mencakup beberapa teknik, seperti teknik emisi, teknik absorpsi, dan teknik fluoresensi. Energi dari radiasi inframerah akan memicu terjadinya getaran dalam molekul. Setiap jenis ikatan dan gugus fungsi dalam suatu molekul memiliki pita serapan inframerah yang khas dan spesifik. Sumber Cahaya yang umum digunakan dalam FTIR adalah *tungsten*, *narst glower*, dan *glowbars*.

Banyaknya frekuensi melewati senyawa akan diukur sebagai persen transmittan. Energi radiasi infra merah yang mengenai suatu molekul berhubungan dengan energi terjadinya vibrasi pada suatu ikatan (Ayuningtias, 2019). Penampang alat FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.4



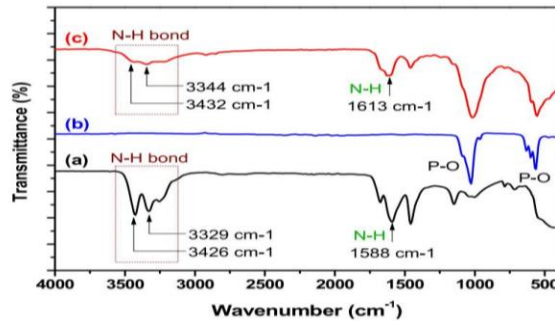
Gambar 2. 4 Penampang alat FTIR (Hardiyanti, 2016)

Komponen utama dari alat FTIR terdiri atas lima bagian penting, yaitu terletak pada sumber cahaya, interferometer, pemegang sampel, detektor, dan komputer. Sumber cahaya dihasilkan dari pemanasan pada suhu tinggi antara 1500 K hingga 2000 K. Cahaya yang dihasilkan kemudian diarahkan ke dalam interferometer, tempat berlangsungnya proses penggabungan spektrum yang menghasilkan sinyal

interferogram. Sinyal ini kemudian diserap oleh sampel dan diteruskan menuju detektor untuk dilakukan pengukuran akhir terhadap interferogram tersebut. Setelah itu, sinyal yang telah diukur dikirim ke komputer untuk diproses melalui transformasi Fourier (Rod, 2001). Proses ini dilakukan secara berulang, dan komputer akan mengolah data tersebut untuk menghitung nilai absorbansi pada setiap panjang gelombang.

Getaran molekul diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu getaran ulur (*stretching*) dan getaran tekuk (*bending*). Getaran ulur terjadi akibat gerakan periodik sepanjang sumbu ikatan yang menyebabkan jarak antar atom, baik menjauh atau mendekat. Sementara itu, getaran tekuk muncul akibat perubahan sudut ikatan antara atom-atom atau gugus atom yang saling berdekatan (Ganzaoury *et al.*, 2015). Cara kerja spektrometer FTIR berbeda dengan spektrometer inframerah konvensional. FTIR menggunakan interferometer Michelson sebagai pengganti monokromator. Interferometer ini ditempatkan di bagian depan dan berfungsi untuk memodulasi sinyal yang diterima oleh detektor berdasarkan frekuensi serta bentuk dari pola interferensi yang dihasilkan.

Salah satu contoh hasil pengukuran menggunakan FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2. 5 Spektrum FTIR dari (a) urea (b) HAP dan (c) HAP-urea (Elhassani et al., 2019)

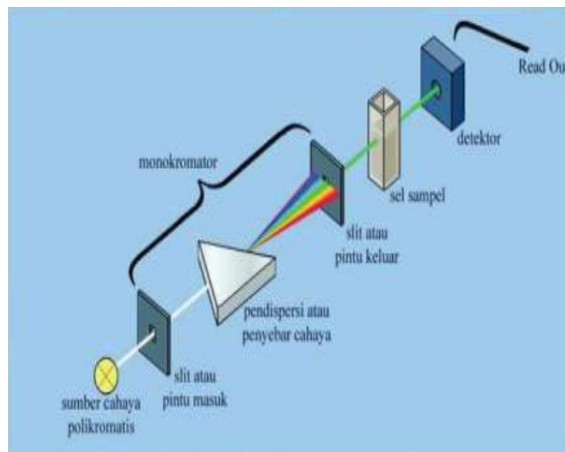
Spektrum FTIR pada Gambar 2.5 menurut Elhassani *et al.* (2019) dalam hasil analisis FTIR pada gambar b menunjukkan pita karakteristik khas struktur apatit. Pita serapan tajam dan intens yang terletak pada 1090 dan 1020 cm^{-1} dikaitkan dengan peregangan gugus fosfat (PO_4). Sinyal pada 964 dan 470 cm^{-1} masing-masing disebabkan oleh getaran peregangan simetris dan asimetris PO_4 . Dan puncak pada 600 dan 561 cm^{-1} merupakan karakteristik getaran deformasi PO_4 (Wang *et al.*, 2007). Pita yang diamati pada 3571 cm^{-1} merupakan karakteristik getaran peregangan gugus hidroksil dari struktur HAP. Spektrum inframerah transformasi Fourier dari urea dan hidroksiapatit berlapis urea ditunjukkan pada

Gambar 6 (a,c). Seperti yang ditunjukkan pada gambar ini, spektrum inframerah transformasi Fourier dari HAP berlapis urea menunjukkan pita peregangan dan deformasi NH masing-masing pada sekitar 3432 dan 1613 cm^{-1} . Puncak peregangan C=O teramati pada sekitar 1673 cm^{-1} dan puncak peregangan CN pada sekitar 1457 cm^{-1} . Perlu disebutkan bahwa pita serapan yang diamati pada sekitar 3426 dan 1588 cm^{-1} , yang berkaitan dengan getaran peregangan dan deformasi ikatan NH dalam urea murni, bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi hingga 3432 dan 1613 cm^{-1} dalam spektrum HAP berlapis urea, sehingga menunjukkan terjadinya pita hidrogen yang kuat antara gugus NH urea dan gugus OH HAP. Menurut hasil FTIR, dapat disimpulkan bahwa urea terikat pada HAP melalui gugus karbonil dan aminanya (Kottegoda *et al.*, 2017).

2. Spektrofotometer Uv-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat analisis yang bekerja berdasarkan prinsip spektrum energi dan pengukuran serapan cahaya. Prinsip dasar dari metode ini adalah terjadinya transisi elektron akibat penyerapan cahaya UV-Vis yang dapat memicu eksitasi

elektron dari orbital rendah ke orbital yang lebih tinggi. Teknik ini umum digunakan untuk menganalisis larutan senyawa organik maupun ion kompleks logam, dan hasil yang diperoleh biasanya berupa konsentrasi dari larutan yang dianalisis. Instrumen UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Penampang Instrumen Uv-Vis (Rohmah et al., 2021)

Intensitas serapan suatu zat dijelaskan melalui Hukum Lambert-Beer, yang menyatakan bahwa besarnya cahaya yang diserap oleh suatu zat atau medium tidak bergantung pada intensitas cahaya yang datang. Hukum ini hanya berlaku jika tidak terjadi reaksi kimia atau proses fisik lain dalam zat atau

medium tersebut yang dipicu atau dipengaruhi oleh cahaya yang masuk (Andriani, 2016). Persamaan Lambert-Beer dinyatakan sebagai berikut:

$$A = \epsilon \cdot b \cdot c$$

Keterangan:

A = absorbansi

ϵ = absorptivitas molar (L/mol.cm)

c = konsentrasi molar (mol/L)

Spektrofotometer UV-Vis bekerja berdasarkan prinsip penyerapan radiasi gelombang elektromagnetik oleh sampel dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (sekitar ± 200 nm). Analisis spektroskopi ini dilakukan dengan mengukur intensitas warna larutan yang akan dibandingkan dengan larutan standar, di mana konsentrasi ditentukan melalui nilai absorbansinya. Prinsip kerjanya adalah ketika suatu molekul menyerap radiasi ultraviolet atau cahaya tampak pada panjang gelombang tertentu, maka elektron dalam molekul tersebut akan mengalami eksitasi atau perpindahan dari tingkat energi rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi (Muadifah & Ngibad, 2020).

3. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD (*X-ray Diffraction*) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal maupun non-kristal dalam suatu material melalui pola difraksi sinar-X yang terjadi saat sinar-X mengenai struktur kisi kristal. Teknik ini juga mampu menentukan parameter struktur kisi kristal seperti jarak antar atom dan sudut antar bidang kristal, serta memperkirakan ukuran butir kristal, termasuk partikel berukuran nano. Difraksi sinar-X terjadi karena pantulan atau pembelokan sinar oleh atom-atom penyusun kristal. Data yang diperoleh dari pengujian XRD disajikan dalam bentuk sudut hamburan atau sudut Bragg. Persamaan Bragg digunakan untuk menjelaskan syarat terjadinya interferensi konstruktif pada difraksi sinar-X terhadap kisi kristal. Adapun persamaanya disajikan pada persamaan 2.3 (Putama, 2018).

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta ; n = 1, 2, \dots$$

Dengan :

n = Orde difraksi

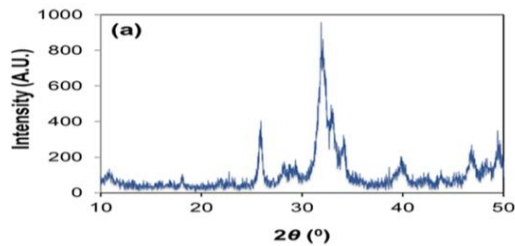
λ = Panjang Gelombang sinar-X

d = Jarak antar bidang kisi

θ = Sudut difraksi

Berdasarkan persamaan Bragg, ketika sinar-X diarahkan ke suatu sampel kristal, bidang-bidang kristal akan mendifraksikan sinar tersebut pada panjang gelombang yang sebanding dengan jarak antar bidang kisi dalam struktur kristal. Sinar yang telah terdifraksi kemudian ditangkap oleh detektor dan ditampilkan dalam bentuk puncak-puncak difraksi (Sandewi, 2017).

Pencocokan puncak yang terjadi dalam analisis difraksi sinar-X dilakukan pada hampir semua jenis material. Sinar-X memiliki keunggulan utama berupa kemampuan penetrasi tinggi karena panjang gelombangnya yang sangat pendek. Dengan panjang gelombang berkisar antara 0,5 hingga 2,0 mikron, sinar-X dihasilkan ketika logam dibombardir oleh elektron berenergi tinggi. Saat memasuki logam, elektron-elektron ini mengalami perlambatan, yang kemudian menyebabkan elektron dalam kulit atom logam terlepas dan menciptakan kekosongan. Kekosongan tersebut akan diisi oleh elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi, dan sinar-X dipancarkan sebagai hasil dari energi berlebih yang dilepaskan dalam proses tersebut (Putama, 2018). Adapun contoh hasil XRD disajikan pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 XRD dari Urea-hidroksiapatit (Tarafer et al., 2020)

Gambar 2.7 Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa komposit urea-hidroksiapatit (UHAP) memiliki puncak-puncak tajam pada sudut $2\theta = 25,9^\circ$, $32,04^\circ$, $32,98^\circ$, dan 34° , yang sesuai dengan bidang kristal (002), (211), (300), dan (202) dari hidroksiapatit berdasarkan JCPDS No. 09-0432. Keberadaan puncak-puncak ini menandakan bahwa struktur kristalin HAP tetap stabil setelah dikompositkan dengan urea, menunjukkan bahwa proses sintesis tidak merusak fasa HAP kristalin.

Sementara itu, puncak difraksi khas urea pada $2\theta \approx 22^\circ$ masih terdeteksi, namun intensitasnya menurun. Hal ini mengindikasikan adanya interaksi antara molekul urea dan permukaan HAP, seperti ikatan hidrogen atau interaksi ionik, yang menyebabkan penurunan keteraturan struktur kristal urea. Perubahan ini menunjukkan bahwa urea tidak hanya

tercampur secara fisik, tetapi telah terintegrasi ke dalam matriks HAP, sehingga mendukung pembentukan sistem hibrida yang dapat memperlambat pelepasan nitrogen dalam aplikasi pupuk (Tarafder et al., 2020).

C. Kajian Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Yashu *et al* (2019) tentang sintesis pupuk lepas lambat dengan memadukan alginat dan urea menunjukkan bahwa pelepasan interaksi dan efek efisiensi pelepasan pada alginate 1% terbukti mampu menahan urea dan menghasilkan efisiensi pelepasan mencapai 54,58%, dimana alginat tersebut sebagai bahan yang efektif dalam kemampuan pelepasan nitrogen yang lebih baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Kottegoda (2017) tentang pupuk lepas lambat urea-hidroksiapatit (HA) dengan hasil spektrum FTIR menunjukkan bahwa ikatan N dan H dalam nanohibrida urea-hidroksiapatit berubah dibandingkan dengan urea murni. Ikatan urea dengan hidroksiapatit melalui lingkungan N-H juga tercermin sebagai pergeseran dalam peregangan N-C-N dan daerah C-O. Dalam uji pelepasan air, pelepasan urea murni lebih cepat (0,91 g dari 0,92 g atau 99% N dalam urea) terlihat

dalam 320 detik pertama paparan air. Di sisi lain, pelepasan N yang sangat lambat dan berkelanjutan diamati untuk nanohibrida urea-HA 6:1. Pengukuran ini menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu 3820 detik untuk melepaskan 86% (atau 0,79 g) N dalam urea dalam nanohibrida urea-HA 6:1. Sisa 0,13 g (14%) urea dalam nanohibrida dilepaskan selama periode waktu yang jauh lebih lama hingga 1 minggu. Untuk nanohibrida urea-HA, laju pelepasan N 12 kali lebih lambat dibandingkan dengan urea murni, yang mengonfirmasi penerapan nanohibrida urea-HA sebagai sumber N pelepasan lambat untuk aplikasi pertanian.

Penelitian yang dilakukan oleh Hadi, *et al.* (2019) tentang sintesis dan karakterisasi urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 yang dipakai yaitu 6 g, 8 g, 10 g, dan 10 g. Pupuk lepas lambat menunjukkan hasil bahwa variasi Ca(OH)_2 sebanyak 8 g menunjukkan performa pelepasan lambat yang paling optimal dibandingkan variasi lainnya. Hal ini dapat dilihat dari beberapa parameter yang menunjukkan karakteristik unggul. Pada sampel dengan 8 g Ca(OH)_2 , peneliti berhasil menghasilkan endapan serbuk sebanyak 43,0 g dengan komposisi nitrogen yang signifikan sebesar 35,7 Wt%. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX)

mengonfirmasi pembungkusan urea yang sangat baik, yang mengindikasikan mekanisme pelepasan nitrogen yang terkontrol. Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) menunjukkan ikatan urea yang lebih stabil dibandingkan variasi lain, yang mengimplikasikan kemampuan pelepasan nutrisi secara lebih lambat dan berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Elhassani (2019) tentang pupuk lepas lambat dengan memadukan hidroksiapatit, lignoselulosa, dan urea menunjukkan hasil bahwa HAP yang dimodifikasi urea yang dienkapsulasi oleh ampas tebu, selulosa, dan komposit lignin menunjukkan pelepasan nitrogen yang lambat dan berkelanjutan dibandingkan dengan HAP yang dimodifikasi urea selama periode 60 hari. Selain itu, ditunjukkan bahwa sifat dan suhu kalsinasi dari penyangga serta struktur mikro bahan enkapsulasi merupakan faktor utama yang memengaruhi laju pelepasan urea.

Penelitian yang dilakukan oleh Gunaratne (2016) tentang pupuk lepas lambat nanokomposit nutrisi tanaman berlapis hidroksiapatit-urea menunjukkan bahwa pupuk lepas lambat yang paling baik adalah nanokomposit U-HA-MMT (montmorillonit). Pupuk ini menunjukkan perilaku pelepasan nitrogen (N) yang terkendali dan lambat, yang disebabkan oleh interaksi elektrostatis dan

efek sterik yang mengurangi kelarutan urea. Hal ini memungkinkan sinkronisasi antara permintaan dan serapan N oleh tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Dengan demikian, nanokomposit U-HA-MMT tidak hanya memberikan pelepasan N yang lambat dan terkendali, tetapi juga mendukung keseimbangan nutrisi yang penting bagi pertumbuhan tanaman.

Penelitian yang dilakukan oleh Suci dan Astar (2022) tentang melakukan enkapsulasi pupuk urea dengan penyalut berupa zeolit, alginat, dan pati sagu dengan perbandingan 2:1:1 menunjukkan hasil bahwa urea yang terlapis oleh biokomposit zeolit-alginat-pati sagu dengan konsentrasi urea 20% memiliki kemampuan dalam menahan pelepasan nitrogen yang lebih baik.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini pembaharuannya yaitu penggabungan antara alginat dan hidroksiapatit untuk bahan pupuk lepas lambat nitrogen.

D. Hipotesis

Alginat memiliki kemampuan membentuk gel yang dapat menahan urea di dalam struktur matriks dan memperlambat pelepasannya. Namun, bahan ini memiliki kelemahan yaitu kekuatan mekaniknya yang rendah dan

dapat mengalami degradasi lebih cepat dalam media air. Sehingga penambahan HAp dalam *beads* alginat-urea diharapkan sistem pelepas lambat urea dapat menjadi lebih stabil serta pelepasan urea dapat ditahan lebih lama karena hidroksiapatit memiliki struktur kristal stabil serta mengandung gugus fosfat dan hidroksil yang mampu berinteraksi dengan urea, serta memiliki luas permukaan yang tinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Januari hingga Juni 2025. Kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, yang digunakan untuk proses awal seperti sintesis beads hidroksiapatit-alginat-urea serta uji pelepasan lambat. Sementara itu, proses karakterisasi dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, dan di Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan untuk penelitian ini diantaranya, gelas ukur, labu ukur, gelas beker, kaca arloji, erlenmeyer, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, cawan porseline, pipet tetes, oven, *syringe*, neraca analitik, dan ayakan 100 *mesh*. Adapun instrumen yang digunakan adalah sebagai berikut: spektrofotometer UV-Vis (Orion Aquamate 8000), *X-ray diffraction* (XRD)

(*Panalytical X'pert 3 Powder*), dan spektrofotometer *Fourrier Transform Infra Red* (FTIR, Alpha II bruker).

2. Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini diantaranya pupuk urea komersial dari toko pertanian, dan bahan-bahan kimia dari produksi Merck yaitu alginat, akuades, asam klorida (HCl) 0,1M, Etanol (C_2H_6O), p-dimethylaminobenzaldehyde (p-DAB), kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$), asam fosfat (H_3PO_4) 0,67 M (PA), kalsium klorida ($CaCl_2$) 1% dan alginat dari sigma alderich.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Hidroksiapatit

Sebanyak 8 g $Ca(OH)_2$ dilarutkan ke dalam 100 mL akuades. Kemudian campuran tersebut diaduk selama 45 menit menggunakan pengaduk magnetik hingga tercapai keadaan homogen. Setelah larutan mencapai kondisi yang seragam, larutan H_3PO_4 0,67 M sebanyak 100 mL ditambahkan secara bertahap ke dalam larutan $Ca(OH)_2$. Proses penambahan dilakukan secara perlahan dengan cara meneteskan larutan sambil terus dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah seluruh larutan H_3PO_4 ditambahkan, campuran didiamkan selama 24 jam.

Setelah itu campuran hasil reaksi dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu 105°C, selama 6 jam (Hadi, 2019). Setelah proses pengeringan, karakterisasi senyawa hasil sintesis dilakukan menggunakan metode FTIR dan XRD untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan struktur kristal dari produk yang diperoleh.

2. Pembuatan *Beads* Urea-Alginat (UA) dan Urea-Hidroksiapatit-Alginat (UHA)

Larutan alginat dibuat dengan melarutkan 0,75 g natrium alginat ke dalam 25 mL air akuades, kemudian diaduk menggunakan stirrer selama 30 menit hingga homogen. Selanjutnya, larutan urea dan hidroksiapatit disiapkan dengan dua variasi komposisi. Pada sampel pertama, 0,6 g urea dilarutkan tanpa penambahan hidroksiapatit. Sedangkan pada sampel kedua, campuran terdiri dari 0,6 g urea dan 2,25 g hidroksiapatit. Masing-masing campuran dilarutkan dalam 25 mL akuades dan diaduk selama 1 jam hingga seluruh padatan terdispersi dengan baik. Setelah kedua larutan siap, larutan alginat ditambahkan ke dalam larutan urea-hidroksiapatit, lalu diaduk kembali

selama 2 jam guna memastikan pencampuran yang merata (warastuti, 2013).

Tahap selanjutnya adalah pembentukan *beads* dengan cara meneteskan campuran hidroksiapatit-alginat-urea yang telah homogen ke dalam larutan CaCl_2 2% menggunakan *syringe*. Proses penetesan ini akan menghasilkan butiran-butiran berbentuk *beads*. Setelah itu di diamkan selama 24 jam. Kemudian *beads* yang terbentuk disaring dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam (Wulan *et al.*, 2017). Kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD.

3. Pengujian Lepas Lambat Urea Murni, *Beads* urea-alginat, *Beads* Urea-Hidroksiapatit-Alginat

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Sebanyak 1 gram p-DAB dilarutkan dalam 10 mL HCl 0,1 M dan 50 mL etanol 96%, kemudian larutan diaduk hingga tercampur secara homogen. Larutan standar nitrogen dengan konsentrasi 500 mg/L disiapkan dengan melarutkan 0,2765 g urea ke dalam 250 mL akuades. Sebanyak 4 mL larutan urea standar 500 mg/L diambil dan dicampurkan dengan 6 mL larutan pengompleks dalam labu ukur 10 mL. Larutan blanko disiapkan dengan mencampurkan 4 mL air

suling dengan 6 mL larutan pegompleks dalam labu ukur yang sama. Setiap larutan didiamkan selama 1 jam agar proses pembentukan kompleks berlangsung secara sempurna. Selanjutnya, absorbansi larutan diukur pada rentang panjang gelombang 400–500 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan panjang gelombang maksimum (λ maks) ditentukan (Azizati, 2017).

b. Pembuatan Larutan Standar

Analisis kurva standar diawali dengan larutan induk urea 500 mg/L disiapkan melalui pelarutan 0,2765 g urea murni dalam akuades dalam labu ukur 250 ml, kemudian larutan diencerkan menjadi 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 mg/L. Konsentrasi larutan standar masing-masing diambil 4mL dan ditambahkan larutan pengompleks sebanyak 6 mL, sehingga menghasilkan konsentrasi menjadi 80, 100, 120, 140, 160, dan 200 mg/L. Masing-masing larutan didiamkan selama 1 jam agar reaksi pengompleksan sempurna. Absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang 400-500 nm dengan spektrofotometer UV-Vis dan ditentukan λ maksimumnya (Azizati, 2017).

c. Penentuan Kadar Urea Terloading dalam Sampel

Pupuk urea, *beads* UA dan *beads* UHA masing-masing diambil 0,25 g dan digerus, serta dilarutkan ke dalam 50 mL aquades, lalu didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, sebanyak 4 mL larutan diambil dan dicampurkan dengan 6 mL larutan p-DAB untuk dianalisis kandungan nitrogen. Konsentrasi nitrogen dalam pupuk urea lepas lambat tersebut dihitung berdasarkan nilai absorbansi yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (Xia *et al.*, 2020).

d. Uji Lepas Lambat Urea, *Beads* Urea-Alginat (UA), *Beads* Hidroksiapatit-Alginat-Urea (UHA)

Sebanyak 0,25 g sampel urea, *beads* UA, dan *beads* UHA direndam dalam 50 mL akuades. Pengambilan larutan sebanyak 4 mL dilakukan pada interval waktu tertentu, yaitu pada menit ke-0, 5, 10, 15, 20, 30, 60, dan 90 (Al-Samarrai *et al.*, 2018). Larutan yang diambil kemudian dicampurkan dengan 6 mL larutan p-DAB untuk menganalisis konsentrasi urea dalam pupuk urea lepas lambat dengan cara mengukur nilai absorbansi

menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (Xia *et al.*, 2020).

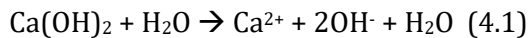
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

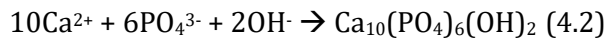
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan pelepasan lambat nitrogen pada pupuk lepas lambat. Pembuatan Pupuk lepas lambat pada penelitian ini meliputi pembuatan *beads* urea-alginat dan *beads* urea-hidroksiapatit-alginat. Pupuk lepas lambat nitrogen dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, serta uji lepas lambat dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis.

A. Preparasi Hidroksiapatit (HAp)

Hidroksiapatit diperoleh melalui sintesis menggunakan metode presipitasi yang dilakukan sesuai dengan penelitian Hadi, *et al.* (2019) yaitu menggunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan H_3PO_4 . Sintesis dimulai dengan melarutkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam akuades sambil diaduk selama 45 menit untuk menghasilkan campuran yang homogen. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ digunakan sebagai sumber kalsium atau prekursor dalam pembuatan hidroksiapatit (Taji, *et al.*, 2022). Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 4.1.



Kemudian kalsium hidroksida yang terbentuk direaksikan dengan larutan H_3PO_4 sebagai sumber fosfat. Penambahan H_3PO_4 dilakukan dengan diteteskan dalam larutan kalsium hidroksida secara perlahan disertai dengan pengadukan terus-menerus agar dapat menghasilkan endapan-endapan berbentuk gel (Santhosh dan Balasivanandha, 2013). Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan 4.2.

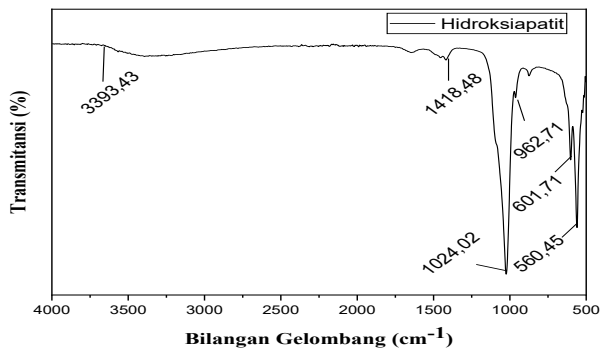


Larutan campuran $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan H_3PO_4 kemudian didiamkan selama 24 jam agar mendapatkan endapan yang lebih sempurna pada ikatan antara kalsium dan fosfat. Larutan yang telah didiamkan menghasilkan suspensi yang membentuk dua fase yaitu supernatan jernih di atas dan endapan HAp halus di bawah. Hal tersebut menunjukkan bahwa presipitasi telah mencapai keseimbangan dan partikel yang terbentuk mampu mengendap secara stabil. Selanjutnya, dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 105°C sehingga didapatkan hidroksiapatit kering. Foto hasil sintesis dari HAp disajikan pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Sintesis Hidroksiapatit

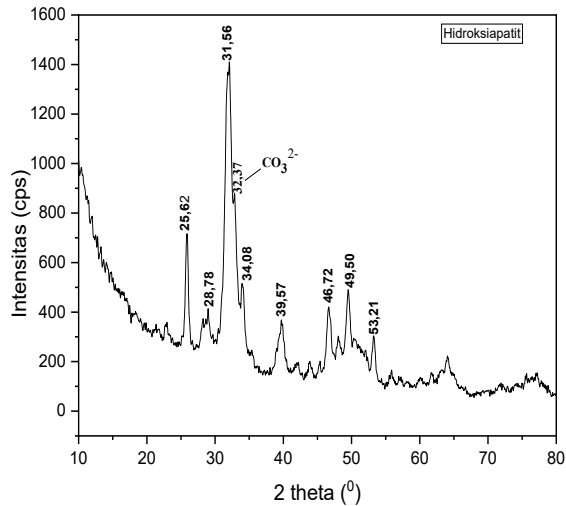
Hidroksiapatit yang didapatkan pada HAp preparasi berupa serbuk putih. Identifikasi gugus fungsi pada hidroksiapatit dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR dalam rentang bilangan gelombang $4000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ untuk mengetahui jenis ikatan serta vibrasi gugus fungsional yang terdapat pada sampel hidroksiapatit, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Spektrum FTIR Hidroksiapatit

Berdasarkan spektrum FTIR hidroksiapatit yang dihasilkan memperlihatkan pita serapan lebar pada $3393,43\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi regangan dari gugus hidroksil (-OH) yang berasal dari gugus hidroksida dalam struktur HAP. Selanjutnya terdeteksi pita serapan $1418,48\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan gugus karbonat (CO_3^{2-}) yang termasuk dalam vibrasi regangan asimetris C-O yang dapat mengindikasikan adanya substitusi parsial dalam HAP atau kontaminasi dari udara selama proses sintesis.

Puncak utama yang mengindikasikan keberadaan gugus fosfat (PO_4^{3-}) terdeteksi kuat pada pita serapan $1024,02\text{ cm}^{-1}$, $962,71\text{ cm}^{-1}$, serta pada $601,71\text{ cm}^{-1}$ dan $560,45\text{ cm}^{-1}$. Masing-masing berturut-turut dikaitkan dengan vibrasi ulur simetris dan ulur asimetris serta tekuk asimetris dari gugus P-O dalam struktur fosfat. Puncak-puncak tersebut merupakan indikator khas dari fase HAP kristalin (Dorozhkin, 2016). Spektrum yang dihasilkan di atas, dapat disimpulkan bahwa material yang disintesis memiliki karakteristik yang sesuai dengan gugus-gugus utama penyusun struktur hidroksiapatit. Hasil ini mengindikasikan keberhasilan proses sintesis dalam membentuk hidroksiapatit dengan kemurnian dan struktur yang baik.



Gambar 4. 3 Difaktogram Sinar-X Hidroksiapatit

Berdasarkan hasil analisis difraksi sinar-X yang ditampilkan pada Gambar 4.3, pola difraksi menunjukkan keberadaan puncak-puncak tajam pada sudut 2θ yaitu $25,62^\circ$, $28,78^\circ$; $31,56^\circ$; $34,08^\circ$; $39,57^\circ$; $46,72^\circ$; $49,50^\circ$; dan $53,21^\circ$ dengan indeks miller masing-masing [002], [102], [300], [211], [222], [213], dan [004] yang mengindikasikan bahwa sampel hidroksiapatit dalam fase kristalin (Liu, et al., 2018). Puncak paling dominan terletak pada $2\theta = 31,56^\circ$ dengan indeks miller [211] yang menandakan hidroksiapatit murni dengan intensitas tinggi. Keberadaan puncak-puncak difraksi ini sesuai dengan standar JCPDS

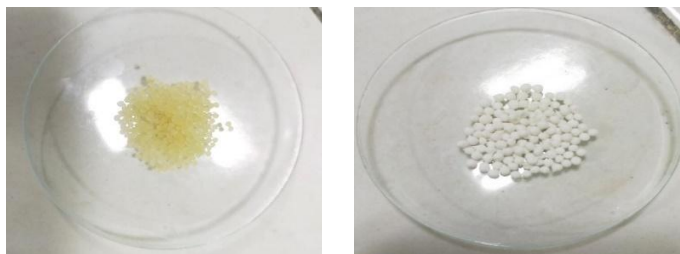
No. 09-0423 (Kojima, 2019). Sementara itu, pada sudut difraksi $32,37^\circ$ menunjukkan keberadaan CO_3^{2-} yang didasarkan pada JCPDS No. 01-076-2378.

B. Pembuatan *Beads* Pupuk Lepas Lambat Urea

Sintesis pupuk urea lepas lambat dilakukan dengan membuat dua jenis sampel, yaitu: pertama, sampel urea-alginat yang disiapkan dengan mencampurkan 0,75 g alginat dan 0,6 g urea; dan kedua, sampel urea-hidroksiapatit-alginat yang dibuat dengan mencampurkan 0,75 g alginat, 2,25 g hidroksiapatit, dan 0,6 g urea. Penambahan hidroksiapatit dilakukan karena senyawa ini mampu mengikat molekul urea agar tidak mudah tercuci atau menguap dari tanah, sehingga dapat mengurangi kehilangan nitrogen (Kottegoda *et al.*, 2017). Sementara itu, alginat digunakan sebagai bahan pelapis yang bersifat biodegradable dan berfungsi untuk mengontrol pelepasan nitrogen secara bertahap (wilawan *et al.*, 2021). Pembuatan kedua jenis *beads* tersebut bertujuan untuk membandingkan karakteristik dalam *beads* pupuk lepas lambat, sehingga dapat meningkatkan kinerja pelepasan nitrogen.

Kemudian kedua larutan sampel diteteskan ke dalam CaCl_2 menggunakan syringe. Larutan CaCl_2 pada sintesis *beads* pupuk lepas lambat berfungsi sebagai agen

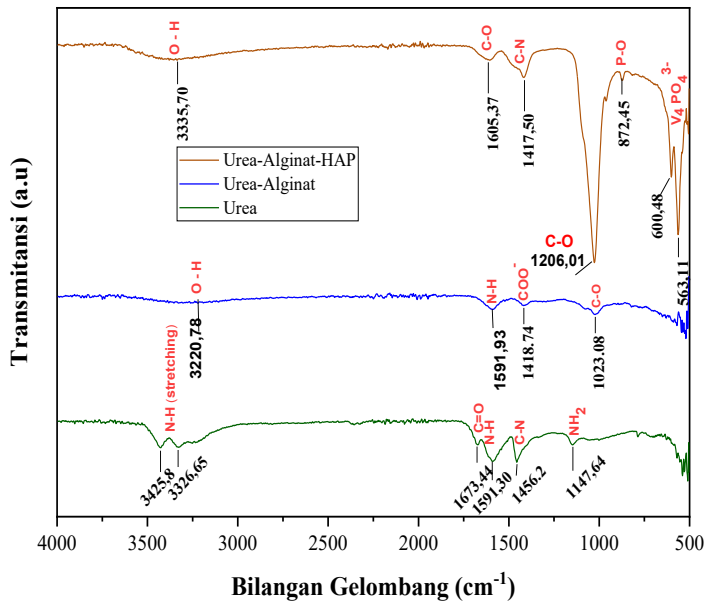
crosslinking yang mengikat silang polimer alginat untuk membentuk struktur *beads* yang stabil. *Beads* terbentuk setelah penambahan tetes demi tetes larutan sampel ke dalam larutan CaCl_2 , karena ikatan silang ionik antara ion karboksilat ($-\text{COO}^-$) pada alginat yang dihubungkan oleh Ca^{2+} (Lawrencia, 2021). Larutan yang telah diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 kemudian direndam selama 24 jam dengan tujuan untuk memaksimalkan proses ikatan silang yang terbentuk. *Beads* yang dihasilkan kemudian dicuci menggunakan aquades agar dapat menghilangkan sisa kalsium klorida yang menempel di permukaannya. Selanjutnya, *beads* dikeringkan dengan suhu 60°C selama 24 jam. *Beads* yang sudah kering ditandai dengan ukuran *beads* yang semakin menyusut. *Beads* UA dan *beads* UHA yang dihasilkan disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 *Beads* Pupuk Lepas lambat (a) UA (b) UHA

Hasil sintesis pupuk lepas lambat urea menunjukkan perbedaan warna seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan gambar, beads UA terlihat

berwana kuning sedangkan beads UHA menunjukkan warna putih. Perbedaan warna tersebut disebabkan oleh komposisi material penyusun pupuk lepas lambat, dimana pada beads UA tidak ada penambahan material HAp. Hasil kedua sintesis tersebut dilakukan karakterisasi gugus fungsi dengan menggunakan FTIR dan disajikan pada Gambar 4.4. dan Tabel 4.1



Gambar 4. 5 Spektrum FTIR pupuk urea, *beads* UA, *beads* UHA

Tabel 4. 1 Interpretasi hasil uji FTIR Urea, UA, dan UHA

Gugus	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Rentang (cm ⁻¹)	Urea	UA	UHA
N-H (stretching)	3100-3500 ^(a)	3428,8; 3326,6 5	-	-
OH (stretching)	3200-3600 ^(a)	-	3220,78	3335,70
C=O (amida)	1600-1680 ^(b)	1673,4 4	-	-
N-H (bending)	1390-1521 ^(c)	1591,3 0	1591,93	1605,37
C-N (stretching)	1350-1550 ^(d)	1456,2	-	-
NH ₂ (rocking)	1100-1300 ^(c)	1147,6 4	-	-
C-O (eter)	1000-1300 ^(b)	-	1023,08	1206,01

Gugus	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Rentang (cm ⁻¹)	Urea	UA	UHA
COO ⁻ (asimetris)	1591-1625 ^(e)	-	-	-
COO ⁻ (simeris)	1397-1440 ^(e)	-	1418,74	1417,50
P-O (asimetris)	873-874 ^(f)	-		872,45
PO ₄ ³⁻ (simetris)	500-600 ^(f)	-		600,48; 563,11
(a) (Astar & Suci, 2020) (b) (Wulandari et al., 2024) (c) (Timon et al., 2010) (d) (Manivannan & Rajendran, 2011) (e) (Fuzlin & Samsudin, 2021) (f) (Khee & Nonni, 2020)				

Spektrum FTIR yang disajikan pada Gambar 4.5 menunjukkan puncak-puncak khas dari urea murni, *beads* UA, dan *beads* UHA. Pada spektrum urea, tampak

serapan khas dari peregangan gugus N-H *stretching* yang muncul pada bilangan gelombang $3425,8\text{ cm}^{-1}$ dan $3326,65\text{ cm}^{-1}$. Puncak tersebut mengindikasikan keberadaan gugus amino primer (NH_2) dalam struktur molekul urea, yang merupakan ciri utama dari senyawa tersebut (Rajendran & Palaniswamy, 2019). Munculnya dua puncak tersebut disebabkan oleh geteran peregangan vibrasi *stretching* asimetris dan simetris dari gugus NH_2 .

Serapan gugus C=O yang terdeteksi pada panjang gelombang $1673,44\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan karbonil, dimana nilai ini sangat sesuai dengan yang dilaporkan dalam literatur, dimana puncak C=O *stretching* urea umumnya muncul pada rentang $1600\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ (Wulandari *et al*, 2024). Serapan N-H bending yang teramati pada $1591,3\text{ cm}^{-1}$ merupakan karakteristik deformasi dalam bidang dari gugus NH_2 . Puncak C-N *stretching* pada $1456,27\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan karbon-nitrogen dalam struktur molekul urea, sedangkan pada bilangan gelombang $1147,64\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi adanya NH_2 (*rocking*).

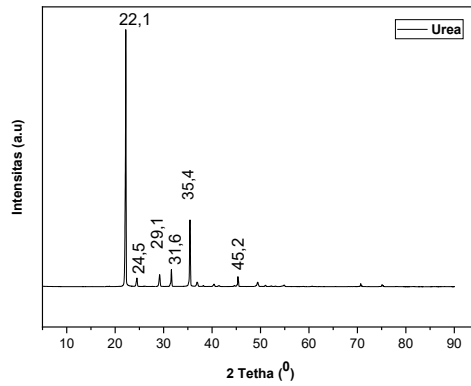
Pada spektrum *beads* UA dan UHA terdapat serapan pada kisaran bilangan gelombang $3200\text{--}3600$

cm^{-1} yaitu 3220,78 dan 3335,70 cm^{-1} , kedua serapan mengindikasikan serapan gugus O-H yang berasal dari natrium alginat (Astar & Suci, 2020). Pita serapan gugus O-H pada *beads* UHA terlihat bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi dibandingkan *beads* UA. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan hidroksiapatit dapat melemahkan ikatan hidrogen.

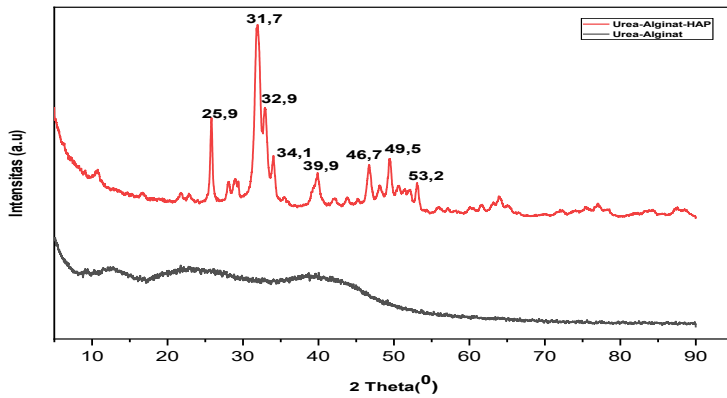
Selain gugus O-H, keberadaan natrium alginat dalam *beads* UA dan UHA teridentifikasi melalui serapan pada bilangan gelombang 1418,74 cm^{-1} dan 1417,50 cm^{-1} yang merupakan karakteristik dari COO⁻ simetris. Pada *beads* UA dan UHA juga terdeteksi serapan pada bilangan gelombang 1023,08 cm^{-1} dan 1026,01 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya ikatan C-O dari gugus eter. Selain itu, penambahan urea dalam *beads* terkonfirmasi oleh spektrum FTIR yang terlihat pada rentang bilangan gelombang 1550-1640 cm^{-1} yang mengindikasikan terdapatnya vibrasi N-H bending (Sastrohamidjojo, 2013), dimana untuk *beads* UA pada bilangan gelombang 1591,93 cm^{-1} dan *beads* UHA dengan bilangan gelombang 1605,37 cm^{-1} . Bilangan gelombang dari vibrasi N-H bending menunjukkan pergeseran ke arah lebih tinggi pada *beads* UHA yang disebabkan oleh adanya penambahan

hidroksiapatit sehingga terbentuk interaksi baru gugus N-H dengan gugus polar pada hidroksiapatit sehingga vibrasi N-H menjadi kuat.

Keberadaan hidroksiapatit pada *beads* UHA ditandai dengan munculnya gugus P-O asimetris pada rentang bilangan 873-874 cm^{-1} (Khee & Nonni, 2020). Spektrum *beads* UHA menunjukkan vibrasi gugus P-O asimetris pada bilangan gelombang 872,45 cm^{-1} . Selain itu munculnya pita pada 600,48 cm^{-1} dan 563,11 cm^{-1} merupakan pita khas vibrasi tekuk gugus fosfat (PO_4^{3-}) yang berasal dari hidroksiapatit. Keberadaan puncak ini menunjukkan bahwa HAP berhasil terintegrasi dalam matriks polimer. Temuan ini sesuai dengan penelitian Siregar *et al.* (2014) yang melaporkan bahwa spektrum FTIR HAP menunjukkan pita-pita khas pada bilangan gelombang tersebut sebagai ciri keberadaan gugus fosfat. Uji kristalinitas *beads* UA dan *beads* UHA dianalisis menggunakan instrumensi XRD. Hasil difaktogram sinar-X ditunjukkan pada Gambar 4.6



(a)



(b)

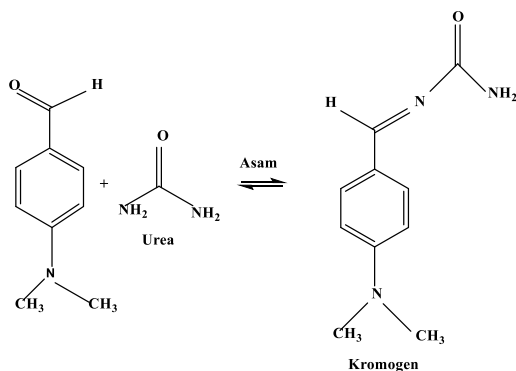
Gambar 4. 6 Difaktogram XRD (a) Urea (b) *beads UA* dan *beads UHA*

Berdasarkan hasil uji XRD, pola difaktogram urea murni menunjukkan puncak-puncak tajam pada $2\theta = 22,1^\circ$,

24,5⁰, 29,1⁰, 31,6⁰, 35,4⁰, dan 45,2⁰ yang sesuai dengan struktur kristalin tetragonal urea (JCPDS No. 01-083-1436) yang menandakan sifat kristalinitas tinggi (Chen *et al.*, 2020). Setelah dikompositkan dengan alginat, intensitas puncak-puncak tersebut menurun secara signifikan dan pola XRD menunjukkan bentuk gundukan lebar yang mengindikasikan bahwa struktur urea mengalami penurunan kristalinitas dan dominasi fase amorf. Hal ini disebabkan oleh adanya interaksi antara gugus karboksilat (-COO-) pada rantai polimer alginat dengan gugus polar pada molekul urea melalui ikatan hidrogen atau interaksi ionik. Interaksi tersebut menyebabkan gangguan pada keteraturan kisi kristal urea sehingga urea mengalami transisi parsial ke fase amorf saat terdispersi dalam matriks alginat (Fahmi *et al.*, 2020). Berdasarkan penelitian Hussein (2022) menyatakan bahwa alginat cenderung menunjukkan sifat semi-kristalin atau amorf karena struktur rantai polimer yang fleksibel dan tidak beraturan.

Pola hasil XRD *beads* UHA, muncul puncak-puncak tajam pada $2\theta = 25,90, 31,70, 32,90, 34,10, 39,80$, dan $46,70$ yang merupakan karakteristik dari kristal hidroksiapatit (JCPDS No. 09-0432), sesuai bidang kristal (002), (211), (300), dan (202). Hal ini mengonfirmasi

Kandungan urea dalam sampel dianalisis terlebih dahulu sebelum pengujian lepas lambat beads, sehingga dapat diketahui seberapa banyak nitrogen yang terkandung dalam *beads*. Pengukuran nitrogen pada *beads* dilakukan dengan pengukuran absorbansi larutan sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Penentuan absorbansi larutan dapat dilakukan dengan mereaksikan sampel menggunakan agen pengompleks p-Dimetilaminobenzaldehida (p-DAB). p-DAB dapat membentuk senyawa berwarna kuning sebagai respons terhadap keberadaan nitrogen dalam larutan. Proses tersebut terjadi reaksi antara p-DAB dan urea dapat dilihat pada Gambar 4.7

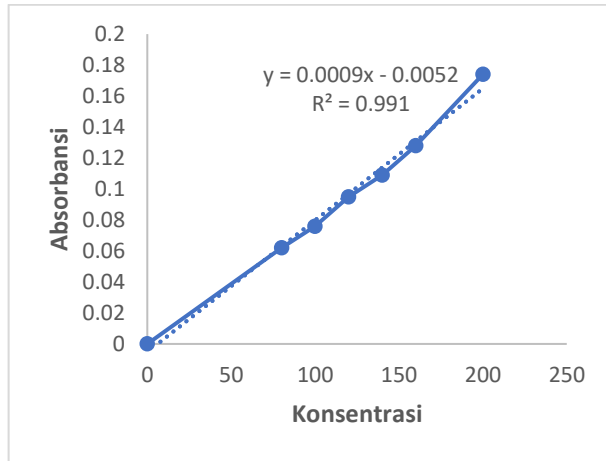


Gambar 4. 7 Reaksi p-DAB dengan urea

Terbentuknya senyawa kromogen ditandai dengan munculnya warna kuning yang dapat terdeteksi melalui pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Reaksi antara p-DAB dan urea dalam medium air berlangsung melalui mekanisme kondensasi yang dipengaruhi oleh kondisi asam. Kondisi asam tersebut, gugus dimetilamino pada p-DAB terprotonasi sehingga gugus karbonil mengalami defisiensi muatan dan menjadi lebih rentan terhadap serangan nukloefilik dari molekul urea (Giraldo *et al.*, 2017).

Sebelum analisis terhadap kandungan urea yang ada dalam sampel, dilakukan pembuatan kurva standar terlebih dahulu. Analisis kurva standar diawali dengan pembuatan larutan induk urea sebesar 500 mg/L dibuat dari pelarutan 0,2765 g pupuk urea dengan akuades dalam labu ukur 250 mL. Langkah ini bertujuan untuk memperoleh larutan dengan konsentrasi pasti sebagai standar utama. Selanjutnya, larutan induk diencerkan menjadi beberapa konsentrasi standar, yaitu 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 mg/L, agar menghasilkan rentang konsentrasi yang representatif untuk kurva standar. Masing-masing larutan standar tersebut, diambil 4 mL dan ditambahkan larutan pengompleks p-DAB sebanyak 6 mL, sehingga konsentrasi larutan standar urea menjadi 80, 100,

120, 140, 160, 200 ppm. Penambahan larutan pengompleks bertujuan untuk membentuk senyawa kompleks berwarna yang dapat dideteksi secara spektrofotometrik. Campuran larutan didiamkan selama 1 jam agar reaksi pengompleksan berlangsung secara sempurna dan stabil. Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400–500 nm untuk menentukan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}), yang merupakan panjang gelombang di mana absorbansi kompleks berada pada titik tertinggi. Berdasarkan hasil pengukuran terhadap larutan induk urea 500 mg/L, diperoleh panjang gelombang maksimum sebesar 420 nm. Nilai λ_{maks} ini kemudian digunakan dalam pengukuran absorbansi larutan standar lainnya. Hasil absorbansi pada λ_{maks} kemudian diplot terhadap konsentrasi untuk membentuk kurva standar, yang digunakan sebagai acuan dalam penentuan kadar urea pada sampel. Kurva standar urea ditunjukkan pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Kurva standar urea

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan sebanding dengan kenaikan nilai absorbansi yang dihasilkan. Hasil regresi linear dari kurva standar larutan urea menunjukkan persamaan garis $y = 0,0009x - 0,0052$ dan nilai koefisien korelasi (R^2) = 0,991. Berdasarkan kurva standar urea tersebut, maka persamaan linier yang dihasilkan digunakan untuk menghitung konsentrasi urea dalam beads.

Beads yang telah terbentuk diuji kandungan ureanya dengan cara melarutkan 0,25 g dari masing-masing sampel ke dalam 50 mL akuades dan direndam selama 24 jam agar semua kandungan urea yang terloading dapat larut sempurna dan terindikasi ketika di uji UV-Vis. Setelah itu, larutan dari setiap sampel yang diperoleh

dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai kandungan urea yang terloading dapat diketahui dengan memasukkan nilai absorbansi yang diperoleh ke dalam persamaan regresi linear. Hasil kandungan urea yang terloading disajikan dalam Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Kandungan urea terloading pada sampel

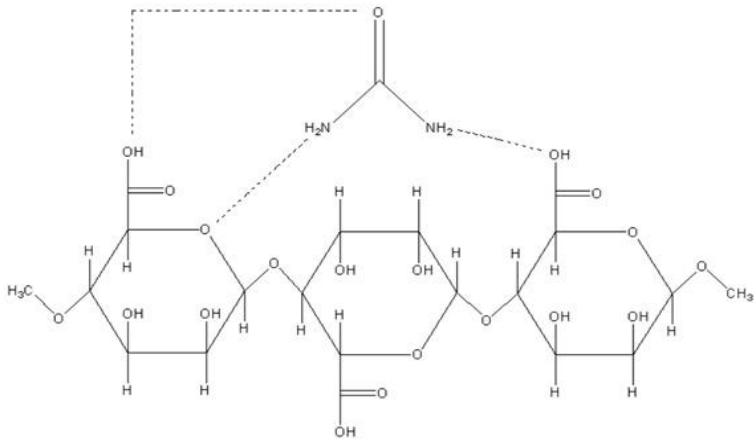
No.	Sampel	Kadar Urea (mg)	Kadar Urea (%)
1	Urea Murni	168,92	67,57
2	UH	35,17	14,07
3	UHA	39,47	15,79

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 terlihat bahwa terdapat perbedaan signifikan jumlah urea yang terloading pada ketiga sampel yang diuji. Sampel urea murni menunjukkan nilai tertinggi sebesar 67,57% (168,92 mg), sementara UA hanya mampu mengikat 14,07% (35,17 mg) dan UHA memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan urea- alginat yaitu 15,79% (39,47 mg).

Tingginya nilai urea terloading pada urea murni karena tidak adanya bahan pengikat atau matriks penahan, sehingga seluruh massa urea dalam sampel dapat langsung dihitung sebagai nitrogen aktif. Artinya, seluruh bobot yang

ditimbang hanya terdiri dari urea, tanpa adanya campuran bahan pembawa atau polimer pengikat.

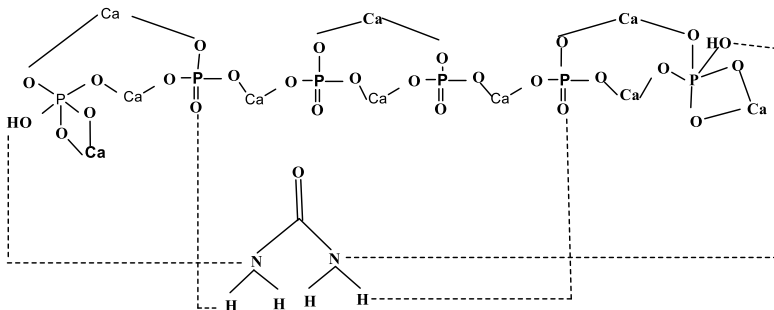
Sebaliknya, rendahnya kadar urea yang terikat dalam sampel UA dan UHA dikarenakan adanya penambahan matriks dan mineral HAp yang berfungsi sebagai bahan pembawa dalam formulasi pupuk lepas lambat. Kandungan nitrogen pada UH lebih rendah dibandingkan dengan UHA karena pada sistem urea-alginat saja, molekul urea lebih banyak terperangkap dalam jaringan polimer yang rapat dan hidrofilik, sehingga lebih sedikit yang terloading. Disamping itu, alginat dan urea dapat bereaksi melalui ikatan hidrogen dari gugus karboksilat dan hidroksil dari alginat dengan gugus amina dari urea. Alginat adalah biopolimer yang dapat membentuk gel dalam kondisi ionik dan hanya sebagian kecil dari pori-pori gel yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi atau menjebak molekul urea di dalamnya (Fadillah *et al*, 2020). Ikatan hidrogen antara urea dan alginat dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Ikatan hidrogen Urea-alginate

Meskipun demikian pada formulasi UHA terlihat adanya peningkatan sedikit dalam kemampuan pengikatan urea dibandingkan urea saja. Hal ini mengindikasikan bahwa hidroksiapatit memiliki kemampuan adsorptif terhadap urea, melalui interaksi antara gugus fosfat (PO_4^{2-}) dan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) pada permukaan HAP dengan gugus amina ($-\text{NH}_2$) pada molekul urea. Interaksi ini membentuk kompleks adsorpsi ringan atau ikatan hidrogen yang membantu meningkatkan jumlah urea yang dapat ditahan dalam struktur *beads* (Wulandari *et al.*, 2021). Sementara itu, menurut Ramdhani *et al.* (2020), hidroksiapatit memiliki struktur pori nano yang cukup besar dan area permukaan luas, sehingga cocok digunakan sebagai bahan penyerap senyawa-senyawa kecil seperti

urea. Hal ini, adanya keberadaan kandungan hidroksiapatit, maka urea yang terloading dalam beads akan tinggi sehingga berperan dalam mengikat urea lebih banyak. Interaksi yang terjadi antara urea dan hidroksiapatit ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Ikatan hidrogen HAP dan urea

D. Pengujian Lepas Lambat Urea, *Beads* Urea-Alginat dan *Beads* Urea-hidroksiapatit-alginat

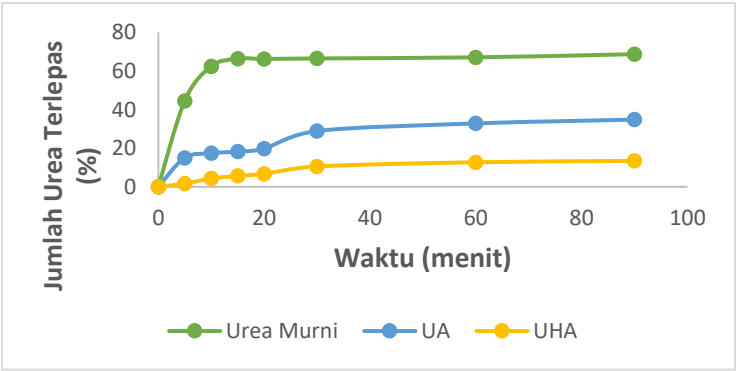
Pengujian lepas lambat masing-masing sampel ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan dalam mengontrol lepas lambat urea dalam pupuk lepas lambat. Uji pelepasan pupuk *beads* UA dan *beads* UHA akan dibandingkan dengan uji pelepasan urea murni sebagai kontrol. Pengujian dilakukan dengan cara perendaman sampel masing-masing sebanyak 0,25 g ke dalam air. Perendaman sampel dilakukan dalam media air agar dapat

mengetahui potensi lepas lambat nitrogen dalam pupuk beads. Media yang digunakan dalam pengujian lepas lambat air karena air merupakan salah satu pengaruh hilangnya nitrogen dalam pupuk urea konvensional melalui proses pencucian (*leaching*) (Bortolin, 2013).

Proses pengujian dilakukan dengan cara larutan sampling diambil pada interval menit ke-5, 10, 15, 20, 30, 60, dan 90 menit. Rentang waktu tersebut dipilih karena menit-menit awal menunjukkan fase pelepasan yang tidak stabil dan dianggap sebagai taHAp paling krusial dalam proses pelepasan. Pelepasan nitrogen dari masing-masing *beads* dianalisis dengan mengukur nilai absorbansi larutan sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai absorbansi yang didapatkan akan digunakan untuk menghitung konsentrasi urea terlarut sebagai indikator laju pelepasan dalam *beads* dengan menggunakan kurva standar. Adapun hasil dari presentase dan profil release urea pada urea murni, *beads* urea-alginat, dan *beads* urea-alginat-HAP dalam pengujian lepas lambat dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.11

Tabel 4. 3 % urea release pada sampel

Waktu (menit)	% Urea Release		
	Urea Murni (%)	UA (%)	UHA (%)
0	0	0	0
5	44,58	15,06	1,7
10	62,43	17,40	4,31
15	66,45	18,25	5,7
20	66,24	19,82	6,76
30	66,52	28,92	10,56
60	67,07	32,84	12,72
90	68,71	34,83	13,43



Gambar 4. 11 Lepas lambat urea dalam media air

Berdasarkan hasil uji urea *release* yang ditunjukkan pada gambar 4.10 bahwa pelarutan urea murni berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan sampel urea dalam matriks urea-alginat dan urea-alginat-HAP yang terlihat dari tingginya persentase urea yang dilepaskan dalam waktu singkat. Pola pelepasan urea murni tidak menunjukkan adanya aktivitas pelepasan melambat. Pada menit ke-5 urea melepaskan sebesar 44,58%. Peningkatan waktu perendaman berbanding lurus dengan jumlah urea yang terlepas, hingga mencapai kondisi pelepasan yang konstan mulai menit ke-15, yang mengindikasikan bahwa proses pelarutan urea telah berlangsung secara menyeluruh. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya material penghambat yang membatasi kontak langsung antara urea dan air, sehingga menyebabkan urea larut sepenuhnya ke dalam media air dan proses hidrolisis memudahkan pelepasan nitrogen ke air.

Beads UA menunjukkan profil pelepasan yang lebih terkontrol dibandingkan dengan urea murni. Pelepasan dimulai dengan laju yang relatif lambat, mencapai sekitar 15% dalam 5 menit pertama, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 34,83% setelah 90 menit. Hasil ini sejalan dengan temuan yang dilaporkan oleh Suci dan Astar (2022), yang menunjukkan bahwa lamanya waktu

perendaman *beads* berpengaruh terhadap jumlah urea yang dilepaskan. Semakin lama *beads* berada dalam media perendaman, konsentrasi urea yang terdeteksi di dalam medium air cenderung meningkat.

Sementara itu, *beads* UHA menunjukkan pelepasan yang sangat lambat yaitu hanya sekitar 1,7% dalam 5 menit pertama, kemudian meningkat secara bertahap dan linear hingga mencapai 13,43% setelah 90 menit. Hal ini sesuai dengan penelitian Kottegoda et al. (2017) yang menunjukkan bahwa urea berinteraksi dengan HAP melalui gugus amina dan karbonil, yang memiliki profil urea pelepasan rendah. *Beads* urea-alginat-HAP ini dikatakan memiliki pelepasan yang paling lambat karena dilihat dari profil lepas lambat memperoleh kurva pelepasan yang landai dan konsentrasi yang tidak terlalu tinggi ketika urea *release*. Selain itu, laju pelepasan urea yang lambat dapat dikaitkan dengan kesesuaian komposisi antara alginat dan hidroksiapatit. Alginat berperan dalam membentuk struktur *beads* yang padat dan stabil, sehingga membatasi penetrasi air ke dalam matriks. Sementara itu, keberadaan hidroksiapatit memungkinkan urea terjebak dalam kisi-kisi kristalnya, yang secara keseluruhan menghambat proses difusi urea ke luar dari *beads*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, hidroksiapatit yang disintesis menunjukkan keberadaan gugus fungsional utama seperti hidroksil ($-OH$), fosfat (PO_4^{3-}), dan karbonat (CO_3^{2-}), dengan pita serapan khas pada gugus fosfat terdeteksi pada rentang $1024-560\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan struktur fosfat dalam bentuk kristalin. Sementara itu, analisis XRD memperlihatkan pola difraksi dengan puncak-puncak tajam pada sudut 2θ termasuk puncak dominan pada $31,56^\circ$ yang sesuai dengan standar JCPDS No. 09-0423.
2. Analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi antara urea, alginat, dan hidroksiapatit yang ditandai dengan pergeseran pita vibrasi gugus $-NH$ dan $C=O$ serta munculnya pita khas PO_4^{3-} dan COO^- . Pergeseran dan kemunculan pita-pita tersebut mengindikasikan terbentuknya ikatan hidrogen dan interaksi ionik antar komponen dalam matriks komposit. Hasil XRD menunjukkan bahwa kristalinitas urea menurun

setelah dikombinasikan dengan alginat, yang ditandai dengan hilangnya puncak tajam dan munculnya pola difraksi amorf. Namun, penambahan hidroksiapatit memunculkan kembali puncak tajam khas HAP, menandakan keberhasilan integrasi HAP dalam komposit dan kontribusinya terhadap peningkatan struktur kristalin.

3. Aktivitas *release* urea pada pupuk lepas lambat yang dihasilkan diperoleh melalui hasil uji pelepasan urea dalam media air. Presentase pelepasan urea pada menit ke-90 dari masing-masing sampel urea murni, UA, UHA berturut-turut sebesar 68,71%, 34,83%, dan 13,43%. Hasil diperoleh dari uji lepas lambat yang paling optimal yaitu beads UHA.

B. Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan dari penelitian ini, maka dapat diberikan beberapa saran untuk pengembangan penelian selanjutnya sebagai berikut:

1. Apabila nilai absorbansi sampel berada di luar rentang kurva standar, disarankan untuk melakukan penyesuaian konsentrasi larutan sampel agar hasil pengukuran berada dalam batas linear kurva standar. Pengenceran perlu dilakukan apabila nilai absorbansi terlalu tinggi melebihi rentang kurva, sedangkan

apabila nilai absorbansi terlalu rendah, konsentrasi larutan sampel sebaiknya ditingkatkan atau dengan menyiapkan larutan baru yang lebih pekat. Selain itu, pengulangan analisis secara menyeluruh perlu dilakukan untuk memastikan konsistensi hasil dan mengurangi kemungkinan kesalahan dalam pengukuran.

2. Pengujian pelepasan lambat sebaiknya dilakukan dengan waktu perendaman yang lebih lama agar pola pelepasan nitrogen dapat diamati secara lebih menyeluruh.
3. Melakukan karakterisasi luas permukaan dan porositas beads menggunakan metode BET guna mendapatkan data yang lebih akurat mengenai struktur fisik beads.
4. Pelaksanaan uji SEM perlu dilakukan untuk mempelajari morfologi permukaan pupuk, termasuk bentuk, ukuran partikel, dan pori-pori, yang berperan penting dalam mempengaruhi laju pelepasan hara.

DAFTAR PUSTAKA

- Adzmi, F et al. 2012. harzianum UPM40 in Alginate-Montmorillonite Clay. *Journal of Microencapsulation*, 29(3), 205–210.
- Afrizal, G. 2016. Analisa Struktur Mikro Material Substitusi Hidroksiapatit Cangkang Kerang Darah dan Resin Akrilik Bahan Pembuat Gigi untuk Aplikasi Gigi Tiruan. *SURYA TEKNIKA*, 1(4): 1–9
- Agus Setiabudi, Rifan Hardian, A. mudzakir. 2012. Karakterisasi Material. *UPI PRESS*.
- Agustin, Dini Asri, dan Agung, Ari Wibowo. 2021. Teknologi Enkapsulasi: Teknik dan Aplikasinya. *Jurnal Teknologi Separasi*, Vol. 7, No.2, Hal. 202-209.
- Ahmed, O.H., and Husni, A.M.H., 2006. Reducing Ammonia Loss from Urea and Improving Soil-Exchangeable Ammonium Retention Through Mixing Triple Superphosphate, Humic Acid and Zeolite, *Soil Use. Manage.*, 22, 316-319.
- An Ullman's Encyclopedia. 1998. Industrial Organic Chemicals. Vol. 7. Wiley-VCH, New York. 3993-4002.
- Andika, Puma Manggala Virga dan Dina Kartika Maharani. 2018. Penentuan Daya Penyerapan air (*Swelling*) Pupuk Urea (*Slow Release Fertilizzer*) Dalam Matriks Kitosan-Asam Humat. Surabaya: Unesa.
- Astar, I., & Suci, I. A. (2022). Enkapsulasi urea pada lumpur PDAM-alginat sebagai pupuk lepas lambat. *Al-Kimia*, 10(1). <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v10i1.23740>

- Astar, Ismail, & Ida Ayu Suci. 2020. Enkapsulasi Urea Pada Lumpur PDAM-Alginat sebagai Pupuk Lepas Lambat. *Journal Al-Kimia*, 10-1-2022, 23-31.
- Aulia, Kiranti. 2022. Sintesis Pupuk Lepas Lambat Dengan Biochar Sebagai Matriks Untuk Tanaman Bawang Merah. Jambi: Universitas Jambi
- Ayuningtias, Landep. 2019. Sintesis dan Katalis M_0/SiO_2 Menggunakan XRD dan FTIR. Jember: Universitas Jember.
- Azat, S., Korobeinyk, A. V, Moustakas, K., & Inglezakis, V. J. (2019). *Sustainable production of pure silica from rice husk waste in Kazakhstan. Journal of Cleaner* .
- Azizati, Z. (2017). Pembuatan Bioplastik Karboksimetil Selulosa-Kolin Klorida-Urea Bentonit sebagai Model Pupuk Nitrogen Lepas Lambat. Universitas Gajah Mada.
- Chan, E, S., Z. H. Yim, S. H. Phan, R. F. Mansa dan P. Ravindra. 2010. *Encapsulation of Herbal Aqueous Extract Through Absorption With Calcium Alginat Hydrogel Beads. Journal of Food and Bioproducts Processing*. 88(2-3): 195-201.
- Bhatia, M., Sonawane, S. H., Bhanvase, B. A., 2020. A Riview on Application of Encapsulation in Agricultural Processes, in Encapsulation of Active Molecules and Their Delivery System. *Elsevier: Amsterdam*, 131-141.
- Chan, E, S., Z. H. Yim, S. H. Phan, R. F. Mansa dan P. Ravindra. 2010. *Encapsulation of Herbal Aqueous Extract Through Absorption With Calcium Alginat Hydrogel Beads. Journal of Food and Bioproducts Processing*. 88(2- 3): 195-201.
- Chapman, V.J. and D.J. CHApman. 1980. Seaweed and Their Uses. Third edition. CHApman and Hall, New York. 194-225.

- Costa, M. M. E., Cabral-Albuquerque, E. C. M., Alves, T. L. M., Pinto, J. C., & Fialho, R. L. (2013). *Use of polyhydroxybutyrate and ethyl cellulose for coating of urea granules. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(42), 9984–9991.
- Diharningrum, I. M., & Husni A. 2018. Metode ekstraksi jalur asam dan kalsium alginat berpengaruh pada mutu alginat rumput laut cokelat *Sargassum hystrix* J. Agardh. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 21(3): 532-542.
- Dorozhkin, S.V., 2010, Calcium Orthophosphate as Bioceramics : State of the Art, *Journal of Functional Biomaterials*, Vol. 1, Hal 739-750, Rusia
- Dubey, RT. C. Tsami dan B, Rao. 2009. *Mikroencapsulation Technology and Application. Journal of Defence Science* 59(1): 82-95. *Defence Materials dan Stores Research dan Developmen Establiment*. Kanpur.
- Fadillah, A., Riyanti, R., & Prasetyo, T. (2018) Sintesis dan Karakterisasi Beads Alginat untuk Pupuk Lepas Lambat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 6(2), 123-130.
- Fuzlin, A. F., & Samsudin, A. S. (2021). Studies on Favorable Ionic Conduction and Structural Properties of Biopolymer Electrolytes System-based alginate. *Polymer Bulletin*, 78(4), 2155-2175. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03207-2>
- Ganzoury, M. A., et al. 2015. *Intoduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry. Renewbel and Sustainable Energy Reviews*. 50:1-8.
- Giraldo, J. D., & Rivas, B. L. (2017). Determination of urea using p-N,N-dimethylaminobenzaldehyde: Solvent

effect and interference of chitosan. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(2), 3538–3542.

Gopinath, N. M., John, J. Nagappan, N., Prabhu, S., dan Kumar, E. S. 2015. *Evaluation of Dentifrice Containing Nano-Hydroxyapatite for Dentinal Hypersensitivity: A Randomized Controlled Trial. Journal of International Oral Health*, Vol. 7, No. 8, pp. 118–112.

Gunaratne, G P, et al. 2016. *Two new Plant Nutrient Nanocomposite Based on Urea Coated Hidroxyapatite: Efficacy and Plant Uptake. Indian Juournal of Agricultural Sciences*, 86 (4); 494-9.

Guohua, Dong, et all. 2021. *Starch Phosphate Carbamate Hydrogel Based Slow Release Urea Formulation With Good Water Retentivity*. Cina: Universitas Qiqihar.

Hadi, S., Suryajaya, S., Wijaya, I., Rahmandari, A., Prihatiningsih, M. C., Prasetyo, I., ... Soontaranon, S. 2018. The analysis of hierarchical structure of mesoporous silica in nanometer scale by small angle scattering method. *Atom Indonesia*, 44 (1), 9.

Hadi, Syahiful, Suryajaya, et al. . 2019. *Sintesis dan Karakterisasi Urea-Hidroksiapatit dengan Variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai Kandidat Pupuk Lepas Lambat. EnviroScienteae*, Vol. 15 No. 1, Hal. 112-120.

Hardiyanti. 2016. *Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Limbah Tulang Ikan (Thunnus albacores) Dengan Metode Hidrotermal*. Skripsi. Makassar. UIN Alauddin

Hardiyanti. 2016. *Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Limbah Tulang Ikan (Thunnus albacores) Dengan Metode Hidrotermal*. Skripsi. Makassar. UIN Alauddin.

<https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2017.11.027>

<https://doi:10.3390/ijms20184650>

- He Y, Wu Z, Tu L, Han Y, Zhang G, & Li C. 2015. Encapsulation and characterization of slow-release microbial fertilizer from the composites of bentonite and alginate, *Applied Clay Science*, 109–110.
- Iannazzo, D., and Pistone, A.. 2015. Biomimetic approaches for Tissue Healing Drug Delivery Strategies for Bone Tissue Regeneration. *Omi Ebooks*.
- Ismayana, A. A. Maddu, I. Saillah, E. Mafquh, N.S. Indrasti. 2017. Sintesis nanosilika dari abu ketel industri gula dengan metode ultrasonikasi dan penambahan surfaktan.
- Jiang, G.P., Yang, J.F., and Gao, J.Q., Effect of Starch on Extrusion Behaviour of Ceramic Pastes, *J. Mater. Res. Innovations*, 13, 119-123, 2009.
- Junejo, N., Khanif, M.Y., Hanfi, M.M., Yunus, W.M.Z., and Dharejo, K.A., 2011, Role of Inhibitors and Biodegradable Material in Mitigation of Nitrogen Losses from Fertilized Lands, *Afr. J. Biotech.*, 10(18), 3504-3514.
- Kartikasari, N. D. 2014. Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) Dengan Porogen Lilin Sarang Lebah Sebagai Aplikasi Scaffold. Skripsi. Surabaya. Universitas Airlangga.
- Kojima, Suzuki, Hitomi Nakamura, Sungho Lee, Fukue Nagata and Katsuya kato. 2019. Hydroxyapatite Formation on Self-Assembling Peptides with Differing Secondary Structures and Their Selective Adsorption for Proteins. *Journal Molecular Sciences*.
- Kottegoda, N., Sandaruwan, C., Priyadarshana, G., Siriwardhana, A., Rathnayake, U.A., Arachchige, D.M.B., Kumarasinghe,

- A.R., Dahanayake, D., Karunaratne, V., Amaratung, G.A.J., 2017. *Urea-hydroxyapatite nanohybrids for slow release of nitrogen*. ACS Nano 11, 1214–1221.
- Lasindrang, M. (2014). KOMPOSIT NANOSILIKA-KITOSAN Pupuk Lepas-Lambat Si Untuk Tanaman Padi (I. Aziz (ed.); 1st ed.). ZAHIR PUBLISHING.
- Lawrencia, Dora, See Kiat Wong, Dareeen Yi Sern Low, et al., 2021. *Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release*. Plants 10(2), 238.
- Li, A., Zhang, J., & Wang, A. 2007. Utilization of starch and clay for the preparation of superabsorbent composite, Bioresource Technology, 98, 327–332.
- Liu, D. M., Yang, Q., & Troczynski, T. (2018). Biometric Synthesis of Nanocrystalline Hydroxyapatite Using Simulated Body Fluid. Biomaterials, 27(8), 1681-1687.
- Liu, G. D., Sun, G. X., & Shaviv, A. (2010). Controlled Release Fertilizers and Nutrient Use Efficiency. University of Florida, IFAS Extension. Diakses dari: (<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1255>)
- M.Y., Naz dan Sulaiman, S.A. 2016. *Slow Release Coating Rmedy for Nitrogen Loss From Convencional Urea. A review, J.Control. Release*.
- Madusanka, N., Chanaka, S., et al. 2017. *Urea-hydroxyapatite-monorillonite nanohybrid composites as slow release nitrogen compositions*. Applied Clay Science Journal, Vol.150, hal. 303-308.
- Marzuki, Ismail. 2012. Pelepasan Terkendali Kalium Klorida dalam Mikrosfer Kitosan dengan Metode Tautan Silang. Universitas Indonesia.

- Mayori, E., Nadia, A., Fauziah A, & Sunardi. 2018. Karakterisasi biokomposit alginat-pati-kaolin sebagai kandidat Slow-Release pupuk urea, Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah, April 2018, Banjarmasin, Indonesia. Halaman 191-195.
- Mayori, E., Nadia, A., Fauziah, A., & Sunardi. 2018. Pengembangan teknologi pupuk urea lepas lambat berbasis polisakarida, Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Kimia, 20-30. Banjarmasin: FKIP ULM.
- Mikrojuddin, A. 2010. Karakterisasi nanomaterial teori, penerapan, dan pengolahan data. Bandung : CV Rezeki Putra
- Mohammad, N. F., Othman, R., dan Yeoh, F. Y. 2014. *Nanoporous Hydroxyapatite Preparation Methods for Drug Delivery Application*. Red. Adv. Mater. Sci, Vol. 38, No. 2014, pp. 138–47.
- Monicha, E., Djamaan, A., Agustin, R., & Ningrat, R. W. S. (2023). Pembuatan dan Karakterisasi Tablet NPN Lepas Lambat Berlapis Polikaprolakton Sebagai Suplement Ruminansia. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*, 4(2), 212–219. <https://doi.org/10.47065/jharma.v4i2.3642>
- Muadifah, A., & Ngibad, K. (2020). Analisis Merkuri Dan Hidrokuinon Pada Krim Pemutih Yang Beredar Di Blitar. *Dalton : Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 3(2), 1– 9.
- Mukerabigwi, J. F., Wang, Q., Ma, X., Liu, M., Lei, S., Wei, H., Huang, X., & Cao, Y. (2015). *Urea fertilizer coated with biodegradable polymers and diatomite for slow release and water retention*. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12(6), 1085–1094.

- Muliati. 2016. Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Tulang Ikan Tuna (*Thunus sp*) Dengan Metode Sol-Gel. Skripsi. Makassar. UIN Alauddin.
- Nabitaliah, O. (2022). KONVERSI NANOSELULOSA DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI GULA ALKOHOL MENGGUNAKAN NANOFOTOKATALIS LaCrO_3 TiO_2 ZrO_2 SnO_2 DI BAWAH PENGARUH IRRADIASI SINAR UV.
- O'Toole, P., Morgan, M.A., and McAleese, D.M., 1982, Effect of Soil Properties, Temperature and Urea Concentration on Patterns and Rates of Urea Hydrolysis in Some Irish Soils, *J. Agr. Res.*, 21, 185-197.
- Pambudi, S. A. Y., Naini, A., & Sumono, A. (2022). Karakterisasi scaffold hydroxyapatite gypsum Puger kombinasi alginat rumput laut cokelat. *Repository Universitas Jember*.
- Pan, L.; He, Q.; Liu, J.; Chen, Y.; Ma, M.; Zhang, L.; Shi, J. Nuclear-targeted drug delivery of TAT peptide-conjugated monodisperse mesoporous silica nanoparticles. *J. Am. Chem. Soc.* 2012, 134, 5722–5725.
- Pereira, R., Mendes, A., & Bartolo, P. 2013. Alginat/aloe vera hydrogel films for biomedical applications. *Procedia CIRP* 5: 210-215.
- Purnama, E. F., Nikmatin, S., dan Langenati, R. 2006. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Derajat Kristalinitas dan Komposisi Hidroksiapatit dibuat dengan Media Air dan Cairan Tubuh Buatan (*Synthetic Body Fluid*). *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 1, No. 5, pp. 154-162.
- Purwasasmita, B. S., dan Gultom, R. G. 2008. Sintesis dan Karakterisasi Serbuk Hidroksiapatit Skala Sub - Mikron

Menggunakan Metode Presipitasi. Jurnal Forum Nuklir, Vol. 10, No. 2, pp. 155–167.

Putama Mursal, I. L. 2018. Karakterisasi Xrd Dan Sem Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. Pharma Xplore : Jurnal Ilmiah Farmasi, 3(2), 214–221.
<https://doi.org/10.36805/farmasi.v3i2.491>

Rajendran, S., & Palaniswamy, M. (2019). Investigation of inhibitive action of urea-Zn²⁺ system in the corrosion control of carbon steel in sea water.

Ramdhani, A., Putri, A.S., & Hartati, E. (2020). Aplikasi Hidroksiapatit dalam Pengikatan Zat Hara untuk Formulasi Pupuk Berbasis Mineral. Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia, 5(1), 41-48.

Rasyid, A. 2010. Ekstraksi natrium alginat dari alga coklat Sargassum echinocarpum. Oseanologi dan Limnologi di Indonesia. 36(3): 393-400.

Rohmah, S. A. A., Muadifah, A., & Martha, R. D. (2021). Validasi Metode Penetapan Kadar Pengawet Natrium Benzoat pada Sari Kedelai di Beberapa Kecamatan di Kabupaten Tulungagung Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. Jurnal Sains Dan Kesehatan, 3(2), 120–127.
<https://doi.org/10.25026/jsk.v3i2.265>

Ronaldo, A. (2018). *Sulfur Coated Slow Release Urea Fertilizer Production in Spouted Bed*. In ITS (Vol. 151, Issue 2).

Salisbury Greenhouse. (2021). The Science Behind Slow-Release Fertilizers. Diakses dari:
<https://salisburygreenhouse.com/the-science-behind-slow-release-fertilizers/>(<https://salisburygreenhouse.com/the-science-behind-slow-release-fertilizers/>)

- Sandaruwan, C., et al. 2017. *Urea Hydroxyapatite Nanohybrids for Slow Release of Nitrogen*. Inggris: Procedia.
- Sandewi, N. 2017. Karakterisasi nanohidroksiapatit dari cangkang telur menggunakan uji sem dan xrd. Skripsi. Makassar. UIN Alauddin
- Santhosh, S. and Balasivanandha Prabu, S. 2013. *Thermal Stability of nano hydroxyapatite Synthesized From Sea Shells Trhought Wet Chemichel Synthesis*. *Materials Letter, Elsevier*, Vol. 97, pp. 121-124.
- Saputra, F., Fadli, Ahmad., dan Amri, A. 2016. Kinetika Reaksi Pada Sintesis Hidroksiapatit Dengan Metode Presipitasi. *FTEKNIK*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-6.
- Sastrohamidjojo, H. (2013). *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Gaja Mada University Press.
- Sathisaran, I., dan Balasubramanin, M. 2020. *Physical Characterization of Chitosan/gelatin-alginate Composute Beads for Controlled Release of Urea*. *Heliyon*, 6(11), e05459.
- Savana, R., & Kartika Maharani, D. (2018). *Usage Of ChitosanSilica with Crosslinking Agent As A Matrix For Slow Release Fertilizer*. 171(Snk), 70–72.
- Setiadiputri, J. N. (2018). *Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit Hidroksiapatit–Alginat–Zinc sebagai Bone Graft*. Skripsi. Universitas Airlangga.
- Setiadiputri, J. N. (2018). *Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit Hidroksiapatit–Alginat–Zinc sebagai Bone Graft*. Skripsi. Universitas Airlangga.

- Sing, J., Bolan, N.S., Saggar, S., and Zaman, M., 2008. The Role of Inhibitors in Controlling The Bioavailability and Losses of Nitrogen, *J Environ. Sci.*, 329-362.
- Siregar, H. A., et al. (2014). Sintesis scaffold hidroksiapatit dari cangkang kerang hijau dengan matriks natrium alginat sebagai bahan pengganti tulang. *Repository IPB*.
- Sofyane, Asma, et all. 2021. *Waterborne Butyl Methacrylate (CO) Polymers Prepared by Pickering Emulsion Polimerization: Insight of Their Use Coating Materials for Slow Release Fertilizer*. Maroko: Universitas Sfax.
- Suci dan Astar. 2022. Enkapsulasi Urea Menggunakan Biokomposit Zeolit Alam Alginat-Pati Sagu sebagai Model Pupuk Lepas Lambat (*Slow Release Fertilizer*). *Al Kimia*, Vol. 10 No. 1.
- Suci dan Astar. 2022. Enkapsulasi Urea Pada Lumpur Alginat sebagai Pupuk Lepas Lambat. *Al Kimia*, Vol. 10 No. 1.
- Suryadi. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah. Tesis. Jakarta. Universitas Indonesia.
- T. el, Assimi et al; 2020. Sustainable coating material based on chitosan-clay composite and Paraffin wax for Slow-Release DAP Fertilizer, *Int. J. of Biol Macromol.* 161 492–502.
- Taji, L.s., Wiyono, D.E., Karisma, A.D., Surono, A. and Ningrum, EO. 2022. *Hydroxyapatite Based Material : Natural Resources, Syntesis Methods, 3D Print Filament Fabrication, and Filament Filler*. Vol. 8 No. 1, pp. 20-35.
- Tarafder, Chaitaly, et al., *Formulation of a Hybrid Nanofertilizer for Slow and Sustainable Release of Micronutrients*. Journal ACS Omega.

- Timon, V., Mate, B., Herrero, V., & Tanarro, I. (2020). Infrared Spectro of Amorphous and Crystalline Urea Ices, 22344-22351.
<https://doi.org/10.1039/D1CP03503G>
- Trenkel, M. E. (2010). Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Association (IFA). Diakses dari:
<https://www.fertilizer.org/resource/slow-and-controlled-release-and-stabilized-fertilizers-in-agriculture/>
- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) Dari Sekam Padi. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 7(2), 66-75.
- Wahl, M.R., Kirsch, U., Brockel, S.T., and Bottlinger, M., 2006, Caking of Urea Prills, *Chem. Eng. Technol.*, 29, 674-678.
- Wandrey, C. 2005. Polyelectrolytes and Biopolimer. Materials Science and Engineering. Ecole Polytechnique Federale De Lausane. 1-37.
- Wang, A., Liu, D., Yin, H., Wu, H., Wada, Y., Ren, M., Jiang, T., Cheng, X., Xu, Y., 2007. *Size-controlled synthesis of hydroxyapatite nanorods by chemical precipitation in the presence of organic modifiers*. Mater. Sci. Eng. 27, 865-869.
- Wilawan, Hnoosong, Pornpairin, and Suntree Sangjan. 2021. Preparation and Properties of Urea Slow-Release Fertilizer Hydrogel by Sodium Alginate-Gelatin Biopolymer. Key Engineering Materials, ISSN: 1662-9795, Vol. 889, pp 98-10.
- Wulandari, A., Widiyandari, H., & Nurcahyani, P. 2021. Pengaruh Penambahan Hidroksiapatit terhadap

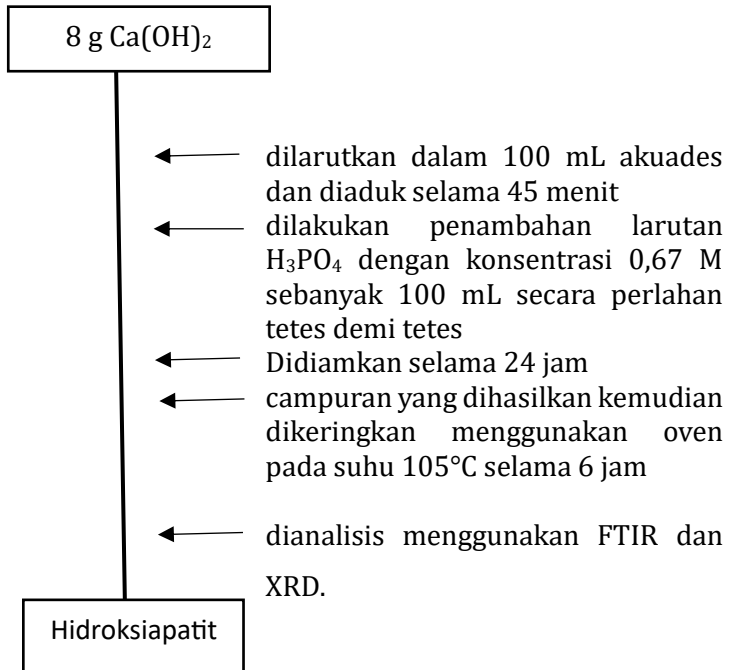
Kapasitas Adsorpsi Urea dalam Pupuk Lepas Lambat. *Jurnal Teknologi Pertama*, 22(3), 114-122.

- Wulandari, W., Dini, M. I., Novesar, J., Diana, V. W., and Emriadi, E. 2024. Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite/Alginate Composite: Study of pH and Sintering Influenced on the Structural, Morphological, and Clindamycin Release Behavior. *Journal Chem*, Vol. 24, No. 2, Hal. 334-347.
- Xia, X., Zhang, F., Yang, L., Li, X., Wang, J., Linghu, C., & Luo, Z. (2020). *Low-Temperature Flowable Poly(lactic acid)/Polycaprolactone Blends for the Solvent-Free Preparation of Slow-Released Urea Fertilizer in a Thermal Shear Field. Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(47), 20601–20611.
- Xiang, Y., Ru, X., Shi, J., Song, J., Zhao, H., Liu, Y., & Zhao, G. (2018). *Granular, Slow-Release Fertilizer from Ureaformaldehyde, Ammonium Polyphosphate, and Amorphous Silica Gel: A New Strategy Using Cold Extrusion. Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Xiaoyu, N., Yuejin, W., Zhengyan, W., Lin, W., Guanna, Q., and Lixiang, Y., 2013. A Novel Slow-Release Urea Fertiliser: Physical and Cemical Analysis of Its Structure and Study of Its Release Mechanism, *Biosystems Eng.*, 115, 274-282.
- Yanhui He, *et al.* 2015. *Encapsulation and characterization of Slow-Release Microbial Fertilizer from the Composites of Bentonite and Alginate. Applied Clay Science*, 109-110 (2015) 68-75.
- Zhanjiang, F. 1990. Trainning Manual Of Gracilaria Culture and Seaweed Processing in China. Regional Seafarming Development and Demonstration Project China.

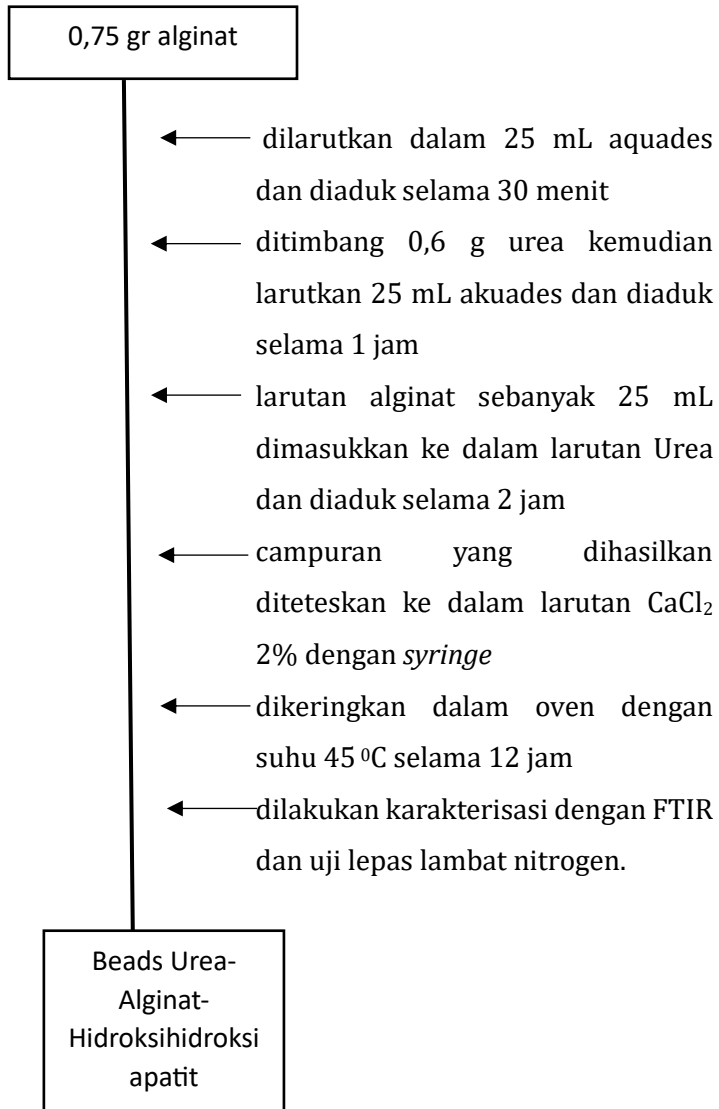
LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema kerja penelitian

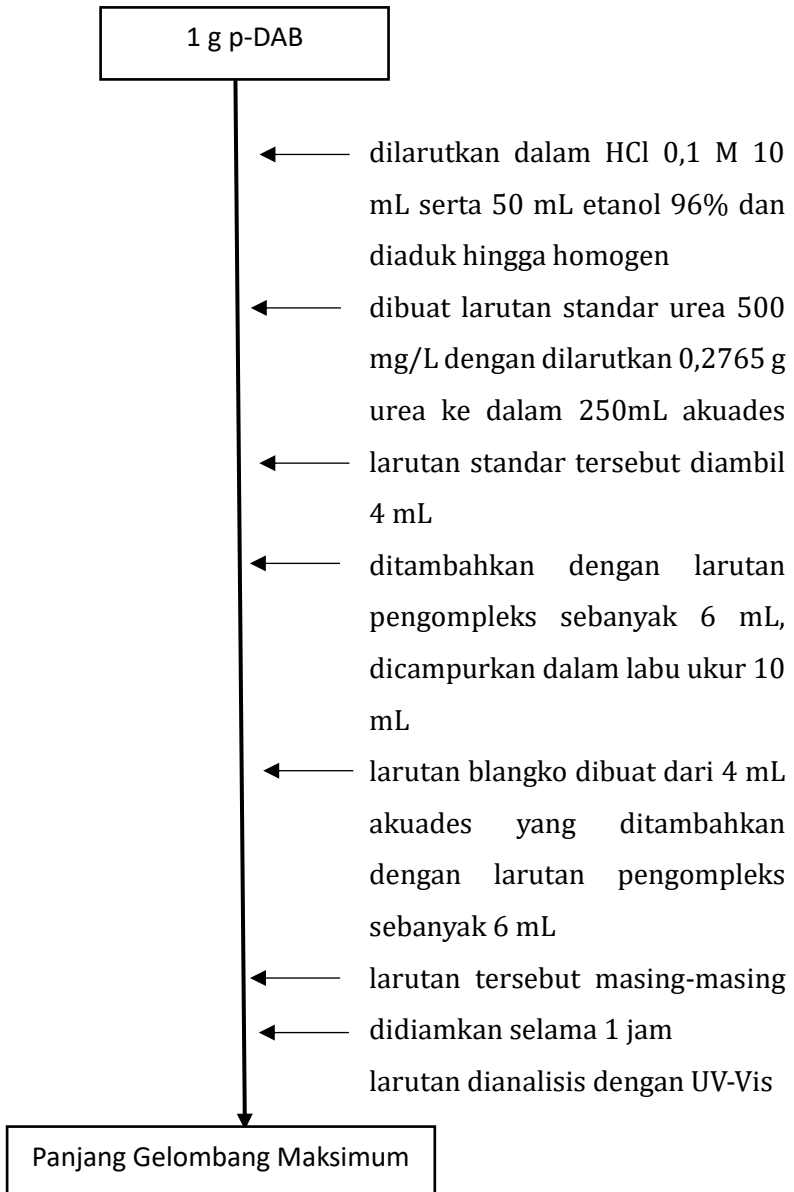
A. Preparasi Hidroksiapatit



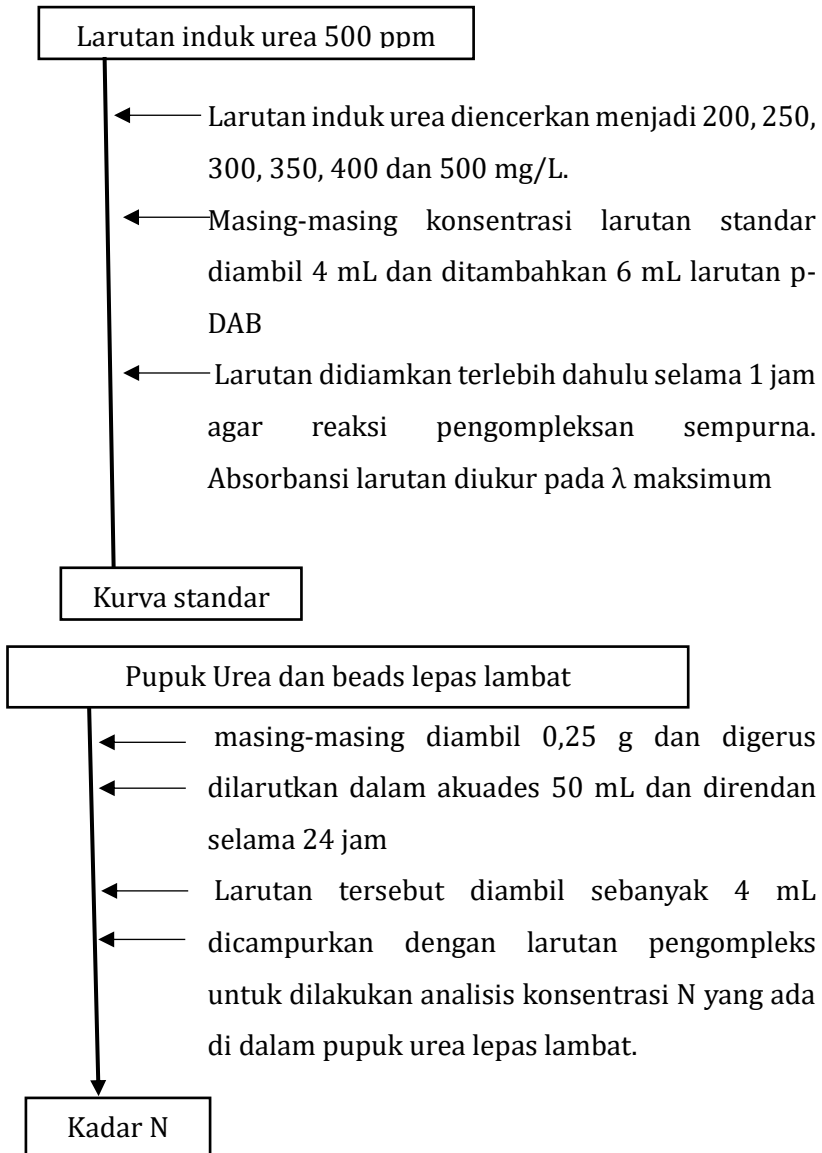
B. Pembuatan *Beads* Urea-Alginat dan Urea-Alginat-HAP



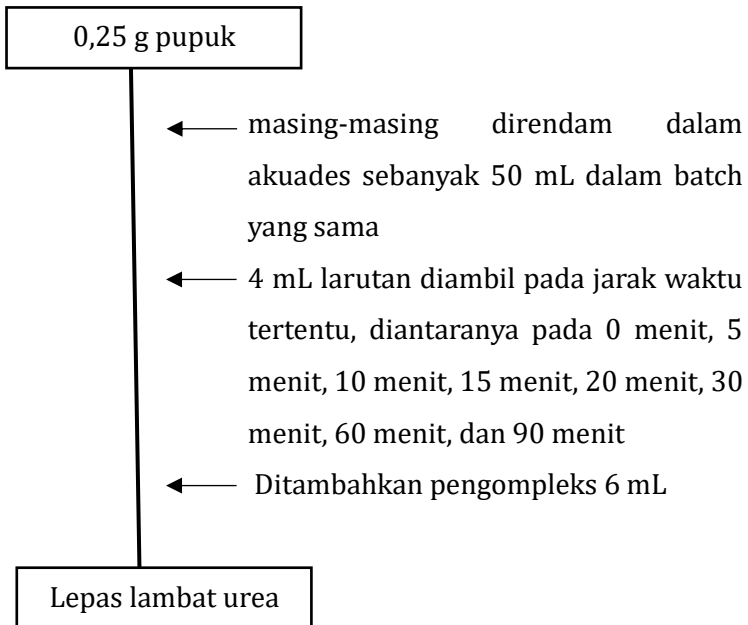
C. Pengujian Lepas Lambat *Beads*
Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



Pembuatan kurva standar



Uji lepas lambat urea, *beads* Urea-alginat, dan Urea-hidroksiapatit-alginat



Lampiran 2 Perhitungan kurva standar

Kadar urea dalam pupuk = 45,20%

$$500 \text{ ppm} \rightarrow \text{massa urea} = 500 \text{ mg} \times \frac{250 \text{ mL}}{1000} = 125 \text{ mg}$$

$$\text{Massa pupuk} = \frac{100}{45,20} \times 125 \text{ mg} = 0,2765$$

a) 200 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{200 \times 50 \text{ mL}}{500} = 20 \text{ mL}$$

b) 250 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{250 \times 50 \text{ mL}}{500} = 25 \text{ mL}$$

c) 300 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{300 \times 50 \text{ mL}}{500} = 30 \text{ mL}$$

d) 350 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{350 \times 50 \text{ mL}}{500} = 35 \text{ mL}$$

e) 400 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{400 \times 50 \text{ mL}}{500} = 40 \text{ mL}$$

Dari Kurva standar diperoleh $y = 0.0009x - 0.0052$ dengan $R^2 = 0.991$

Lampiran 3 Analisis pupuk lepas lambat

A. Analisis Jumlah Nitrogen yang terkandung dalam *Beads Sampel*

Sampel 0.25 g *beads* dalam 50 mL akuades (0,05 L).

Larutan sampel diambil 4 mL dan diencerkan menjadi 10 mL (2,5x pengenceran).

1. Urea

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$1,211 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{1,211 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 1351,33 \text{ ppm}$$

$$x = 513,5556 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 67,57 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 168,92 \text{ mg}$$

$$\%X = \frac{168,92 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 67,57 \%$$

2. *Beads Urea-Alginat*

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,248 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,248 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 281,33 \text{ ppm}$$

$$x = 281,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 14,07 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 35,17 \text{ mg}$$

$$\%X = \frac{35,17 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 14,07 \%$$

3. *Beads Urea-hidroksiapatit-alginat*

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,279 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,279 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 315,78 \text{ ppm}$$

$$x = 315,78 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 15,79 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 39,47 \text{ mg}$$

$$\%X = \frac{39,47 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 15,79\%$$

B. Analisis Lepas Lambat Urea dalam Media Air

0.25 g *beads* dalam 50 mL akuades (0,05 L). Larutan sampel diambil 4 mL dan diencerkan menjadi 10 mL (2,5x pengenceran).

1. Urea

- **5 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,537 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,537 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 602,44 \text{ ppm}$$

$$x = 602,44 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 30,12 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 75,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{75,3 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 44,58 \%$$

- **10 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,754 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,754 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 843,55 \text{ ppm}$$

$$x = 843,55 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 42,18 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 105,45 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{105,45 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 62,43 \%$$

- **15 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,803 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,803 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 898 \text{ ppm}$$

$$x = 898 \text{ mg/L} \times 0,05$$

$$x = 42,18 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 105,45 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{105,45 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 66,45 \%$$

- **20 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,800 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,800 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 894,67 \text{ ppm}$$

$$x = 894,67 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 44,73 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 111,9 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{111,9 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 66,24 \%$$

- **30 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,804 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,804 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 899,11 \text{ ppm}$$

$$x = 899,11 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 44,95 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 112,37 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{112,37 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 66,52 \%$$

- **60 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,8105 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,8105 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 906,33 \text{ ppm}$$

$$x = 906,33 \text{ mg/L} \times 0,0125 \text{ L}$$

$$x = 45,32 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 113,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{113,3 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 67,07 \%$$

- **90 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,8305 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,8303 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 928,55 \text{ ppm}$$

$$x = 928,55 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 46,43 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 116,07 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{116,07 \text{ mg}}{168,92 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 68,71 \%$$

2. *Beads Urea-Alginat*

- **5 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,033 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,033 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 42,44 \text{ ppm}$$

$$x = 42,44 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,12 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 5,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{5,3 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 15,14 \%$$

- **10 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,039 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,039 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 49,11 \text{ ppm}$$

$$x = 49,11 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,42 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 6,12 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{6,12 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 17,40 \%$$

- **15 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,041 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,041 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 51,33 \text{ ppm}$$

$$x = 51,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,57 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 6,42 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{6,42 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 18,25 \%$$

- **20 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,045 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,045 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 55,78 \text{ ppm}$$

$$x = 55,78 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,79 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 6,97 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{6,97 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 19,82 \%$$

- **30 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,068 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,068 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 81,33 \text{ ppm}$$

$$x = 81,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 4,07 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 10,17 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{10,17 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 28,92 \%$$

- **60 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,078 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,078 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 92,44 \text{ ppm}$$

$$x = 92,44 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 4,62 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 11,55 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{11,55 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 32,84 \%$$

- **90 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,083 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,083 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 98 \text{ ppm}$$

$$x = 98 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 4,9 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 12,25 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{12,25 \text{ mg}}{35,17 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 34,83 \%$$

3. *Beads Urea-hidroksiapatit-alginat*

- **5 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,002 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,002 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 8 \text{ ppm}$$

$$x = 8 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,4 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 1 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{1 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 2,53 \%$$

- **10 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,007 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,007 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 13,55 \text{ ppm}$$

$$x = 13,55 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,68 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 1,7 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{1,7 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 4,31 \%$$

- **15 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,0011 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,0011 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 18 \text{ ppm}$$

$$x = 18 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,9 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 2,25 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{2,25 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 5,7 \%$$

- **20 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,014 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,014 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 21,33 \text{ ppm}$$

$$x = 21,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,07 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 2,67 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{2,67 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 6,76 \%$$

- **30 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,025 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,025 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 33,55 \text{ ppm}$$

$$x = 33,55 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,67 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 4,17 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{4,17 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 10,56 \%$$

- **60 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,031 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,031 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 40,22 \text{ ppm}$$

$$x = 40,2 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,01 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 5,02 \text{ mg}$$

$$\% \text{ N release} = \frac{5,02 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 12,72 \%$$

- **90 menit**

$$y = 0,0009x - 0,0052$$

$$0,0033 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,033 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 42,4 \text{ ppm}$$

$$x = 42,4 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,12 \text{ mg} \times 2,5$$

$$x = 5,3 \text{ mg}$$

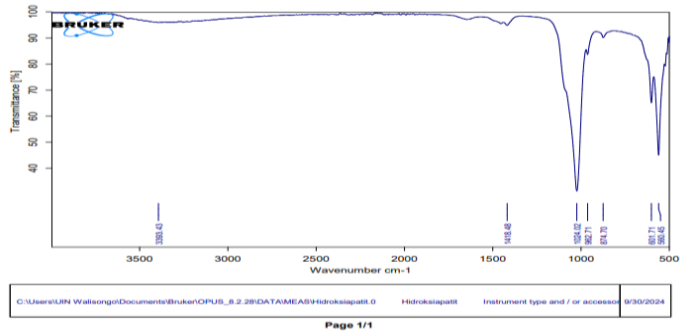
$$\% \text{ N release} = \frac{5,3 \text{ mg}}{39,47 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$X = 13,43 \%$$

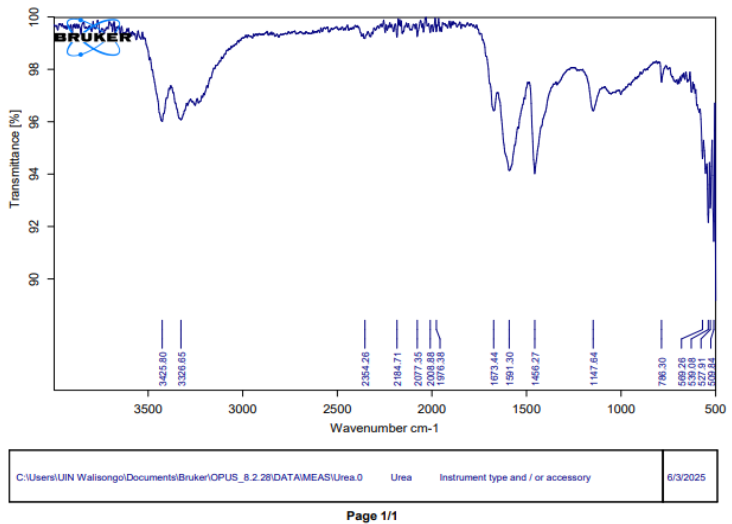
% Urea Release			
Waktu (menit)	Urea Murni (%)	UA (%)	UHA (%)
0	0	0	0
5	44,58	15,06	1,7
10	62,43	17,40	4,31
15	66,45	18,25	5,7
20	66,24	19,82	6,76
30	66,52	28,92	10,56
60	67,07	32,84	12,72
90	68,71	34,83	13,43

Lampiran 4 Hasil uji FTIR

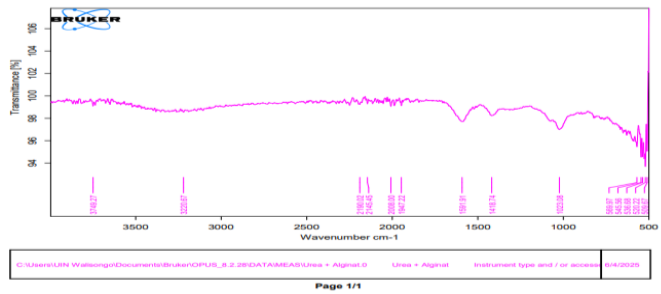
1. Hasil Uji Sampel Hidroksiapatit



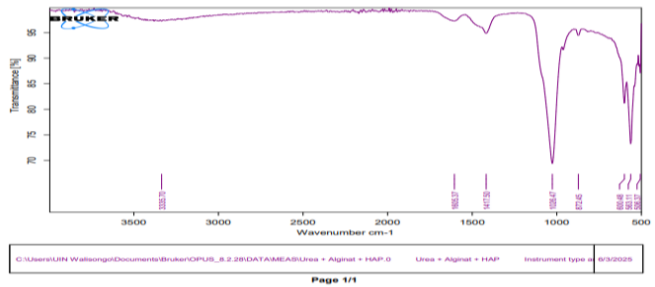
2. Hasil Uji Sampel Urea



3. Hasil Uji Sampel *Beads UA*

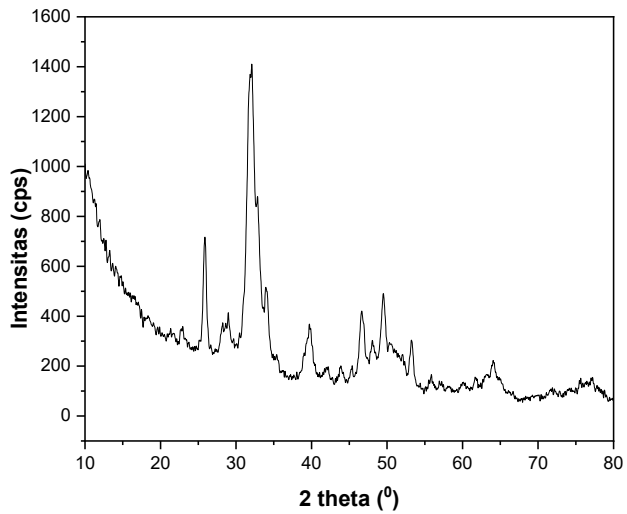


4. Hasil Uji Sampel *Beads UHA*

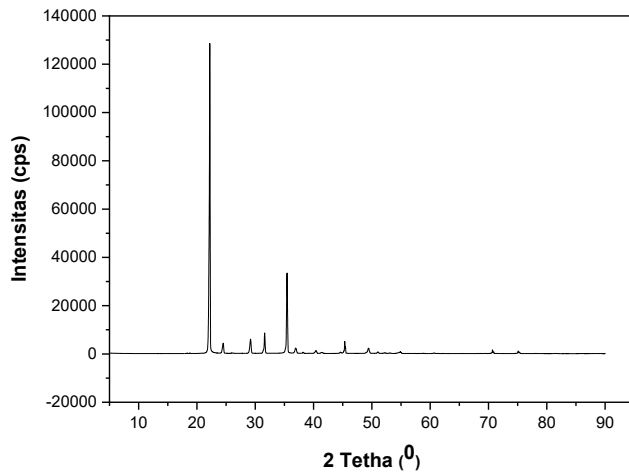


Lampiran 5 Hasil uji XRD

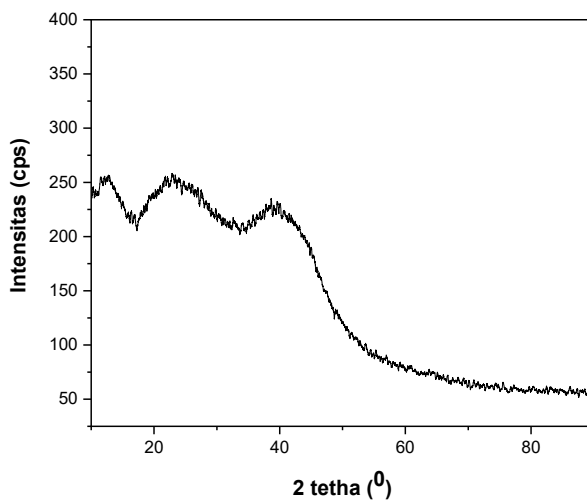
1. Hasil Uji XRD Sampel Hap



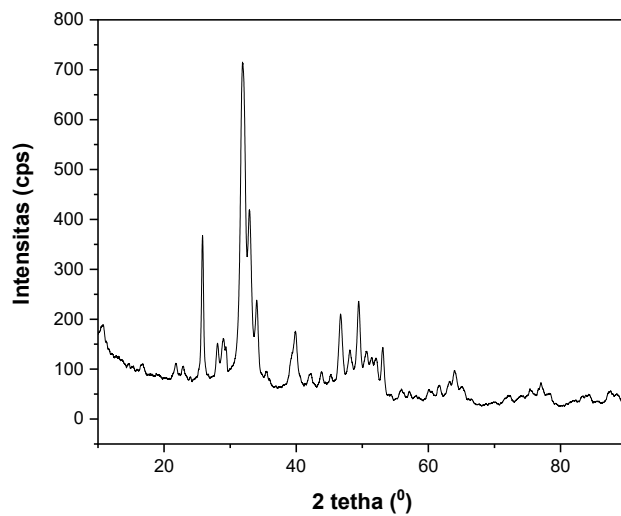
2. Hasil Uji XRD Sampel Urea



3. Hasil Uji XRD Sampel UA



4. Hasil Uji XRD Sampel UHA



Lampiran 6 Dokumentasi

No.	Aktifitas	Gambar
1.	Preparasi hidroksiapatit	
2.	Hasil sintesis hidroksiapatit	
3.	Pembuatan beads dengan <i>syringe</i>	
4.	Perendaman beads dalam CaCl_2	

5	Beads pupuk lepas lambat	
6	Uji lepas lambat urea	
7	Pembuatan larutan standar	
8	Uji kadar urea dalam pupuk beads urea-alginat, urea-alginat-HAP, dan urea murni	

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Vika Uluwul Himmah
2. Tempat & Tanggal Lahir : Demak, 09 Juli 2002
3. Alamat : Desa Wilalung RT/RW 02/02,
Kecamatan Gajah, Kabupaten Demak,
Jawa Tengah
4. No. Telepon : 085866482410
5. E-mail : vikauluwulhimmah@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- | | |
|-----------------------------|------------|
| 1. TK Cahyarini | Lulus 2009 |
| 2. SDN Wilalung 02 | Lulus 2015 |
| 3. MTs Tarbiyatul Muhtadiin | Lulus 2018 |
| 4. MAN 1 Kudus | Lulus 2021 |