

**PEMBUATAN PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN
BERBASIS SILIKA SEKAM PADI (*Oryza Sativa L*)-UREA-
ALGINAT
SKRIPSI**



Oleh:

SABINA DEWI SAFITRI

NIM: 2108036047

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sabina Dewi Safitri
NIM : 2108036047
Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**PEMBUATAN PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN BERBASIS SILIKA SEKAM
PADI (*Oryza Sativa L*)-UREA- ALGINAT**

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

Semarang, 25 Juni 2025

Pembuat Pernyataan,



Sabina Dewi Safitri

NIM. 2108036047

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 Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbasis Silika
 Sekam Padi (*Oryza Sativa L*)-Urea-Alginat
 Nama : Sabina Dewi Safitri
 NIM : 2108036047
 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 Halshah, M. Si.
NIP. 199401022019032015

Pengui I,

Dr. Mulyatun, S.pd., M.Si.
NIP. 198305042011012008



Pengui II,

Dr. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd.
NIP. 198304152009122006

Pembimbing,

Kholidah, M.Sc.
NIP. 198508112019032008

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo di
Semarang

Assalamualaikum Wr .Wb

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

Judul : Pembuatan Pupuk Lepas Lambat
Nitrogen berbasis Silika-Sekam Padi
(Oryza Sativa L)-Urea-Alginat

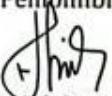
Nama : Sabina Dewi Safitri

NIM : 2108036047

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah
dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN
Walidah untuk diajukan dalam sidang Munaqasah

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Pembimbing

Kholidah, M.Sc

NIP. 198508112019032008

**PEMBUATAN PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN
BERBASIS SILIKA SEKAM PADI (*Oryza Sativa L*)-UREA-
Alginat**

Sabina Dewi Safitri
NIM 2108036047

ABSTRAK

Urea merupakan pupuk yang umum digunakan oleh petani, namun efisiensinya rendah karena mudah terlarut. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pelepasan urea secara lambat menggunakan komposit silika dan alginat sebagai pupuk lepas lambat. *Beads* urea-silika (UA) disintesis dengan melarutkan 0,6 g urea dan 0,75 g alginat masing-masing dalam 25 mL aquades, lalu diaduk selama 1 jam. Larutan alginat dan larutan urea dicampur dan diaduk selama 2 jam. Campuran diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 6% dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. *Beads* urea-silika-alginat (USA) disintesis dengan melarutkan 0,6 g urea dan 2,25 g silika dalam 25 mL aquades, serta 0,75 g alginat dalam 25 mL aquades. Larutan alginat dan larutan urea-silika dicampur dan diaduk. Campuran diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 6% dan dikeringkan. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan terjadi interaksi antara gugus C=O dan NH₂ pada urea, -OH dan Si-O-Si pada silika, serta COO⁻ dan -OH pada alginat. Hasil XRD menunjukkan struktur amorf khas dari silika dan alginat. Uji pelepasan menit ke 5-90 menit menunjukkan bahwa pelepasan urea dari *beads* USA berlangsung lebih lambat, yaitu 1,6; 2,0; 2,6; 3,5; 4,0; 4,0; 5,0%, dibandingkan dengan *beads* UA sebesar 14,5; 14,9; 14,9; 16,2; 16,7; 17,0; 18,4%. Hasil ini menunjukkan bahwa *beads* USA berpotensi digunakan sebagai pupuk lepas lambat.

Kata kunci: urea, pupuk lepas lambat, silika, alginat

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaaniirahim

Alhamdulillahirabbil ‘aalamiin, segala puji
dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT
atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-
Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi
yang berjudul “Pembuatan Pupuk Lepas Lambat
Nitrogen Berbasis Silika Sekam Padi (*Oryza Sativa L*)-
Urea-Alginat” dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta
salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan
kita Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga,
sahabat, dan para pengikutnya yang setia hingga
akhir zaman. Beliau adalah sosok teladan yang diutus
untuk menyempurnakan akhlak manusia, dan yang
syafa’atnya kita harapkan di hari akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi
ini tidak terlepas dari bimbingan, dorongan semangat,
serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan
segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima
kasih kepada:

1. Rektor UIN Walisongo Semarang, Bapak Prof. Dr. H. Nizar Ali, M.Ag.
2. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang, Bapak Dr. H. Musahadi, M.Ag.
3. Ketua Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Dr. Mulyatun, S.Pd., M.Si
4. Dosen Pembimbing yang telah menerima penulis yang selalu memberikan bimbingan penuh, arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis dengan penuh kesabaran selama proses penyusunan skripsi ini Ibu Kholidah, M.Sc dan Ibu Zidni Azizati, M.Sc
5. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Ibu Dr. Mulyatun, S.Pd., M. Si dan Ibu Dr. Anissa Adiwena Putri M.Sc atas kesediaannya membimbing penulis dan rekan-rekan dengan penuh kesabaran dan perhatian selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Dosen Wali Studi, Ibu Ana Mardliyah, M.Si., yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis sejak awal masa perkuliahan hingga menyelesaikan studi.

7. Segenap Dosen Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang, yang dengan tulus telah memberikan ilmu pengetahuan serta pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
8. Teristimewa untuk Kedua Orangtuaku tercinta, Bapak Wahyudin Bin Parihin dan Ibu Siti Roliah yang selalu menjadi sumber kekuatan dan inspirasi bagi penulis. Dengan kasih sayang, dukungan, perhatian dan doa yang selalu mengiringi langkah. Mereka adalah sumber dari kekuatan, ide, dan inspirasi bagi penulis. Terima kasih telah bersabar dalam mendidik dan menyemangati penulis hingga mampu menyelesaikan studi di UIN Walisongo Semarang.
9. Kepada Kakek dan Nenek saya Alm. Elon dan Aminah yang senantiasa merawat saya dari kecil hingga dewasa, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, dukungan dan do'a.
10. Abang kandungku tercinta, Rizky Wahyu Dinata, terima kasih atas kasih sayang dan perhatiannya yang tulus sampai saat ini. Kehadirannya memberikan banyak pelajaran berharga, dedikasi,

dan dukungan untuk penulis selama perjalanan studi penulis di UIN Walisongo. Terima kasih sudah menjadi pelindung, teman, dan panutan bagi penulis.

11. Kakak iparku tersayang, Imas Fahriyati, terima kasih telah menjadi kakak yang baik yang selalu memberikan do'a, dukungan dan menjadi teman curhat penulis. Kehadiran dan kasih sayangnya menjadi penyemangat bagi penulis.
12. Keponakkanku yang manis dan lucu Ghavriel Al-Bara Dinata, kehadirannya memberikan semangat kepada penulis.
13. Adikku tersayang, Muhammad Fikri, terima kasih selalu memberikan perhatian yang lebih kepada penulis.
14. Teman-teeman seperjuangan Vika, Viki, Nada dan Ajeng. Terima kasih sudah mau berjuang bersama sampai akhir, hingga skripsi ini selesai.
15. Sahabat kecil penulis hingga saat ini Marlina Stevany, Hilda Lismawati, dan Qorrie Hadi Putri. Terima kasih sudah menjadi rumah kedua bagi penulis, motivasi, do'a dan dukungannya memberikan semangat bagi penulis.

16. Teman-teman seperjuangan Program Studi Kimia Angkatan 2021 B dan teman-teman KKN MIT 18 Posko 44 yang telah menunjukkan makna persahabatan yang sesungguhnya serta senantiasa memberikan semangat dan dukungan selama masa perkuliahan.
17. Kepada teman-teman TBK Isna Septiana, Diah Ayu Sapitri, dan Alya Faiza, S.Si, terima kasih sudah menemani penulis dan memberikan dukungan selama penulis menyelesaikan skripsi ini
18. Untuk kucing-kucing kesayangan penulis Abu, Kiko, Lolly, Ucit, Inong, Rahul, Asep, Anton, Suci, Yoka, Yoki, Mochi, dan Cala. Terima kasih telah menjadi teman setia yang selalu hadir di setiap suka dan duka. Kehadiran kalian yang penuh kehangatan dan tingkah laku yang menggemaskan telah menjadi pelipur lara dan penyemangat bagi penulis.
19. *Last but not least*, apresiasi setinggi-tingginya saya sampaikan kepada diri saya sendiri, Sabina Dewi Safitri. Terima kasih atas kesabaran, ketekunan, dan komitmen yang telah ditunjukkan dalam menyelesaikan setiap tahap perjalanan ini. Terima kasih telah memilih untuk terus berjuang, tetap

tenang, dan tidak menyerah meskipun dalam kesulitan, serta mampu menikmati setiap proses yang tidak mudah hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Semoga setiap langkah yang diambil menjadi bagian dari ikhtiar yang diridhai Allah SWT.

20. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan moral, maupun spiritual, yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi penulis sendiri, dan bagi para pembaca. Aamiin.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	11
C. Tujuan.....	12
D. Manfaat.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
A. Landasan Teori.....	13
1. Sekam Padi.....	13
2. Silika.....	17
3. Urea	20

4.	Alginat.....	23
5.	Pupuk Lepas Lambat Nitrogen.....	27
6.	Analisis Urea Secara Spektrofotometer UV-Vis dengan Peng kompleks p-DAB	32
B.	Karakterisasi.....	36
1.	<i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	36
2.	Spektrofotometer UV-Vis	44
3.	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	47
4.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	49
C.	Kajian Riset Yang Relavan	56
D.	Hipotesis	59
BAB III.....		60
METODE PENELITIAN.....		60
A.	Waktu dan Tempat Penelitian	60
B.	Alat dan Bahan	60
1.	Alat.....	60
2.	Bahan.....	61
C.	Prosedur Kerja	62
1.	Preparasi Silika Abu Sekam Padi	62

2. Pembuatan <i>Beads</i> Urea-Alginat (UA) dan Urea-Silika-Alginat (USA)	63
3. Tahap Pengujian Lepas Lambat <i>Beads</i> UA dan USA.....	64
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	68
A. Preparasi Silika Abu Sekam Padi	68
B. Pembuatan <i>Beads</i> UA dan USA	80
C. Analisis Kadar Urea dalam Urea, <i>Beads</i> UA dan USA	92
D. Pengujian Lepas Lambat Urea, <i>Beads</i> UA dan USA	99
BAB V.....	113
KESIMPULAN DAN SARAN.....	113
A. Kesimpulan.....	113
B. Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA.....	116
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	134
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	162

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sekam Padi	15
Gambar 2. 2 Silika.....	18
Gambar 2. 3 Pupuk Urea.....	21
Gambar 2. 4 Struktur Urea.....	22
Gambar 2. 5 Struktur Alginat.....	25
Gambar 2. 6 Reaksi Urea dengan p-DAB.....	35
Gambar 2. 7 Rangkaian Instrumen FTIR.....	37
Gambar 2. 8 Hasil FTIR Silika	39
Gambar 2. 9 Hasil FTIR Alginat.....	41
Gambar 2. 10 Hasil FTIR Urea-Lumpur PDAM-Alginat....	43
Gambar 2. 11 Rangkaian Spektrofotometer UV-Vis.....	45
Gambar 2. 12 Rangkaian <i>X-Ray Flourescence</i> (XRF).....	48
Gambar 2. 13 Efek Fotolistrik XRF	49
Gambar 2. 14 Rangkaian X-Ray Diffraction (XRD).....	51
Gambar 2. 15 Difraktogram Urea.....	53
Gambar 2. 16 Difraktogram Urea- Alginat	54
Gambar 2. 17 Difraktogram Urea-Silika.....	55
Gambar 4. 1 Hasil Kalsinasi Silika dari Sekam Padi	70
Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Silika	75
Gambar 4. 3 Spektrum FTIR silika.....	76

Gambar 4. 4 Pupuk (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA.....	82
Gambar 4. 5 Struktur <i>Egg-Box</i> Hasil Koordinasi antara Blok G-G Alginat dan Ion Ca ²⁺	83
Gambar 4. 6 Spektrum FTIR (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA	84
Gambar 4. 7 Difraktogram XRD (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA	90
Gambar 4. 8 Reaksi p-DAB dengan Urea.....	94
Gambar 4. 9 Kurva Standar	97
Gambar 4. 10 Kadar Urea Total	98
Gambar 4. 11 Ikatan Hidrogen Silika dan Urea.....	101
Gambar 4. 12 Ikatan Hidrogen Alginat dan Urea	103
Gambar 4. 13 Ikatan Hidrogen Urea, Silika, dan Alginat	104
Gambar 4. 14 Lepas Lambat Urea, UA, dan USA	107

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Spektrum Hasil Sintesis dengan Referensi.....	78
Tabel 4. 2 Data XRF Komposisi Silika.....	79
Tabel 4. 3 Hasil spektrum uji FTIR Urea; Beads UA dan USA	85
Tabel 4. 4 Larutan Standar	96
Tabel 4. 5 Uji Lepas Lambat Urea, UA dan USA dalam medium air	106

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia, selain itu jumlah penduduk akan terus bertambah seiring berjalannya waktu diikuti dengan angka pertumbuhan. Tingkat pertumbuhan penduduk yang signifikan membuat pemenuhan kebutuhan pangan juga akan bertambah besar. Tantangan utama ke depan adalah memenuhi kebutuhan pangan, dengan peningkatan produktivitas pertanian sebagai fokus utama (Kiranti, 2022). Faktor yang tak kalah penting dan memiliki pengaruh yang besar atas peningkatan produktivitas pertanian di Indonesia adalah tanah.

Tanah merupakan kunci dari keberhasilan pertanian, tetapi dikarenakan meningkatnya jumlah penduduk menyebabkan luas tanah pertanian semakin berkurang, sedangkan kebutuhan pangan saat ini semakin meningkat. Kunci dari kesuburan tanah adalah pupuk, karena

mengandung unsur hara yang nantinya digunakan untuk menggantikan nutrisi yang diserap tanaman. Kehilangan unsur hara ini disebabkan oleh pencucian (*leaching*) akibat curah hujan, irigasi dan melalui pergerakan air dalam tanah. Penggunaan pupuk yang meningkat dan tidak diimbangi dengan efisiensi penggunaanya dapat merusak lingkungan. Pupuk yang umumnya digunakan petani adalah pupuk urea, pupuk urea banyak digunakan karena praktis dan efisien serta memiliki kandungan nitrogen yang tinggi, yaitu sebesar 45%-56% (Gorung *et al.*, 2022).

Pupuk memiliki peran utama dalam pertanian dengan tujuan utama untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dan produktivitasnya, sehingga tanaman menjadi berlimpah. Hal ini dapat meningkatkan hasil panen secara signifikan dan dapat memberikan manfaat ekonomi yang besar bagi para petani. Tanaman yang tumbuh baik juga tumbuh atas izin dan rahmat Allah SWT terhadap makhluk-Nya, terutama bagi orang yang merawat dan menanam tanaman tersebut. Segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT mencerminkan

kekuasaan dan kehendak-Nya yang tak ternilai. Oleh karena itu, bersyukur merupakan bentuk pengakuan bahwa segala nikmat yang diterima berasal dari Allah SWT. Selain itu, juga mengingatkan untuk senantiasa selalu menghargai dan memanfaatkan nikmat tersebut dengan baik. Hal ini sesuai dengan firman Allah SWT yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرٌ وَجَتَّ مِنْ أَعْنَابٍ وَرَزْعٍ وَنَخِيلٍ
صِنْوَانٌ وَعَيْرٌ صِنْوَانٌ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُقْصَلٌ بِغَصَّهَا عَلَى بَعْضٍ فِي
الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

Artinya: “*Di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang. (Semua) disirami dengan air yang sama, tetapi Kami melebihikan tanaman yang satu atas yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar (terdapat) tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti* (Qs. Al-Ra’id [13]:4).

Berdasarkan *Tafsir Al-Muyassar* dalam kitabnya menafsirkan bahwa bumi diciptakan

dengan berbagai jenis permukaan yang memiliki struktur dan sifat yang beragam, seperti tanah yang subur, tanah yang kering, padang pasir yang tidak ada tumbuh-tumbuhan, serta tanah berbatu. Warna tanahnya juga bervariasi, mulai dari warna merah, coklat, hingga hitam. Tanaman yang tumbuh di tanah subur juga beragam, misalnya pohon kurma ada yang bisa tumbuh bercabang dan tidak tumbuh bercabang, meskipun keduanya disiram oleh air yang sama. Dan di antara satu jenis tanaman dengan tanaman yang lain, seperti buah-buahan dan biji-bijian yang serupa namun memiliki rasa yang berbeda, dikarenakan berasal dari tanah yang berbeda. Semua termasuk tanda-tanda kekuasaan Allah SWT bagi orang-orang yang berpikir (Mashudi, 2020).

Kebutuhan nitrogen pada tanaman dapat dipenuhi melalui pemberian pupuk urea yang mengandung 46% N. Meskipun pupuk urea memiliki kadar nitrogen yang tinggi, tetapi pupuk urea juga memiliki kelemahan yaitu mobilitas nitrogen yang tinggi. Pupuk urea bersifat higroskopis, rentan terhadap perubahan fisik yang

mengakibatkan efisiensi pemupukannya kurang optimal dan mudah lenyap (Seddighi *et al.*, 2024). Pemberian nitrogen secara maksimal dapat meningkatkan protein, pembentukan klorofil, dan meningkatkan perbandingan ujung akar yang berperan dalam proses fotosintesis. Nitrogen yang mudah lenyap dari tanah disebabkan oleh pelarutan (*leaching*), emisi berupa amonia dan nitrogen oksida, serta aktivitas mikroorganisme tanah. Hal ini menyebabkan nitrogen mudah lenyap melalui pencucian nitrat, penguapan sebagai gas amoniak, serta bentuk lain yang tidak dapat diserap oleh tanaman (Hidayat *et al.*, 2014). Lenyapnya unsur nitrogen mengurangi efisiensi penyerapan tanaman, sehingga efektivitas pemakaian pupuk urea menurun. Oleh karena itu, diperlukan solusi, salah satunya dengan memodifikasi pupuk urea menjadi pupuk lepas lambat yang terkontrol dan ramah lingkungan.

Pupuk lepas lambat merupakan jenis pupuk yang dirancang mempunyai kemampuan khusus dalam mengendalikan atau memperlambat pelepasan unsur hara (Savana *et al.*, 2018). Pupuk

lepas lambat dapat mengatur pelepasan secara perlahan dan terus menerus sesuai dengan waktu dan jumlah yang dibutuhkan tanaman (Jayanudin & Lestari, 2020). Pupuk lepas lambat dibuat dengan menambahkan matriks pelapis berbahan polimer, yang berfungsi mengubah sifat kelarutan pupuk urea dan mengatur pelepasan unsur hara secara bertahap, sehingga efisiensi penggunaan pupuk meningkat sekaligus menghemat tenaga kerja (Haque, 2020). Alginat adalah polimer yang dapat membentuk ikatan silang ketika kation divalen ditambahkan ke dalam larutan. Karena sifatnya yang biodegradable, ramah lingkungan, dan tidak beracun, alginat memiliki potensi sebagai bahan pelapis pupuk urea. Selain itu, alginat juga diketahui mampu memperlambat pelepasan suspensi dalam air saat digunakan sebagai campuran pelapis pupuk urea (Mayori *et al.*, 2018).

Keunggulan alginat dibandingkan polimer lain seperti gelatin terletak pada kemampuannya untuk membentuk gel dengan mudah pada suhu yang lebih rendah dan hanya memerlukan ion kalsium (Ca^{2+}). Berbeda dengan gelatin, yang memerlukan

pemanasan agar larut. Alginat juga memiliki sifat biokompatibel, hidrofilik, dan stabil. Hal ini menjadikan alginat mudah terurai, ramah lingkungan, mampu menyerap air dan nutrisi serta stabil dalam berbagai lingkungan (Annisa *et al.*, 2021); (Matos *et al.*, 2018). Eksperimen telah menunjukkan bahwa alginat dapat diterapkan pada pertanian sebagai pupuk nitrogen yang sinergis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen dan hasil panen. Oleh karena itu, tingkat pelepasan dan disolusi pupuk lepas lambat sesuai dengan karakteristik dari bahan pelapis yang digunakan. Pupuk lepas lambat merupakan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan dengan mencampurkan berbagai bahan polimer sebagai pelapis ke dalam formulasi pupuk, sehingga dapat mengurangi frekuensi pemupukan yang menjadikan lebih ramah lingkungan dan ekonomis (Palupi & Widyasunu, 2022). Akan tetapi, sifat hidrofilik yang dimiliki alginat menyebabkan pupuk lebih mudah mengembang saat berada dalam air, sehingga mempercepat laju difusi unsur hara makro. Untuk

mengatasi hal ini, penambahan material anorganik seperti silika ke dalam matriks polisakarida dapat memperkuat struktur dan membentuk biokomposit dengan kekuatan mekanik yang lebih tinggi (Suci & Astar, 2022).

Penggabungan alginat dengan material anorganik seperti silika dapat membantu meningkatkan stabilitas mekanik dari komposit alginat, sehingga membuat pelapis pupuk lebih tahan lama dan efektif dalam mengontrol pelepasan unsur hara. Selain itu, silika berkontribusi dalam membentuk struktur yang lebih baik dengan alginat untuk mengatur pelepasan nutrisi secara bertahap (Matos *et al.*, 2018). Pembuatan pupuk lepas lambat dapat dilakukan menggunakan bahan silika, karena silika dapat membantu tanaman dalam melepaskan unsur hara secara perlahan (Mushtaq *et al.*, 2018). Silika dapat diperoleh dari berbagai sumber, salah satunya adalah sekam padi.

Sekam padi mengandung silika (Si) sebagai komponen utama, yaitu sebesar 86,90% hingga

97,30%, serta sejumlah kecil alkali dan logam pengotor (Lee *et al.*, 2017). Untuk meningkatkan kandungan silika, perlu dilakukan proses ekstraksi menggunakan larutan alkali (Azat *et al.*, 2019). Silika memiliki keunggulan dibandingkan silika mineral, seperti butiran yang lebih halus, reaktivitas tinggi, mudah diperoleh, biaya rendah, serta bahan baku yang melimpah dan dapat diperbarui. Silika berbentuk amorf atau polikristalin dengan ukuran kecil dan sifat hidrofilik, yang dapat memengaruhi mekanisme pelepasan nitrogen dari pupuk urea. Gugus silanol dan siloksan yang berada pada silika, memiliki potensi untuk meningkatkan kapasitas penyerapan nitrogen karena NH_4^+ dan NO_3^- dapat mengisi pori-pori dan ruang pada permukaan silika (Rahayu *et al.*, 2021). Sejumlah gugus silanol ($\equiv\text{Si}-\text{OH}$) yang terkandung dalam silika mampu membentuk ikatan hidrogen dengan gugus ureido ($-\text{NH}_2\text{CONH}-$) yang terdapat pada urea (Xiang *et al.*, 2018).

Pembuatan pupuk lepas lambat dengan penambahan silika tidak hanya membantu

mengatur pelepasan unsur hara, tetapi juga memberikan manfaat langsung bagi pertumbuhan tanaman. Silika sering digunakan karena memiliki partikel kecil dan bersifat amorf, yang mengarah pada pelepasan pupuk urea melalui proses difusi (Farikhah *et al.*, 2017). Silika berperan sebagai adsorben (penjerap) nutrisi dan desorpsi (pelepas) nutrisi secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman. Penggunaan silika dalam pupuk lepas lambat tidak cukup efektif untuk memaksimalkan hasil pemupukan, karena silika dapat larut oleh air tanah ketika digunakan sebagai pelapis urea pada pupuk lepas lambat (Agung *et al.*, 2013). Untuk mengatasi hal tersebut, penting untuk mengkombinasikan silika dengan polimer alginat guna meningkatkan daya tahan dan mengatur laju pelepasan (Nguyen, 2021). Dengan demikian silika dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pada pupuk, tetapi tidak sebagai solusi utama dalam mengatur laju pelepasan, sehingga diperlukan polimer alginat yang dibuat khusus untuk tujuan tersebut. Sebagian besar pupuk lepas lambat biasanya dibuat dengan cara membungkus pupuk komersial menggunakan

berbagai bahan polimer atau biopolimer yang mampu memperlambat laju pelarutan. Dengan cara ini, unsur hara dalam pupuk menjadi lebih stabil dan tidak mudah terlepas atau menguap ke lingkungan. (Agung *et al.*, 2013).

Dalam pembuatan pupuk lepas lambat dengan menggunakan bahan silika murni dan pembuatan pupuk lepas lambat dengan bahan alginat murni sebelumnya sudah pernah dilakukan, sedangkan pada pembuatan pupuk lepas lambat dengan bahan silika-alginat belum pernah dilakukan sebelumnya. Inovasi pada penelitian ini yaitu terletak pada pengkombinasian silika sekam padi dengan alginat.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik silika yang dihasilkan?
2. Bagaimana karakteristik pupuk lepas lambat yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan silika dan alginat terhadap profil pelepasan urea pada pupuk lepas lambat nitrogen yang dihasilkan?

C. Tujuan

1. Mengetahui karakteristik silika yang dihasilkan.
2. Mengetahui karakteristik pupuk lepas lambat yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan silika dan alginat terhadap pupuk lepas lambat nitrogen yang dihasilkan.

D. Manfaat

1. Memberikan informasi terkait penggunaan silika sekam padi sebagai pupuk lepas lambat.
2. Memberikan pengalaman dalam menerapkan ilmu pengetahuan yang telah dipelajari selama masa perkuliahan.
3. Menghasilkan produk urea termodifikasi sebagai pupuk lepas lambat yang dirancang untuk meningkatkan kualitas tanaman melalui pelepasan nutrisi yang lebih terkontrol.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Sekam Padi

Padi (*Oryza Sativa L*) adalah tanaman semusim dari golongan rumput-rumputan dengan masa tumbuh sekitar 3-6 bulan, yang terdiri dari vegetatif dan generatif. Tanaman ini sering dibudidayakan dengan baik, terutama di daerah pedesaan. Tanaman padi memiliki mekanisme penyerbukan sendiri dan mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan (Sayuthi *et al.*, 2020). Menurut *United States Department of Agriculture (USDA)* (2024), klasifikasi tanaman padi sebagai berikut:

<i>Kingdom</i>	: <i>Plantae</i>
<i>Subkingdom</i>	: <i>Tracheobionta</i>
<i>Superdivision</i>	: <i>Spermatophyta</i>
<i>Division</i>	: <i>Magnoliophyta</i>
<i>Class</i>	: <i>Liliopsida</i>
<i>Subclass</i>	: <i>Commelinidae</i>

<i>Ordo</i>	: <i>Cyperales</i>
<i>Family</i>	: <i>Graminae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Oryza L</i>
<i>Species</i>	: <i>Oryza sativa L</i>

Sekam padi adalah limbah pertanian dengan jumlah yang cukup melimpah. Sekam padi merupakan produk sampingan yang saat ini masih tergolong minim pemanfaatannya bahkan tidak digunakan dengan baik. Kandungan kimia yang dimiliki sekam padi terdiri dari 50% selulosa, 25-30% lignin, 15-25% abu, 8-15% kadar air, dan 15-20% hemiselulosa. Selain itu, sekam padi merupakan salah satu sumber silika terbesar sebanyak 87-97% berat kering. Oleh karena itu, sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika (Handayani *et al.*, 2014). Silika dari sekam padi yang melimpah dapat diekstraksi dengan mudah melalui proses pengabuan dan ekstraksi padat-cair. Proses ini umumnya menggunakan pelarut basa, karena abu sekam padi larut dengan baik pada pH di atas 10. Endapan silika dari hasil ekstraksi dapat diperoleh dengan

menurunkan pH rendah menggunakan larutan asam (Agung *et al.*, 2013). Berikut kenampakan sekam padi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Sekam Padi
(Azat *et al.*, 2019)

Hasil pengolahan sekam padi, didapatkan sekitar 65% beras, 15–20% sekam padi, 8–12% dedak, dan ±5% menir atau beras pecah (Dhaneswara *et al.*, 2020). Pembakaran sekam padi pada suhu 500-600°C menghasilkan abu kaya akan silika. Penggunaan abu digunakan sebagai bahan campuran media pertanian, memberikan kontribusi yang cukup besar bagi tanaman (Kartika, 2016). Sekam padi yang biasa dijumpai mempunyai ciri fisik berwarna kuning keemasan. Massa jenis sekam padi adalah $1,125 \text{ kg/m}^3$, nilai kalor 1 kg sekam padi

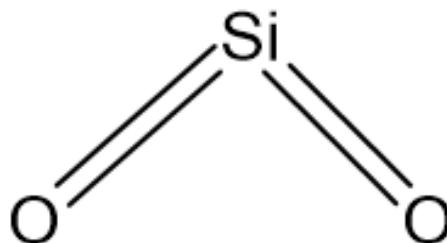
adalah 3300 kkalori, jika dilihat dari komposisi kimianya sekam padi mengandung 1,33% karbon, 1,54% hidrogen, dan 33,645 oksigen. Selain itu, sekam padi diperkirakan memiliki panjang 5–10 mm dan lebar 2,5–5 mm, sehingga cocok digunakan sebagai bahan baku dan sumber energi dalam industri kimia (Siahaan *et al.*, 2013). Sekam padi dimanfaatkan sebagai sumber silika karena kandungannya yang melimpah (87-97%), ekonomis, tersedia, dan tidak toksik. Silika bersifat amorf, sehingga proses peleburannya tidak memerlukan waktu lama atau suhu tinggi. Sekam dapat digunakan sebagai bahan organik untuk dimasukkan ke dalam tanah karena kandungan unsur hara yang rendah, selain itu konstitusi fisik-kimianya sulit untuk terurai (Carmona *et al.*, 2013). Pengelolaan sekam padi yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan silika di tanah, yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fadhillah & Harahap, 2020).

2. Silika

Silika adalah bahan anorganik yang membantu pertumbuhan tanaman sehat dan melindungi dari penyakit, tekanan suhu, radiasi matahari, serta kekurangan atau keracunan unsur hara lain. Silika merupakan senyawa asam silikat yang tersusun dari rantai satuan tetrahedral SiO_4 dengan rumus umum SiO_2 . Struktur unit dasar silika ialah tetrahedral yang dibentuk oleh ikatan kovalen kuat antara atom Si pusat dan empat atom O di sekitarnya. Silika adalah non logam oksida bebas yang melimpah ditemukan di alam. Namun, silika tidak berada dalam keadaan bebas, melainkan terikat secara fisik dan kimia dengan senyawa lain. Silika mempunyai afinitas yang tinggi dengan oksida dan atom yang sangat elektronegatif, sehingga sulit diperoleh sebagai unsur yang sangat murni di alam. Sifat silika bisa hidrofilik atau hidrofobik, tergantung pada struktur dan morfologinya. Silika adalah bentuk paling stabil dengan berbagai variasi kristal, dimana kuarsa merupakan bentuk kristal murninya. Silika

adalah kristal metaloid dengan nomor atom 14 dan konfigurasi elektron [Ne] $3s^2\ 3p^2$. Massa molar silika yaitu 28,0855 g. Silika pada umumnya bersifat inert, namun pada kondisi tertentu dapat bersifat reaktif. Titik beku silika yaitu 1414°C dan titik didih 3265°C (Sari & Sukarna, 2017).

Silika bersifat higroskopis dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap air. Struktur senyawa silika ketika di alam berbentuk kristal, sedangkan dalam senyawa sintesis bersifat amorf (Botahala, 2020). Berikut adalah struktur silika yang dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Silika
(Azat *et al.*, 2019)

Silika mempunyai pengaplikasian di berbagai bidang, antara lain bioteknologi,

lingkungan, industri semen, komposit, dan kedokteran karena memiliki sifat higroskopis dan hidrofilik. Silika banyak digunakan dalam pupuk lepas lambat karena partikel kecil dan bersifat amorf, sehingga memengaruhi pelepasan nutrisi melalui proses difusi (Swantomo *et al.*, 2014). Sintesis silika dari abu sekam padi melibatkan dua tahap utama: pengabuan dan pembuatan silika gel. Proses pembuatan silika terdiri dari empat langkah, yaitu pembentukan natrium silikat dari reaksi silika dalam abu sekam padi, peleburan pada suhu tinggi, pembentukan hidrosol melalui reaksi natrium silikat dengan asam, serta pembentukan hidrogel dan pemanasan menjadi silika gel kering. Ekstraksi silika biasanya menggunakan pelarut basa, kemudian pengendapan silika dilakukan dengan menurunkan pH menggunakan larutan asam. Kualitas silika dipengaruhi oleh konsentrasi larutan asam pada tahap pengasaman (Muhammad *et al.*, 2022).

3. Urea

Urea atau *carbamide* adalah padatan kristal putih dengan rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ yang sebagian besar terdiri dari nitrogen. Biasanya urea berbentuk butiran atau curah (*prilled*) dan termasuk pupuk nitrogen padat dengan biaya rendah. Berat jenisnya $1,33 \times 10^3$ kg/m³ dan titik lelehnya 132,7°C. Urea larut dalam air, tetapi tidak dalam pelarut organik. Secara industri, urea disintesis dari amonia dan karbon dioksida, digunakan untuk membuat resin urea-formaldehida yang mengandung gugus berulang (-NH-CO-O-), serta dalam produksi obat-obatan dan pupuk nitrogen. Urea dapat diproduksi alami oleh tubuh dan juga diproduksi oleh pabrik yang dibuat dalam bentuk padat ataupun cair. Umumnya urea digunakan pada bahan pembuatan pupuk dan makanan peliharaan. Urea adalah pupuk higroskopis yang mudah menyerap uap air pada kelembapan 73%. Nitrogen dalam urea harus diubah menjadi ammonium (N-NH_4^+) lewat hidrolisis dengan enzim urease agar dapat

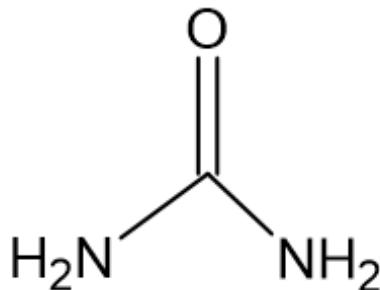
diserap tanaman. Namun, hidrolisis di tanah berlangsung cepat sehingga nitrogen mudah menguap sebagai ammonia. Sekitar 50-60% nitrogen hilang akibat hujan dan penguapan, menyebabkan biaya pupuk meningkat (Ronaldo, 2018). Berikut adalah pupuk urea dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Pupuk Urea
(Danarto *et al.*, 2017)

Urea adalah pupuk nitrogen buatan yang umumnya banyak digunakan pada bidang pertanian karena mengandung nitrogen yang tinggi (45%-46%), tersedia secara komersial dengan biaya yang ekonomis (Kogoya, 2018). Pupuk urea banyak digunakan karena

kandungan nitrogen yang tinggi dan perannya penting dalam pertanian (Behin & Sadeghi, 2016). Kecepatan hidrolisis urea bergantung pada keadaan tanah. Namun, biasanya urea mulai terhidrolisis di hari ke 5 sesudah pengaplikasian. Urea ketika diaplikasikan di permukaan tanah, maka sebagian besar nitrogen akan lenyap (Hartono *et al.*, 2021). Pemanfaatan urea sebagai sumber nitrogen berfungsi dalam menghambat perkembangan jamur juga meningkatkan kandungan nitrogen untuk menyuplai kebutuhan mikroba (Sholikah *et al.*, 2013). Berikut merupakan struktur urea dapat dilihat pada Gambar 2.4



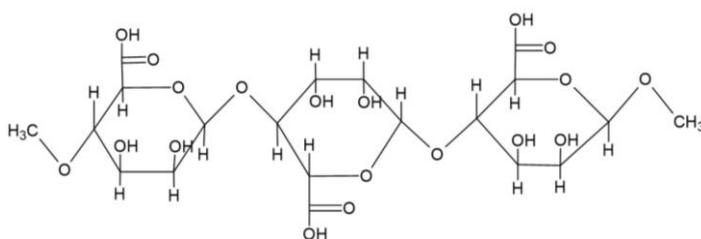
Gambar 2.4 Struktur Urea
(Ronaldo, 2018)

4. Alginat

Alginat adalah polimer yang biasa dimanfaatkan sebagai pelapis makanan, obat dan bakteri. Bahan *biodegradable* seperti alginat dapat dipakai sebagai bahan pelapis pupuk. Alginat merupakan polimer yang larut dalam dalam air dan ramah lingkungan, sehingga memiliki potensi untuk melapisi pupuk. Alginat merupakan polisakarida biokompatibel, *biodegradable*, dan toksitas rendah yang dapat digunakan untuk membuat hidrogel. Alginat merupakan polisakarida linier dengan ikatan (1,4)-glikosidik yang terdiri dari residu asam β -d-mannuronat (M), alfa-L-guluronat, (G) dan epimer C-5 yang dapat ditemukan di dinding sel rumput laut coklat (*Phaeophyta*). Komposit alginat dapat berbentuk seperti bola (*beads* dan emulsi), *film*, dan serat (Cahyono *et al.*, 2021). Di samping itu, alginat dan material kompositnya bisa dimodifikasi dengan berbagai gugus fungsi untuk menyesuaikan karakteristiknya, seperti kecepatan pelepasan, biokompatibilitas, serta

sifat pembengkakannya. *Beads* adalah bentuk yang paling umum digunakan untuk pelapis karena persiapannya mudah dan kondisinya ringan. Biasanya, larutan alginat diteteskan ke larutan ion divalen untuk membentuk butiran gel melalui gelasi ionik, metode yang sering dipakai untuk melapisi bahan bioaktif. Idealnya, sifat butiran gel alginat, seperti ukuran butiran, porositas, dan profil pelepasan dapat dikontrol dengan menyesuaikan faktor seperti pH lalu konsentrasi prekursor alginat. Alginat memiliki sejumlah gugus karboksil dan hidroksil bebas. Gugus fungsi yang sudah ada dapat mengubah sifat-sifat turunan alginat, seperti hidrofobisitas alginat bisa diatur dengan mengubah panjang rantai alkil, untuk meningkatkan afinitasnya melalui bahan bioaktif hidrofobik. Hidrofobisitas alginat yang dimodifikasi meningkat secara signifikan dengan bertambahnya panjang rantai alkil. Teknik modifikasi kimia seperti metode oksidasi, sulfasi, esterifikasi, midasi, atau pencangkokan biasanya digunakan. Modifikasi

kimia gugus hidroksil terutama terdiri dari oksidasi, kopolimerisasi, sulfasi, sedangkan modifikasi gugus karboksil terutama meliputi esterifikasi dan amidase (Morozkina *et al.*, 2022). Adapun struktur dari alginat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Struktur Alginat
(Wibowo *et al.*, 2013)

Alginat bisa membentuk gel secara konstan terhadap panas dan pada suhu ruangan (Herawati, 2018). Penggunaan alginat didasarkan pada tiga sifat utama yakni, meningkatkan viskositas larutan air, membentuk gel, serta menghasilkan lapisan (*film*) dan serat dari natrium atau kalsium alginat (Cahyono *et al.*, 2021). Kekurangan alginat yaitu kelarutan yang rendah dan pembentukan gel yang tidak sempurna. Alginat

dan turunannya dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, perlu dilakukan modifikasi terhadap struktur serta interaksinya dengan material lain. Namun, alginat sangat rentan mengalami degradasi akibat adanya kation monovalen, yang menjadi hambatan dalam penerapannya. Penambahan bahan anorganik seperti silika ke polisakarida dapat memperkuat struktur biokomposit, sehingga dapat menghasilkan biokomposit dengan daya tahan yang lebih baik (Bimantio *et al.*, 2018). Secara khusus, alginat dapat digunakan dalam pembuatan pupuk lepas lambat, dengan memerlukan agen *cross-link* sebagai pengikat silang pada rantai polimer. Agen pengikat silang yang digunakan berfungsi meng kompleks anion karboksilat (COO^-) dari alginat, biasanya berupa kation ion divalen. Oleh karena itu, untuk meningkatkan sifat pelepasan secara lambat menggunakan bahan aktif, beberapa polimer baru yang telah dikembangkan dengan memanfaatkan sifat ikatan silang alginat (Costa *et al.*, 2018).

Bahan pengikat silang yang digunakan yaitu Ca^{2+} dalam senyawa kalsium klorida (CaCl_2), sebagaimana yang sudah dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Suyatmo & Nulhakim, 2022). Penambahan kalsium klorida sebagai bahan pengikat silang pada produksi *beads* alginat membantu dalam meningkatkan rendemen dibandingkan besi klorida (FeCl_3). Selain itu, ada juga ion lain yang dapat dipakai sebagai agen pengikat silang diantaranya Ba^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} dan Fe^{2+} (Costa *et al.*, 2018).

5. Pupuk Lepas Lambat Nitrogen

Pupuk lepas lambat nitrogen adalah pupuk yang dirancang untuk melepaskan nutrisi secara bertahap dan terkontrol sesuai kebutuhan tanaman. Prinsip utama teknik ini adalah menciptakan hambatan molekuler yang mengurangi pelepasan nutrisi dari *beads* pupuk ke lingkungan. Pupuk lepas lambat dapat meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara tanaman hingga 65-70%, lebih tinggi dibanding pupuk biasa yang sekitar 40%. Pupuk ini juga efektif mengatasi masalah toksisitas unsur

mikro. Pelepasan unsur hara dapat diperlambat melalui berbagai metode, seperti pengendalian kelarutan dalam air, perlambatan hidrolisis, dan lainnya (Yuliani, 2018). Pupuk lepas lambat populer karena mampu mengurangi penggunaan pupuk dan mencegah pencemaran lingkungan. Pelapis pupuk terbuat dari berbagai material yang memperlambat laju pelarutan, sehingga unsur hara dilepaskan bertahap dan lebih efektif diserap tanaman, serta dapat mengurangi frekuensi pemupukan (Aviantri *et al.*, 2017).

Pupuk lepas lambat mampu mengatur pelepasan sesuai dengan waktu dan kebutuhan tanaman, sehingga serapan nutrisi menjadi optimal dan kandungan unsur hara di dalam tanah tetap terjaga. Dengan cara ini, petani hanya perlu memupuk tanamannya satu kali, bukan tiga kali selama musim tanam (Yerizam *et al.*, 2017). Pupuk lepas lambat dapat diproduksi melalui proses pelapisan dan pertukaran ion. Pembuatan pupuk pelepasan lambat dapat dilakukan melalui berbagai

metode, seperti memperbesar ukuran partikel pupuk, meningkatkan kekuatan partikel, serta melapisi atau menambahkan bahan tambahan yang mampu melindungi dan mempertahankan unsur hara di dalam partikel. Selain itu, unsur hara yang berada pada pupuk dapat menahan tekanan biotik dan abiotik. Faktor tekanan biotik disebabkan oleh hama dan patogen pada tanaman, sedangkan abiotik disebabkan oleh suhu, salinitas, kekeringan, kekurangan unsur hara dan penggunaan pestisida. Hal tersebut mempengaruhi pertumbuhan, metabolisme tanaman sehingga menyebabkan perubahan anatomi dan fisiologi tanaman yang dapat menyebabkan perubahan sifat optik daun bahkan dapat menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan di sektor pertanian (Paradisa *et al.*, 2022).

Keunggulan pupuk lepas lambat dibandingkan pupuk lain adalah pelepasan nitrogen yang lebih terkendali dan berlangsung lebih dari 2 bulan. Dengan cara ini frekuensi pemupukan tanaman bisa dikurangi menjadi 1-

2 kali lipat (Razak *et al.*, 2014). Pupuk lepas lambat lebih hemat biaya dibandingkan dengan pupuk konvensional, karena mengurangi sisa unsur hara di tanah sehingga dapat meningkatkan hasil panen sekaligus memberikan manfaat ekonomi lebih besar. Sedangkan Li *et al* (2015) mengatakan bahwa lingkungan baik suhu, pH, kelembaban dan sifat material komposit mempengaruhi pelepasan nutrisi. Semakin tinggi salinitas, semakin rendah kelembaban, serta semakin tebal lapisan pelapis secara efektif menghambat pelepasan unsur hara. Oleh karena itu, perlu dikembangkan pupuk lepas lambat dengan menggunakan bahan ramah lingkungan dalam jumlah yang cukup dan dapat melepaskan nitrogen secara perlahan dengan biaya yang dapat diterima (Li *et al.*, 2015).

Pupuk lepas lambat sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen sekaligus produktivitas tanaman. Dengan memperlambat pelepasan nitrogen, dampak negatif terhadap lingkungan, seperti

pencemaran air akibat nitrat yang terbawa ke perairan, dapat dikurangi. Bentuk nitrogen anorganik seperti nitrat, nitrit, dan amonia menjadi indikator pencemaran air. Proses nitrifikasi berdampak besar pada kualitas lingkungan, karena oksidasi NH_4^+ yang stabil menjadi NO_3^- yang mudah larut dapat menyebabkan kontaminasi nitrat di air tanah (Yerizam *et al.*, 2017). Pupuk ketika berinteraksi dengan air memicu proses hidrolisis yang mengubah urea menjadi amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Reaksi ini berlangsung cepat dalam media air, sehingga menyebabkan urea cepat terlarut ke dalam air.

Reaksi hidrolisis urea tidak terjadi secara langsung menjadi amonia dan karbon dioksida, melainkan melalui tahapan berupa pembentukan karbammat (NH_2COOH). Karbammat adalah senyawa yang tidak stabil dan dengan cepat akan terurai, menghasilkan amonia (NH_3) dan karbon dioksida (CO_2). Amonia yang dihasilkan kemudian larut dalam air dan berikatan dengan ion hidrogen (H^+) dari air,

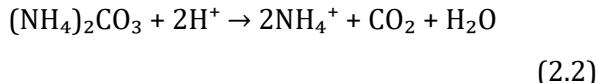
sehingga membentuk ion amonium (NH_4^+).

Reaksi hidrolisis urea menjadi amonia dapat dilihat pada mekanisme berikut:

1. Pembentukan amonium karbonat dengan air.



2. Karbonat terurai menjadi ion amonium, karbon dioksida, dan air.



3. Ionisasi amonium menjadi amonia



(Motasim *et al.*, 2024)

6. Analisis Urea Secara Spektrofotometer UV-Vis dengan Pengopleks p-DAB

Urea merupakan pupuk nitrogen yang banyak digunakan dalam sektor pertanian karena harganya yang relatif murah, dengan lebih dari 50% urea. Konsentrasi urea dapat dianalisis melalui berbagai metode, seperti metode enzimatik menggunakan urease, elektrokimia, kjeldahl, serta spektrofotometri. Spektrofotometri merupakan metode resmi

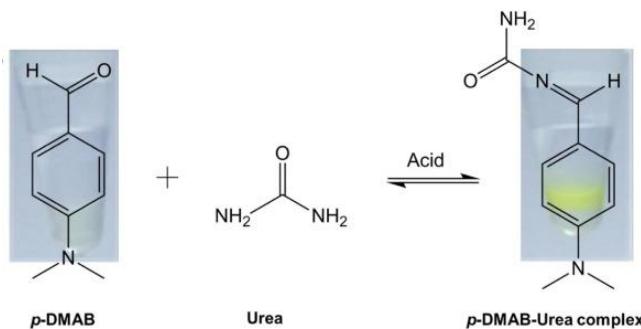
yang direkomendasikan AOAC Internasional untuk analisis urea (Phonchai *et al.*, 2020). Pengukuran konsentrasi urea dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Metode tidak langsung biasanya memanfaatkan enzim urease untuk menguraikan urea menjadi ammonium dan karbon dioksida, yang kemudian dianalisis. Namun, pendekatan ini memiliki kelemahan karena dapat terpengaruh oleh kondisi pH, keberadaan ion logam divalen, serta hidrolisis yang tidak sempurna. Sebaliknya, metode langsung melibatkan reaksi urea dengan senyawa aldehida atau keton dalam suasana asam, yang menghasilkan senyawa berwarna dari merah hingga kuning. Senyawa berwarna ini kemudian dapat dianalisis menggunakan teknik kolorimetri atau kromatografi cair (Langenfeld *et al.*, 2021).

Berbagai jenis reagen dapat digunakan dalam uji kolorimetri seperti xanthidrol, p-dimethylaminobenzaldehyde (p-DAB),

diasetil monoksim, dimetilglioksim (DMG), dan tiosemikarbazida. Pemilihan jenis reagen ini dapat memengaruhi kestabilan warna, waktu reaksi, dan sensitivitas metode. Jika dibandingkan dengan reagen lainnya, p-DAB dikenal memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi terhadap urea. Namun, reagen ini umumnya dalam bentuk larutan dan analisis menggunakan spektrofotometri yang cenderung kurang praktis untuk aplikasi di lapangan atau pengukuran secara langsung di lokasi (Phonchai *et al.*, 2020)

Analisis urea didasarkan pada pembentukan senyawa basa Schiff atau imina, yang terbentuk dalam kondisi asam dan menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap keberadaan urea. Reaksi antara p-DAB dan urea diawali dengan protonasi gugus dimetilamino, yang menyebabkan berkurangnya kepadatan elektron pada atom karbon karbonil, sehingga lebih rentan terhadap serangan nukleofilik oleh molekul urea. Hasil reaksi tersebut membentuk

senyawa basa Schiff berwarna kuning, yang dapat diamati secara visual. Efektivitas metode ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti konsentrasi reagen p-DAB, lama waktu reaksi, dan cara pengukuran warna yang digunakan (Phonchai *et al.*, 2020). Penentuan kadar urea dapat dilakukan menggunakan spektrofotometri, dengan p-DAB sebagai reagen. Penambahan reagen Ehrlich tersebut menghasilkan warna kuning yang menyerap cahaya tampak dalam rentang panjang gelombang 200-500 nm (Wang *et al.*, 2016). Berikut reaksi urea dengan p-DAB yang ditampilkan pada Gambar 2.6.



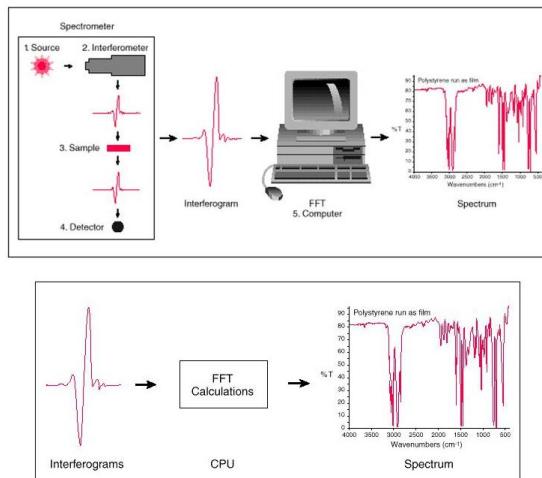
Gambar 2.6 Reaksi Urea dengan p-DAB
(Wang *et al.*, 2016)

B. Karakterisasi

1. Fourier Transform Infra-Red (FTIR)

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) adalah teknik yang menggunakan transformasi fourier untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum. Spektrum inframerah dibuat dengan melewatkkan cahaya melalui sampel, mengukur intensitas cahaya yang diterima detektor, dan membandingkan dengan intensitas sampel berdasarkan panjang gelombang. Hasil spektrum diplot sebagai intensitas terhadap energi, panjang gelombang (μm), atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Spektroskopi FTIR merupakan metode untuk mengidentifikasi getaran molekul dan dapat digunakan untuk memprediksi struktur senyawa kimia (Sulistyani & Huda, 2018). Spektroskopi FTIR juga dapat mengidentifikasi struktur senyawa organik maupun anorganik dengan mengukur serapan cahaya inframerah pada berbagai panjang gelombang. Spektrum FTIR menunjukkan interaksi senyawa kimia dalam matriks sampel kompleks dan

mengandung banyak informasi struktur molekular, termasuk pita serapan khas tiap molekul, sehingga dapat membedakan bahan baku yang mirip (Fithri *et al.*, 2022). Berikut kenampakan rangkaian instrumen FTIR dilihat pada Gambar 2.7



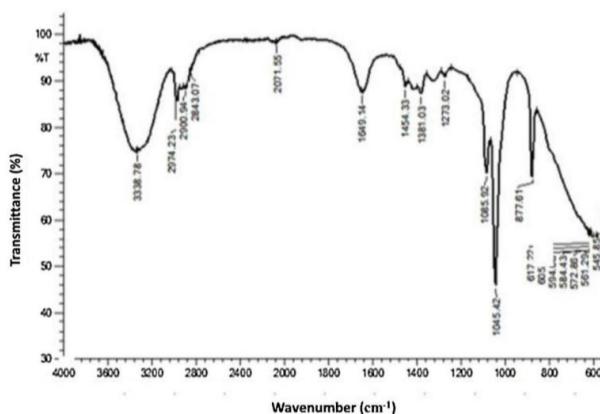
Gambar 2.7 Rangkaian Instrumen FTIR
(Nabitaliah, 2022)

Spektrofotometri *Infra-Red* adalah metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik pada panjang gelombang 0,75–1.000 μm atau bilangan gelombang 13.000–10 cm^{-1} . Teknik ini meliputi penyerapan, emisi, dan fluoresensi. Komponen

medan listrik yang berperan dalam spektroskopi biasanya melibatkan fenomena transmisi, refleksi, pembiasan, dan penyerapan, di mana penyerapan pada gelombang elektromagnetik menyebabkan eksitasi energi molekul seperti eksitasi elektronik, getaran, atau rotasi. Prinsip kerja spektrofotometri inframerah didasarkan pada fotometri, sinar cahaya inframerah yang merupakan gabungan berbagai panjang gelombang melewati interferometer dan kemudian difokuskan ke sampel. Cahaya yang berhasil ditransmisikan melewati sampel selanjutnya diarahkan ke detektor. Intensitas cahaya yang berubah menghasilkan gelombang interferensi, yang kemudian diubah menjadi sinyal oleh detektor. Sinyal ini diperkuat dan dikonversi menjadi sinyal digital. Pada sistem FTIR, radiasi laser diinterferensikan dengan radiasi inframerah agar sinyal inframerah diterima secara optimal oleh detektor dan dikirim ke komputer untuk dianalisis. FTIR juga dapat mengukur dengan cepat tanpa merusak gugus fungsi dan

beberapa komponen yang dapat dianalisis secara bersamaan. Hasil analisis gugus fungsi disajikan dalam bentuk grafik kurva relatif transmitansi (%) terhadap bilangan gelombang (cm^{-1}) (Nabitaliah, 2022). Pengujian dengan spektrofotometri FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung dalam lignin hasil isolasi.

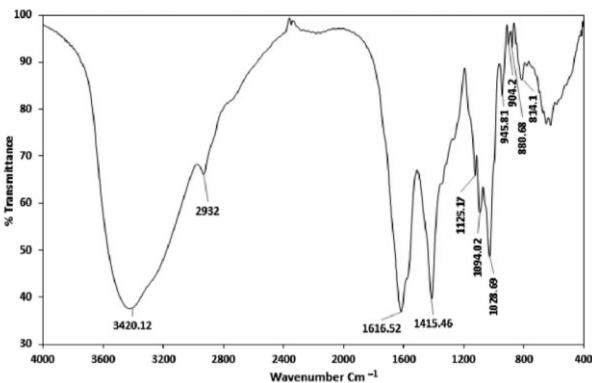
Berikut contoh hasil karakterisasi dari silika menggunakan instrumen FTIR pada Gambar 2.8:



Gambar 2.8 Hasil FTIR Silika
(Agi *et al.*, 2020)

Spektrum FTIR pada gugus silika yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 menunjukkan bahwa puncak lebar pada bilangan gelombang $3200\text{-}3600\text{ }cm^{-1}$ sesuai dengan vibrasi ulur -OH dari gugus hidroksil silanol ($\equiv\text{Si-OH}$). Puncak pada $2974\text{ }cm^{-1}$ dan $2843\text{ }cm^{-1}$ menunjukkan gugus -C-H, yang menunjukkan permukaan organik dan SiO_2 yang diperoleh dalam keadaan amorf. Vibrasi ulur $\equiv\text{Si-O}$ dari $\equiv\text{Si-OH}$ pita pada $1649\text{ }cm^{-1}$ menunjukkan deformasi molekul air yang diserap pada permukaan SiO_2 . Puncak pada $1454\text{ }cm^{-1}$ dan $1381\text{ }cm^{-1}$ disebabkan oleh gugus -OH, sedangkan puncak pada $1273\text{ }cm^{-1}$ dikaitkan dengan mode vibrasi jaringan SiO_2 . Puncak pada $1085\text{ }cm^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur asimetris Si-O dari $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$. Bahu lebar antara $1045\text{-}877\text{ }cm^{-1}$ dapat dikaitkan dengan vibrasi unit koordinasi tetrahedral SiO_4 (Agi *et al.*, 2020). Pita serapan yang menonjol pada bilangan gelombang $796\text{ }cm^{-1}$ dan $438\text{ }cm^{-1}$ disebabkan oleh vibrasi ulur dan tekuk O-Si-O (Bakar *et al.*, 2016).

Berikut contoh hasil karakterisasi dari alginat menggunakan instrumen FTIR pada Gambar 2.9:

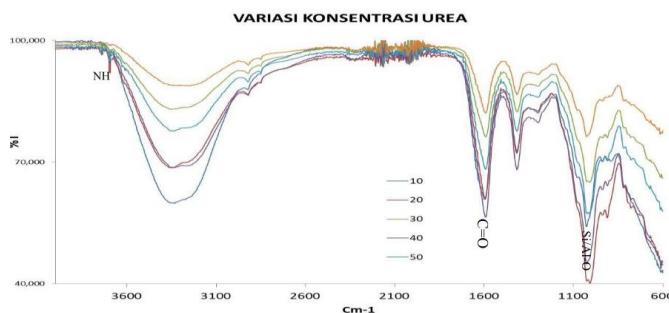


Gambar 2. 9 Hasil FTIR Alginat
(Fawzy *et al.*, 2017)

Spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 menunjukkan pita serapan natrium alginat. Pita lebar pada $3420,12 \text{ cm}^{-1}$ dan pada 2932 cm^{-1} masing-masing dikaitkan dengan vibrasi ulur O-H dan C-H yang terikat hidrogen. Vibrasi ulur asimetris dan simetris dari gugus karboksilat (COO^-) pada rangka polimer alginat muncul pada $1616,52 \text{ cm}^{-1}$ dan $1415,46 \text{ cm}^{-1}$, masing-masing dengan kontribusi deformasi C-OH pada sinyal pada

$1415,46\text{ }cm^{-1}$. Polisakarida yang diekstraksi tampaknya sebagian besar berupa natrium alginat tanpa jejak bentuk asam bebas dari alginat; karena tidak adanya pita gugus karbonil yang bergeser sebagai ester karboksilat, sekitar $1720\text{--}1730\text{ }cm^{-1}$. Pita pada $1125,17\text{ }cm^{-1}$ dan $1094,02\text{ }cm^{-1}$ dapat dikaitkan dengan vibrasi ulur C-O, dan vibrasi peregangan C-O (dan C-C) dari cincin piranosa, dengan pita pada $1028,69\text{ }cm^{-1}$ mungkin juga disebabkan oleh vibrasi peregangan C-O. Spektrum menunjukkan pita asam uranat pada $945,81\text{ }cm^{-1}$ yang dikaitkan dengan vibrasi ulur C-O. Selain itu, pada $904,2\text{ }cm^{-1}$ dan $814,1\text{ }cm^{-1}$ terkait dengan vibrasi cincin asimetris guluronat dan asam manuronat, masing-masing sinyal pada $880,68\text{ }cm^{-1}$ menunjukkan vibrasi deformasi dari asam manuronat (Fawzy *et al.*, 2017).

Adapun Gambar 2.10 merupakan hasil karakterisasi dari urea- lumpur PDAM-alginat menggunakan instrumen FTIR:



Gambar 2. 10 Hasil FTIR Urea-Lumpur PDAM-Alginat
(Astar & Suci, 2022)

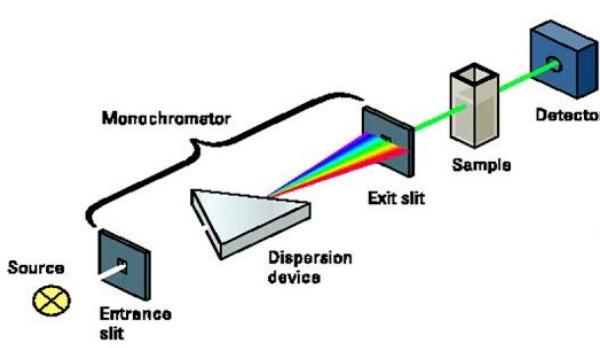
Analisis spektrum FT-IR urea-lumpur PDAM-alginat yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 pita pada panjang gelombang $3639,89\text{ cm}^{-1}$ dan $3690,9\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi asimetrik dan simetrik NH_2 ulur yang berasal dari urea dalam biokomposit. Serapan pada rentang $3400 - 3600\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah O-H ulur dari alginat. Pergeseran pita ke $3227,75\text{ cm}^{-1}$ menandakan vibrasi O-H akibat penyerapan air. Pergeseran vibrasi ulur C=O ke bilangan gelombang lebih rendah menunjukkan pembentukan ikatan hidrogen antara urea dan alginat. Selain itu, pada pita $912,98\text{ cm}^{-1}$, $913,61\text{ cm}^{-1}$, $1036,36\text{ cm}^{-1}$ dan $1038,93\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan. Gugus fungsi ini berperan

penting dalam mengikat urea selama proses pelapisan, sehingga membantu pembentukan lapisan pelindung pada pupuk urea lepas lambat (Astar & Suci, 2022).

2. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri adalah teknik yang menggunakan alat spektrofotometer untuk menganalisis komposisi sampel dengan cara mengukur interaksi cahaya dan materi. Spektrofotometri UV-Vis menggunakan cahaya ultraviolet dan cahaya tampak sebagai sumber radiasi. Spektroskopi UV-Vis adalah metode analisis yang efisien, murah, dan mudah untuk mengukur konsentrasi zat dalam larutan, yaitu spektrofotometer. Spektrofotometer adalah alat yang mengukur energi cahaya yang ditransmisikan, dipantulkan, atau dipancarkan oleh suatu sampel pada berbagai panjang gelombang. Spektrofotometer UV-Vis berkaitan dengan identifikasi dan kuantifikasi senyawa organik maupun anorganik dalam berbagai produk dan proses (Wahyuni *et al.*, 2022). Adapun kenampakan pada rangkaian

instrumen spektrofotometer UV-Vis pada Gambar 2.11



Gambar 2. 11 Rangkaian Instrumen Spektrofotometer UV-Vis
(Rohmah *et al.*, 2021)

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur seberapa banyak sinar *ultraviolet* dan cahaya tampak yang diserap atau diteruskan oleh suatu sampel pada berbagai panjang gelombang. Absorbansi radiasi dan panjang gelombang medium yang dilalui dijelaskan berdasarkan hukum *Lambert-Beer* (Miarti & Legasari, 2022). Sinar ultraviolet memiliki panjang gelombang 200–400 nm, sementara sinar tampak berada pada 400–800 nm. Keunggulan spektrofotometri yaitu mampu

menganalisis zat organik maupun anorganik secara selektif dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Analisis menggunakan spektrofotometer juga memberikan hasil yang cukup akurat dengan kesalahan sebesar 1-3%, instrumen ini juga digunakan untuk mengukur jumlah terkecil suatu zat (Rohmah *et al.*, 2021). Spektrofotometri juga memiliki kelemahan yaitu senyawa yang dianalisis harus memiliki ikatan rangkap terkonjugasi dan kromofor yang dapat menyerap pada panjang gelombang UV atau tampak. Selain itu, pH larutan, suhu, dan adanya zat pengotor dapat memengaruhi hasil pengukuran absorbansi (Tetha & Sugiarso., 2016).

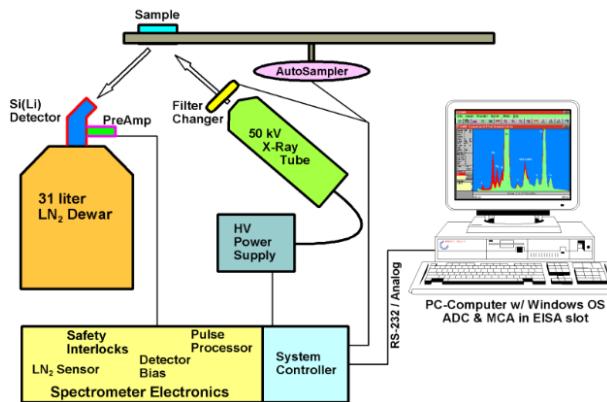
Spektrofotometer UV-Vis terdiri dari komponen sumber cahaya, monokromator, sel sampel, foto detektor, dan layar tampilan. Terdapat dua tipe utama yaitu *single beam* (berkas tunggal) yang hanya mengukur larutan sampel, dan *double beam* (berkas ganda) yang mengukur sampel serta blanko secara bersamaan. Prinsip kerjanya adalah cahaya

monokromatik melewati sampel sebagian cahaya diserap, dipantulkan, atau diteruskan sesuai panjang gelombangnya. Molekul dengan elektron π terkonjugasi atau elektron bebas akan mengalami transisi dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi (eksitasi) (Rohmah *et al.*, 2021).

3. X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis fluoresensi sinar-X (XRF) adalah metode untuk mengetahui jenis dan kadar dalam suatu bahan, baik padat, bubuk, maupun cair. Teknik ini bersifat non-destructif, tidak memerlukan persiapan sampel yang rumit, dan dapat digunakan secara kualitatif (jenis unsur) maupun kuantitatif (kadar unsur), dengan sensitivitas hingga satuan ppm (*part per million*). Metode XRF memiliki keunggulan seperti biaya rendah, analisis cepat, hasil akurat, dan alat yang stabil. Prinsip kerjanya didasarkan pada interaksi antara sinar-X dan atom di permukaan sampel. Analisis kualitatif ditunjukkan melalui spektrum energi unsur, sementara analisis kuantitatif menunjukkan konsentrasi unsur dalam sampel

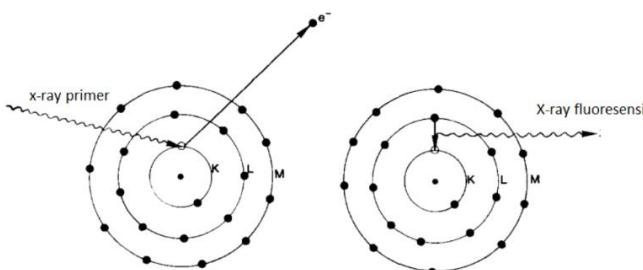
(Malik, 2023). Berikut adalah instrumen *X-Ray Floourescence* (XRF) pada Gambar 2.12



Gambar 2. 12 Rangkaian *X-Ray Floourescence* (XRF)
(Malik, 2023)

Analisis XRF dilakukan dengan mendeteksi sinar-X khas yang dihasilkan oleh efek fotolistrik. Efek ini terjadi saat elektron dalam atom sampel dilepaskan karena terkena sinar berenergi tinggi, seperti sinar-X atau gamma, yang energinya melebihi ikatan elektron di orbit K, L, atau M, maka elektron dari atom tersebut akan terlepas dari orbitnya. Ketika elektron dalam atom lepas, akan terbentuk kekosongan yang kemudian diisi oleh elektron dari tingkat energi lebih tinggi.

Proses ini melepaskan energi dalam bentuk sinar-X. Sinar-X tersebut terdiri dari spektrum kontinu dan spektrum diskrit (karakteristik), tergantung pada perpindahan elektron dalam atom. Spektrometri XRF menangkap sinar-X ini untuk menganalisis unsur-unsur dalam suatu bahan (Indira & Khair, 2023). Berikut efek fotolistrik XRF pada Gambar 2.13

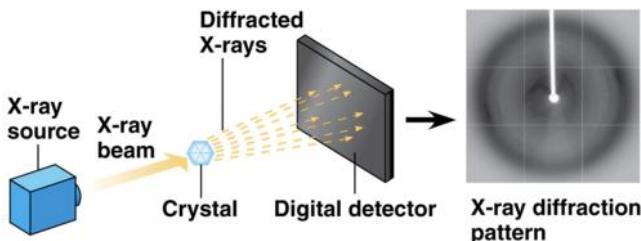


Gambar 2. 13 Efek Fotolistrik XRF
(Indira & Khair, 2023).

4. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difraksi Sinar-X (XRD) merupakan karakterisasi yang digunakan untuk mengenali fase kristal dalam suatu material, baik secara kualitatif maupun semi-kuantitatif. Teknik ini bersifat non-destruktif, sehingga bernilai karena mampu memperoleh informasi yang

cukup banyak meskipun hanya memerlukan sampel dalam jumlah kecil. Ketika Sinar-X berinteraksi dengan atom-atom dalam struktur periodik (material kristalin), elektron-elektron dalam atom tersebut akan memancarkan gelombang elektromagnetik ke segala arah dengan panjang gelombang (λ) sesuai dengan radiasi yang diterimanya. Setiap fase kristal akan menghasilkan pola difraksi karakteristik (Mouziraji *et al.*, 2024). Struktur kristal suatu material dapat dianalisis menggunakan metode difraksi. Difraksi sendiri merupakan teknik eksperimen berbasis hamburan elastis, di mana perubahan atau transfer energi selama proses hamburan dianggap tidak signifikan. Melalui metode ini, dapat diperoleh informasi mengenai koordinat atom dalam kristal, yang menjadi dasar utama dalam menentukan sifat dan karakteristik material secara umum (Hakim & Nawir, 2019). Berikut penampilan dari rangkaian instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) pada Gambar 2.14



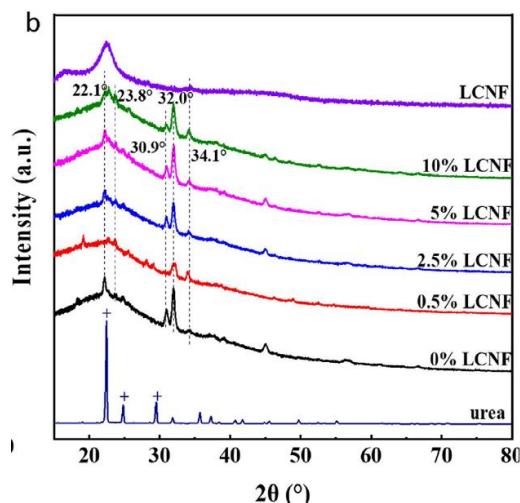
Gambar 2. 14 Rangkaian X-Ray Diffraction (XRD)
(Hakim & Nawir, 2019)

Prinsip dasar difraksi sinar-X (XRD) adalah menganalisis pola difraksi yang dihasilkan ketika cahaya melewati kisi kristal. Difraksi terjadi apabila panjang gelombang radiasi yang digunakan sebanding dengan jarak antar atom dalam kristal, yakni sekitar 1\AA . Radiasi yang biasa digunakan meliputi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik berenergi tinggi ($0,5\text{--}2,5\text{ \AA}$) yang saat diarahkan ke material akan diserap, diteruskan, atau dihamburkan sebagian. Hamburan kemudian terdeteksi sebagai sinyal difraksi oleh alat XRD. Proses ini, sebagian gelombang yang terhambur dapat mengalami interferensi destruktif (saling meniadakan karena beda fase), dan sebagian

lainnya mengalami interferensi konstruktif (saling menguatkan karena berada dalam fase yang sama). Gelombang yang mengalami interferensi konstruktif inilah yang disebut sebagai sinar difraksi. Syarat terbentuknya sinar difraksi dijelaskan melalui *Hukum Bragg*, yang menetapkan kondisi tertentu agar gelombang hamburan tersebut dapat membentuk pola difraksi. Secara umum, prinsip kerja XRD melibatkan tiga bagian utama yaitu, tabung sinar-X, tempat sampel, dan detektor sinar-X. Dalam tabung, katoda memanaskan filamen untuk menghasilkan elektron.

Perbedaan tegangan menyebabkan elektron dipercepat dan diarahkan menuju sampel. Elektron dengan energi tinggi ini kemudian menabrak atom dalam sampel, sehingga memancarkan sinar-X. Baik sampel maupun detektor akan berputar untuk menangkap dan merekam intensitas sinar-X yang dipantulkan. Data sinar-X tersebut kemudian direkam oleh detektor dan diolah

menjadi grafik (Hakim & Nawir, 2019). Contoh hasil analisis XRD urea disajikan pada Gambar 2.15 sebagai berikut:



Gambar 2. 15 Difraktogram Urea
(Lu *et al.*, 2024)

Hasil analisis XRD menunjukkan adanya beberapa puncak difraksi tajam yang mengindikasikan sifat kristalin dari urea. Puncak-puncak difraksi khas yang muncul pada sudut $2\theta = 22,5^\circ, 24,9^\circ, 29,5^\circ, 35,7^\circ$, dan $37,3^\circ$ merupakan puncak karakteristik dari struktur kristal urea (Lu *et al.*, 2024).

Berikut contoh hasil karakterisasi dari urea-alginat menggunakan instrumen XRD pada Gambar 2.16:

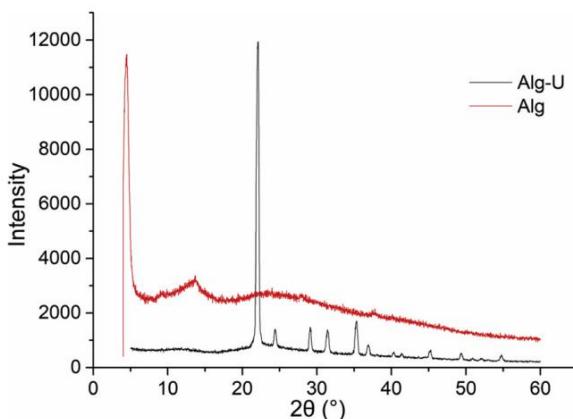


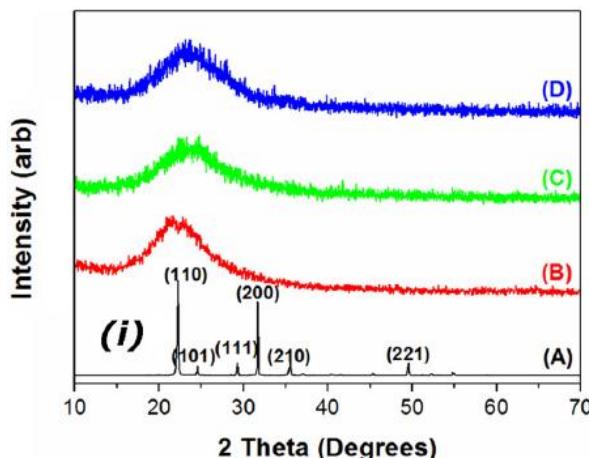
Fig. 4. XRD patterns of the Alg-U and Alg.

**Gambar 2. 16 Difraktogram Urea- Alginat
(Fan *et al.*, 2019)**

Pola XRD pada rentang sudut $4\text{--}60^\circ$ untuk alginat beku-kering dan kompleks Alg-U pengambilan sampel ditampilkan pada Gambar 2.16. Pola difraksi Alg menunjukkan puncak lebar yang khas pada sudut $2\theta = 4,5^\circ, 12,7^\circ$, dan $23,9^\circ$, yang mencerminkan struktur kristalin dari alginat. Namun, puncak-puncak karakteristik tersebut tidak ditemukan pada pola Alg-U. Sebaliknya, pola XRD Alg-U

menampilkan satu puncak kristal yang tajam pada dengan puncak difraksi $2\theta = 22,12^\circ$, yang menjadi indikasi adanya interaksi antara alginat dan urea. Hal ini menunjukkan bahwa struktur kompleks tersebut berubah, kemungkinan karena terbentuknya ikatan hidrogen dan adanya interaksi hidrofobik (Fan *et al.*, 2019).

Contoh hasil karakterisasi urea-silika menggunakan instrumen XRD disajikan pada Gambar 2.17:



Gambar 2. 17 Difraktogram Urea-Silika
(Silva *et al.*, 2020)

Pola XRD yang ditampilkan pada Gambar 2.17 dari hasil sintesis nanohibrida urea-silika menunjukkan bahwa sampel nanopartikel silika yang dikeringkan menggunakan gelombang mikro (SMW) (C) dan oven (SOD) (D) memiliki kemiripan yang sangat tinggi dengan difraktogram nanopartikel silika murni (B). Hal ini mengindikasikan bahwa proses enkapsulasi urea tidak menyebabkan perubahan signifikan pada struktur nanopartikel silika. Namun, puncak kristal yang berasal dari urea (A) tidak terlihat dalam difraktogram, yang menunjukkan bahwa sifat kristal urea murni hilang selama enkapsulasi akibat adanya interaksi dengan nanopartikel silika (de Silva *et al.*, 2020)

C. Kajian Riset Yang Relavan

Pada penelitian Udaibah dan Priyanto (2017) mengenai sintesis silika dari abu daun bambu petung, silika murni dapat diperoleh dengan menggunakan metode sol gel. Meliputi pencucian daun bambu petung, pembakaran pada suhu 800°C, pembentukan natrium silikat dengan NaOH 4M, pembentukan gel dengan HCl

1M, pengeringan gel dalam oven pada suhu 80°C dan dikalsinasi kembali pada suhu 400°C. Hasil sintesis silika murni dari abu daun bambu petung diperoleh sebesar 58,3%.

Penelitian Astar dan Suci (2022) yaitu tentang pelapisan urea dengan lumpur PDAM-alginat untuk pupuk lepas lambat, dengan menguji pelepasan nitrogen pada konsentrasi urea 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% selama 72 jam, dengan hasil pelepasan berturut-turut 12,80%, 19,33%, 4,00%, 8,39%, dan 6,20%. Pelepasan terbaik terjadi pada komposisi urea 30%, dengan pelepasan 4% dalam 72 jam. Penelitian ini menjelaskan bahwa lumpur PDAM memiliki struktur berpori yang membuat urea dapat masuk dan terperangkap di dalamnya, kemudian alginat dapat melapisi campuran tersebut sebagai pengontrol pelepasan. Maka, pelapisan urea menggunakan biokomposit lumpur PDAM-alginat efektif sebagai pupuk lepas lambat.

Penelitian Lestari *et al.* (2022) mengembangkan hidrogel *superabsorbent* dari

natrium alginat-bentonit sebagai pelapis pupuk lepas lambat. Bentonit digunakan dalam penelitian ini karena memiliki struktur berpori, yang nantinya urea akan masuk ke dalam pori-pori tersebut. Hidrogel ini disintesis dengan penambahan agen pengikat silang CaCl_2 dan epiklorohidrin. Hasil BAC2 (bentonit-alginat-epiklorohidrin) menunjukkan performa lebih baik dibanding BAC1 (bentonit-alginat- CaCl_2), lepas lambat urea sebesar 4,67% selama 180 menit.

Berdasarkan kajian pustaka, peneliti ingin membuat pupuk lepas lambat dengan cara memodifikasi pupuk menggunakan silika yang dibuat melalui metode sol-gel. Selain itu, akan ditambahkan polimer alginat sebagai pelapis pupuk. Pada penelitian sebelumnya, pupuk lepas lambat dibuat dengan bahan bentonit dan lumpur dari PDAM. Karena itu, peneliti ingin mengembangkan pupuk lepas lambat nitrogen yang berbahan dasar silika dari sekam padi, urea, dan alginat.

D. Hipotesis

Silika mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen dengan urea, yang terjadi antara atom hidrogen dari gugus NH₂ dalam urea dan atom oksigen pada silika. Interaksi ini dapat mempengaruhi mekanisme pelepasan urea. Alginat juga mampu membentuk ikatan hidrogen dengan baik pada urea maupun silika, serta berfungsi dalam membentuk lapisan luar dari pupuk urea. Kombinasi antara urea-silika-alginat dalam sistem pupuk lepas lambat diharapkan dapat mengontrol proses penyerapan dan pelepasan urea secara bertahap.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, yang meliputi preparasi silika sekam padi, pembuatan larutan alginat, sintesis *beads* urea-silika-alginat, dan uji lepas lambat. Karakterisasi sampel dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Laboratorium Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, dan Laboratorium Universitas Negeri Malang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas beaker, tabung reaksi, pemanas, batang pengaduk, termometer, magnetik stirrer, kaca arloji, pipet tetes, cawan porselin, oven, labu kerucut, jarum suntik (*syringe*), inkubator,

dan ayakan 100 *mesh*. Sedangkan instrumen yang dipakai adalah spektrofotometer UV-Vis Thermo Scientific Aquamate 8000, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) Bruker Alpha II yang tersedia di UIN Walisongo Semarang. Kemudian *X-Ray Flourescence* (XRF) PANalytical Minipal 4 yang tersedia di Universitas Negeri Malang, dan *X-Ray Diffraction* (XRD) Empyrean Alpha-1 yang tersedia di UPNV Yogyakarta.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah sekam padi dari Desa Bangunsari Kec. Pamarican Kab. Ciamis Jawa Barat, aquades, serta bahan-bahan kimia produksi *Merck* dengan kualitas *Pro* analisis yaitu, etanol 96% (C_5H_5OH), asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), kalsium klorida ($CaCl_2$) 6%, para-dimetilaminobenzaldehida (p-DAB), pupuk urea $CO(NH_2)_2$, dan natrium alginat ($C_6H_8O_6$)_n dari *Sigma-Aldrich*.

C. Prosedur Kerja

1. Preparasi Silika Abu Sekam Padi

Preparasi abu sekam padi untuk memperoleh silika, diawali dengan mencuci sekam padi menggunakan aquades untuk menghilangkan pengotor, kemudian ditiriskan dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari hingga kering merata. Setelah itu, sekam padi yang kering dikalsinasi dalam *furnace* selama 2 jam pada suhu 800°C (Udaibah & Priyanto, 2017).

Abu sekam padi hasil kalsinasi dicampur dengan NaOH 4M pada suhu 105°C sambil diaduk selama 90 menit. Campuran kemudian disaring untuk memisahkan residu dan filtrat. Residu difurnace pada suhu 500°C selama 30 menit. Padatan tersebut ditambahkan 200 mL aquades dan didiamkan selama 3 malam hingga terbentuk larutan natrium silikat (Na_2SiO_3). Larutan ini kemudian ditambahkan dengan HCl 1M tetes demi tetes hingga pH=7 dan membentuk gel. Gel dicuci dengan aquades, kemudian gel dikeringkan dalam oven selama 3

jam pada suhu 80°C. Silika yang dihasilkan dihaluskan dan diayak dengan ayakan 100 mesh, lalu difurnace kembali pada suhu 400°C selama 4 jam (Udaibah & Priyanto, 2017). Setelah itu, serbuk silika dikarakterisasi dengan FTIR dan XRF untuk mengetahui kadar silika.

2. Pembuatan *Beads* Urea-Alginat (UA) dan Urea-Silika-Alginat (USA)

Urea sebanyak 0,6 g dilarutkan ke dalam 25 mL aquades dan diaduk dengan menggunakan magnetik stirrer selama 1 jam hingga homogen. Selanjutnya, 0,75 g alginat dilarutkan ke dalam 25 mL aquades dan diaduk selama 1 jam hingga homogen. Larutan urea dicampurkan ke dalam larutan alginat dan diaduk kembali selama 2 jam agar tercampur dengan baik. Kemudian campuran di ekstruksi ke dalam larutan CaCl_2 6%. Ekstruksi dilakukan memakai *syringe*, maka akan terbentuk *beads* urea-alginat (UA). *Beads* kemudian dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60°C (Farikhah *et al.*, 2017).

Pembuatan *beads* urea-silika-alginat (USA) dilakukan dengan prosedur yang sama, yaitu sebanyak 0,6 g urea dan 2,25 g silika dicampurkan ke dalam 25 mL aquades, sementara 0,75 g alginat dilarutkan secara terpisah ke dalam 25 mL aquades. Larutan urea-silika kemudian dicampurkan ke dalam larutan alginat. Campuran tersebut lalu di ekstruksi ke dalam larutan CaCl_2 6% dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 60°C. Selanjutnya, *beads* yang diperoleh akan dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRD.

3. Tahap Pengujian Lepas Lambat *Beads UA* dan *USA*

a) Penetapan Bilangan Gelombang Maksimum

Sebanyak 1 g p-DAB dilarutkan dalam campuran 10 mL HCl 0,1 M dan 50 mL etanol 96%, lalu diaduk hingga homogen. Larutan standar urea 500 mg/L dibuat dengan melarutkan 0,2765 g urea dalam 250 mL aquades. Selanjutnya, 4 mL larutan

standar urea 500 mg/L dan 6 mL larutan pengompleks dimasukkan ke dalam labu takar 10 mL. Larutan blanko dibuat dengan mencampur 4 mL aquades dan 6 mL larutan pengompleks ditambahkan ke dalam labu takar. Semua larutan dibiarkan bereaksi selama 1 jam. Setelah itu, absorbansi larutan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-500 nm dan *interval* 1 nm untuk menentukan panjang gelombang (λ) maksimum (Azizati, 2017).

b) Pembuatan Larutan Standar

Pertama membuat larutan induk urea 500 mg/L, dengan melarutkan 0,2765 g urea murni ke dalam labu takar 250 mL aquades. Larutan standar dibuat dengan konsentrasi 200, 250, 300, 350, 400 dan 500 mg/L. Konsentrasi larutan standar, masing-masing diambil 4 mL dan ditambahkan 6 mL larutan pengompleks hingga konsentrasi menjadi 80, 100, 120, 140, 160 dan 200 mg/L. Larutan didiamkan

selama 1 jam untuk memastikan reaksi peng kompleksan berlangsung sempurna. Setelah itu, pengukuran absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang (λ) maksimumnya (Azizati, 2017).

**c) Penetapan Kadar Urea dalam Urea,
*Beads UA dan USA***

Sebanyak 0,25 g urea digerus halus, lalu dicampur dengan 50 mL aquades dan didiamkan selama 24. Selanjutnya, 4 mL larutan diambil dan dicampur dengan 6 mL larutan peng kompleks, kemudian diukur nilai absorbansinya menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi urea dalam pupuk lepas lambat pada panjang gelombang maksimum (Xia *et al.*, 2020). Lakukan hal yang serupa pada *beads UA* dan *USA*.

d) Pengujian Lepas Lambat Urea, *Beads* UA dan USA

Sebanyak 50 mL aquades digunakan untuk merendam urea, kemudian 0,25 g sampel ditambahkan ke dalam erlenmeyer berisi 50 mL aquades. Sebanyak 4 mL larutan diambil dari wadah yang sama pada interval waktu 0, 5, 15, 20, 30, 60, dan 90 menit, kemudian ditambahkan 6 mL larutan peng kompleks. Konsentrasi urea selanjutnya diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (λ maks) (Xia *et al.*, 2020). Lakukan hal yang serupa pada *beads* UA dan USA.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan proses pembuatan pupuk lepas lambat nitrogen berbasis silika sekam padi-urea dengan penambahan alginat. Kegiatan penelitian ini juga dilakukan untuk membandingkan dan mengetahui bagaimana pelepasan urea pada urea; urea-alginat (UA); dan urea-silika-alginat (USA). Masing-masing pupuk lepas lambat urea dengan variasi tersebut akan dikarakterisasi dengan spektrofotometer FT-IR, *X-Ray Flourescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan analisis kadar urea dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan penambahan reagen pDAB sebagai larutan pengopleks. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil dan pembahasan sebagai berikut.

A. Preparasi Silika Abu Sekam Padi

Silika yang digunakan pada penelitian ini merupakan silika dari sekam padi. Limbah sekam padi yang diperoleh mula-mula dibersihkan menggunakan aquades yang bertujuan untuk

menghilangkan senyawa pengotor yang ada. Selanjutnya sekam padi dilakukan proses kalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 800°C selama 2 jam. Proses kalsinasi ini bertujuan untuk membentuk abu sekam padi. Suhu 800°C adalah suhu yang dapat menghasilkan silika dengan kualitas yang baik, dimana semakin tinggi suhu, maka kemurnian yang dihasilkan semakin besar. Suhu 800°C juga digunakan karena suhu ideal untuk memperoleh silika, suhu ini juga cukup efisien dalam menghilangkan kandungan pengotor organik maupun anorganik tanpa menimbulkan reaksi yang tidak diinginkan. Proses pemanasan juga bertujuan untuk menghilangkan bagian organik dari sekam padi yaitu selulosa, hemiselulosa dan ligin, sehingga hanya tersisa bagian anorganiknya saja yaitu silika (SiO_2) dan abu yang dihasilkan dalam proses kalsinasi sekam padi berwarna putih keabu-abuan. Menurut Udaibah dan Priyanto (2017), sintesis silika dari daun bambu petung menghasilkan abu berwarna abu-abu (Udaibah & Priyanto, 2017). Berikut

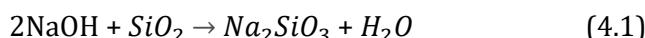
adalah foto hasil kalsinasi abu sekam padi yang disajikan pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Hasil Kalsinasi Silika dari Sekam Padi

Sebanyak 20 g abu sekam padi yang telah dikalsinasi kemudian ditambahkan 160 mL NaOH 2M pada suhu 105°C selama 90 menit. Langkah ini bertujuan untuk mereaksikan silika pada abu sekam dengan natrium hidroksida sehingga membentuk natrium silika (Na_2SiO_3). Larutan tersebut kemudian disaring untuk memisahkan residu dan filtrat, kemudian residu yang dihasilkan diambil dan selanjutnya difurnace kembali pada suhu 500°C selama 30 menit hingga menjadi padatan berwarna coklat keputihan. Tujuan

perlakuan tersebut yaitu untuk mempercepat proses pembentukan natrium silikat dari abu sekam padi. Padatan tersebut selanjutnya ditambahkan dengan 200 mL aquades dan didiamkan selama 3 malam hingga membentuk larutan natrium silikat. Larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan yang tidak larut, sehingga pada penelitian ini larutan yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan (Udaibah & Priyanto, 2017). Reaksi yang terjadi pada proses ini terdapat pada persamaan 4.1.



Pada persamaan 4.1 ketika suhu tinggi, NaOH akan mencair dan mengalami disosiasi sempurna menjadi ion natrium (Na^+) dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu, pada struktur silika (SiO_2), atom oksigen yang memiliki elektronegativitas tinggi menyebabkan atom silikon menjadi lebih elektropositif. Hal ini memungkinkan terbentuknya spesies intermediet berupa (SiO_2OH) yang bersifat tidak stabil. Ketidakstabilan ini menyebabkan

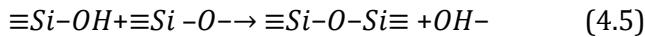
terjadinya proses dehidrogenasi, di mana ion hidroksil (OH^-) kemudian bereaksi dengan ion hidrogen (H^+) untuk membentuk molekul air. Reaksi ini berkontribusi pada mekanisme pembentukan struktur silika yang lebih stabil melalui proses kondensasi. Proses ini diikuti dengan dehidrogenasi, dimana ion hidroksil kedua mengikat hidrogen untuk membentuk molekul air. Dua ion natrium akan menyeimbangkan muatan negatif yang terbentuk dan berinteraksi dengan ion silikat (SiO_3^{2-}) sehingga menghasilkan natrium silikat (Udaibah & Priyanto, 2017).

Larutan natrium silikat lalu ditambahkan dengan asam klorida (HCl) tetes demi tetes dan diaduk terus menerus menggunakan magnetik stirer untuk menghasilkan dan mengendapkan silika, hingga pH netral ($\text{pH}=7$) yang ditandai dengan terbentuknya gel. Silika mulai membentuk gel pada pH di bawah 10, rentang pH ini dipilih didasarkan pada karakteristik silika yang tidak larut dalam kondisi netral, sehingga kondisi tersebut dianggap optimal untuk memaksimalkan proses pengendapan silika. Penambahan HCl

dengan pengadukan dapat meningkatkan kadar silika yang dihasilkan. Gel silika yang dihasilkan lalu dicuci dengan aquades untuk menghilangkan garam NaCl yang merupakan produk sampingan dari reaksi pembentukan silika gel. Proses ini meliputi 2 tahap yaitu pelarutan dengan basa dan pengendapan dengan asam seperti reaksi persamaan 4.2.



Penambahan HCl hingga pH netral pada larutan Na_2SiO_3 menyebabkan penurunan pH, sehingga konsentrasi H^+ meningkat. Ion H^+ ini bereaksi dengan ion silikat (SiO_3^{2-}) dalam larutan, membentuk asam silikat (H_2SiO_3). Reaksi ini menyebabkan sebagian gugus siloksida ($Si-O^-$) pada permukaan silikat berubah menjadi gugus silanol ($Si-OH$). Asam silikat ini kemudian membentuk senyawa silanol $Si(OH)_4$ dan mengalami proses kondensasi, yaitu reaksi antar gugus -OH yang menghasilkan molekul air dan membentuk ikatan siloksan ($\equiv Si-O-Si \equiv$). Berikut persamaan reaksinya pada 4.3, 4.4 dan 4.5:

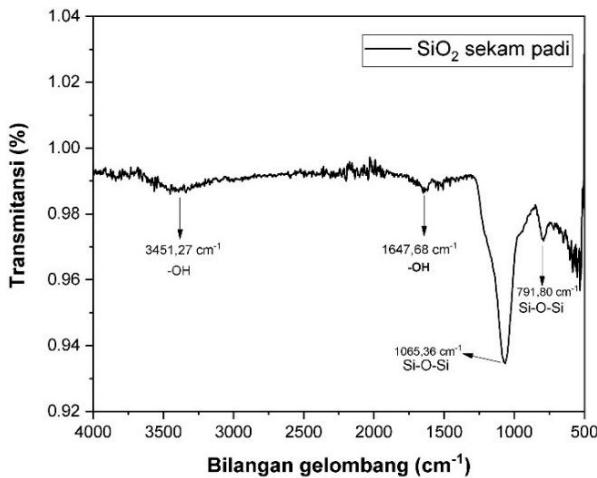


Gel silika selanjutnya dikeringkan pada suhu 80°C selama 3 jam yang bertujuan untuk menguapkan air yang tersisa pada gel silika. Gel silika yang sudah kering digerus dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran yang sama serta untuk mempermudah tahapan selanjutnya. Serbuk silika kemudian dikalsinasi kembali selama 4 jam pada suhu 400°C yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang tersisa dan meningkatkan kemurnian silika, sehingga dihasilkan serbuk silika putih yang diinginkan (Udaibah & Priyanto, 2017). Hasil sintesis silika dari 20 g abu sekam padi hanya diperoleh sekitar 1,57 g silika murni, dengan rendemen silika yang dihasilkan sebesar 7,85%. Hasil sintesis silika dari sekam padi dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Hasil Sintesis Silika

Serbuk silika yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsional yang ditemukan dalam silika, analisis dengan instrumen FTIR diperlukan untuk mengetahui dengan jelas gugus fungsi, jenis vibrasi, dan bilangan gelombang pada sampel silika yang ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Spektrum FTIR silika

Pada Gambar 4.3 tampak adanya puncak serapan pada bilangan gelombang tertentu, spektrum hasil sintesis dapat dilihat pada Tabel 4.1. Tabel tersebut terlihat adanya puncak serapan pada bilangan gelombang $3451,27\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya vibrasi ulur dari gugus -OH dalam Si-OH, pada bilangan gelombang tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian Agi *et al* (2020) yang mengatakan bahwa vibrasi ulur gugus -OH dalam Si-OH muncul pada rentang $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ (Agi *et al.*, 2020) . Pada rentang bilangan gelombang $3200\text{-}3700\text{ cm}^{-1}$ secara umum menunjukkan adanya serapan dari gugus -OH yang

mengindikasikan interaksi antara gugus silanol dan molekul air, membentuk ikatan hidrogen yang menyebabkan vibrasi sempurna, seperti yang dijelaskan oleh Nurmazaya *et al* (2022).

Bilangan gelombang $1647,68\text{ cm}^{-1}$ terlihat puncak vibrasi tekuk dari gugus -OH yang berasal dari Si-OH. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Imoisili *et al* (2020) yang menunjukkan puncak serapan pada rentang $1633\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan tanda adanya deformasi vibrasi molekul air dari molekul air yang diserap pada permukaan silika. Kemudian puncak serapan tajam pada bilangan gelombang $1065,36\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetris dari ikatan Si-O dalam struktur Si-O-Si, puncak ini merupakan ciri khas dari jaringan silika. Sementara itu, pada bilangan gelombang $791,80\text{ cm}^{-1}$ muncul puncak serapan yang menunjukkan adanya vibrasi ulur simetris dari Si-O dalam Si-O-Si (Imoisili *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil spektrum FTIR, silika hasil sintesis dari sekam padi diketahui mempunyai

gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) yang menandakan bahwa silika berhasil disintesis. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Udaibah dan Priyanto (2017) mengenai sintesis silika dari daun bambu petung, yang menunjukkan bahwa proses sintesis silika yang dilakukan berhasil.

Tabel 4. 1 Perbandingan Spektrum Hasil Sintesis dengan Referensi

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
		Rentang cm^{-1}	Hasil Sintesis cm^{-1}
1.	Vibrasi ulur -OH dalam Si-OH	3200-3600 (a)	3451,27
2.	Vibrasi tekuk -OH dalam Si-OH	1633-1650 (b)	1647,68
3.	Vibrasi ulur asimetris Si-O dalam Si-O-Si	1071-1090 (b)	1065,36
4.	Vibrasi ulur simetris Si-O dalam Si-O-Si	791- 807 (b)	791,80

- a) (Agi *et al.*, 2020)
b) (Imoisili *et al.*, 2020)

Selanjutnya untuk mengetahui kandungan silika, maka dilakukan analisis dengan *X-ray Fluorescence* (XRF) yang ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data XRF Komposisi Silika

Senyawa	Konsentrasi (%)
SiO ₂	98,90
CaO	0,535
MnO	0,160
Fe ₂ O ₃	0,283
CuO	0,038
ZnO	0,007
Eu ₂ O ₃	0,010
Re ₂ O ₇	0,063

Berdasarkan Tabel 4.2, hasil analisis XRF, diketahui bahwa kandungan silika (SiO₂) yang dihasilkan mencapai 98,90%. Meskipun demikian analisis juga mengidentifikasi keberadaan sejumlah logam lain seperti CaO, MnO, Fe₂O₃, CuO, ZnO, Eu₂O₃ dan Re₂O₇ dalam sejumlah kecil. Keberadaan oksida-oksida logam ini kemungkinan besar disebabkan oleh proses pencucian yang kurang optimal selama sintesis, sehingga beberapa senyawa pengotor tidak sepenuhnya hilang.

Berdasarkan literatur sebelumnya, kandungan silika dalam abu sekam padi berkisar antara 86,9-97,80% (Handayani *et al.*, 2014).

B. Pembuatan *Beads* UA dan USA

Proses pembuatan *beads* berbahan urea-alginat (UA) sebanyak 0,6 g urea dilarutkan ke dalam 25 mL aquades, sementara 0,75 g alginat dilarutkan secara terpisah ke dalam 25 mL aquades. Larutan urea kemudian dicampurkan ke dalam larutan alginat, dan campuran UA yang telah homogen lalu diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 6%. Proses ini menghasilkan pembentukan *beads*, yang kemudian didiamkan selama 24 jam untuk mengoptimalkan pembentukan ikatan silang, sehingga diperoleh *beads* yang kaku dan berbentuk bulat. *Beads* yang telah terbentuk kemudian dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan sisa reagen yang belum bereaksi dengan sempurna dan kontaminan yang tidak diinginkan. Dalam proses ini, larutan CaCl_2 berperan sebagai agen pengikat silang dalam proses pembuatan *beads* pada pupuk lepas lambat. Ion Ca^{2+} membentuk jaringan gel padat yang dapat melapisi urea dengan baik,

mengatur pelepasan zat secara perlahan, serta meningkatkan stabilitas fisik pada struktur *beads*. Penggunaan larutan CaCl_2 6% menghasilkan *beads* yang lebih bulat dan ketebalan yang lebih tinggi, sehingga *beads* menjadi lebih tahan terhadap pembengkakan (*swelling*) serta memungkinkan pelepasan urea berlangsung secara bertahap. Setelah itu, *beads* dikeringkan di dalam oven hingga benar-benar kering selama 24 jam pada suhu 60°C.

Pada pembuatan *beads* USA dilakukan hal yang serupa yaitu sebanyak 0,6 g urea dan 2,25 g silika dilarutkan ke dalam 25 mL aquades, sementara 0,75 g alginat dilarutkan secara terpisah ke dalam 25 mL aquades. Larutan urea-silika kemudian dicampurkan ke dalam larutan alginat, dan campuran USA yang telah homogen lalu diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 6%. *Beads* dicuci dengan aquades dan dikeringkan di dalam oven hingga benar-benar kering selama 24 jam pada suhu 60°C. Urea; UA; USA dapat ditampilkan pada Gambar 4.4.

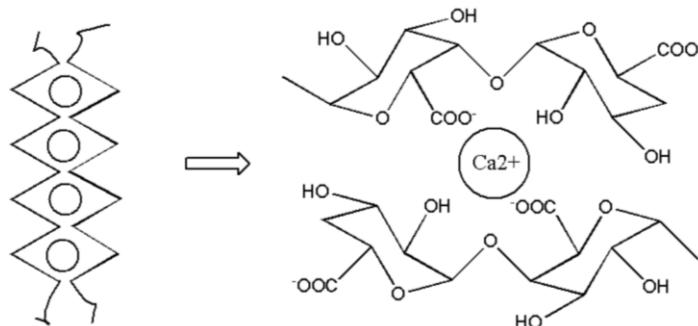


Gambar 4.4 Pupuk (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA

Beads hasil sintesis UA, yang ditampilkan pada Gambar 4.4 (b) memiliki warna kuning kecoklatan. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh komposisi alginat yang lebih besar dibandingkan urea, sehingga warna *beads* yang dihasilkan cenderung lebih gelap. Berbeda dengan pupuk urea murni yang tampak bening (a) dan *beads* USA (c) yang tampak berwarna putih akibat adanya penambahan silika.

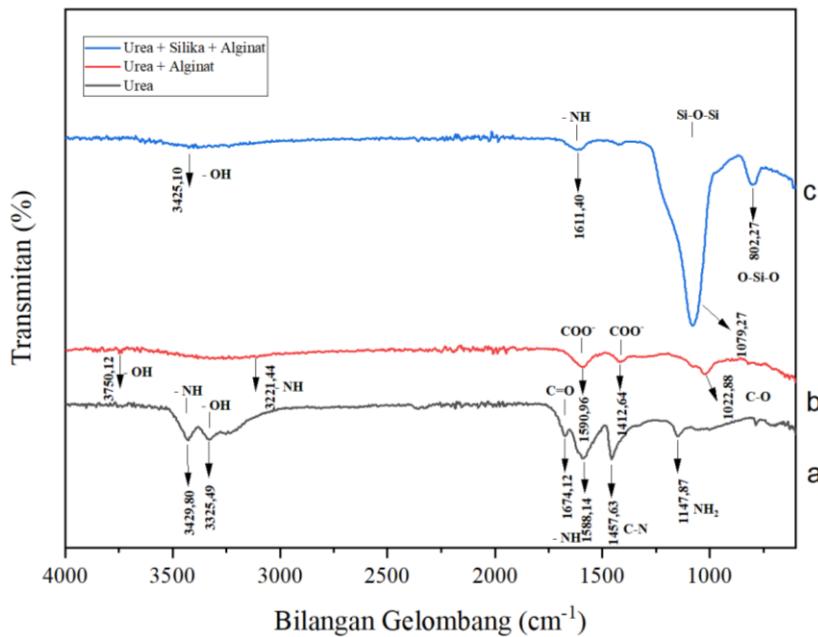
Pembentukan ikatan silang antara alginat dan CaCl_2 berlangsung melalui interaksi ionik antara ion kalsium (Ca^{2+}) dan gugus karboksilat ($-\text{COO}^-$)

yang terdapat pada rantai polimer asam guluronat. Dalam proses ini, ion Ca^{2+} berfungsi sebagai penghubung ionik yang menjembatani dua rantai alginat, membentuk struktur tiga dimensi yang dikenal sebagai model *egg-box*. Struktur ini menghasilkan gel kalsium-alginat yang stabil dan tidak mudah larut dalam air, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai matriks untuk mengendalikan pelepasan urea dalam pupuk lepas lambat (Lestario *et al.*, 2022). Gambar berikut menunjukkan struktur *egg-box* yang menyerupai rongga pada pola rantai hasil interaksi antara dua unit asam guluronat (blok G) terdapat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Struktur *Egg-Box* Hasil Koordinasi antara Blok G-G Alginat dan Ion Ca^{2+}
(Lestario *et al.*, 2022)

Seluruh sampel yaitu urea, *beads* UA dan USA kemudian dilakukan dikarakterisasi lebih lanjut menggunakan FTIR dan XRD. Tujuan dikarakterisasi ini adalah untuk mengidentifikasi gugus fungsi serta menganalisis fase kristal yang terbentuk pada masing-masing pupuk. Hasil karakterisasi tersebut ditampilkan pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Spektrum FTIR (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA

Tabel 4. 3 Hasil spektrum uji FTIR Urea; Beads UA dan USA

No	Gugus Fungsi	Hasil sintesis			
		Rentang	Urea (a)	UA (b)	
1.	vibrasi ulur NH	3100-3500 (a)	3429,80	3221,44	-
2.	vibrasi ulur C=O	1650-1700 (a)	1674,12	-	-
3.	vibrasi tekuk NH	1400-1600 (a)	1588,14	-	1611,40
4.	vibrasi ulur Si-O-Si	1000-1100 (a)	-	-	1079,27
5.	vibrasi ulur C-N	1450-1465 (b)	1457,63	-	-
6.	vibrasi -OH	3300-3600 (c)	3325,49	3750,12	3425,10
7.	Vibrasi C-O	1050-1300 (d)	-	1022,88	-
8.	COO^- asimetris	1550-1625 (d)	-	1590,96	-
9.	COO^- simetris	1390-1440 (d)	-	1412,64	-
10.	NH_2	1100-1300 (e)	1147,87	-	-

		<i>rocking</i>				
11.	Vibrasi tekuk O-Si-O	780-820 (f)	-	-	-	802,27
		(a) (Savana & Maharani, 2018)				
		(b) (Hasibuan <i>et al.</i> , 2023)				
		(c) (Rattanapan <i>et al.</i> , 2017)				
		(d) (Yasar <i>et al.</i> , 2025)				
		(e) (Timón <i>et al.</i> , 2021)				
		(f) (Ding <i>et al.</i> , 2024)				

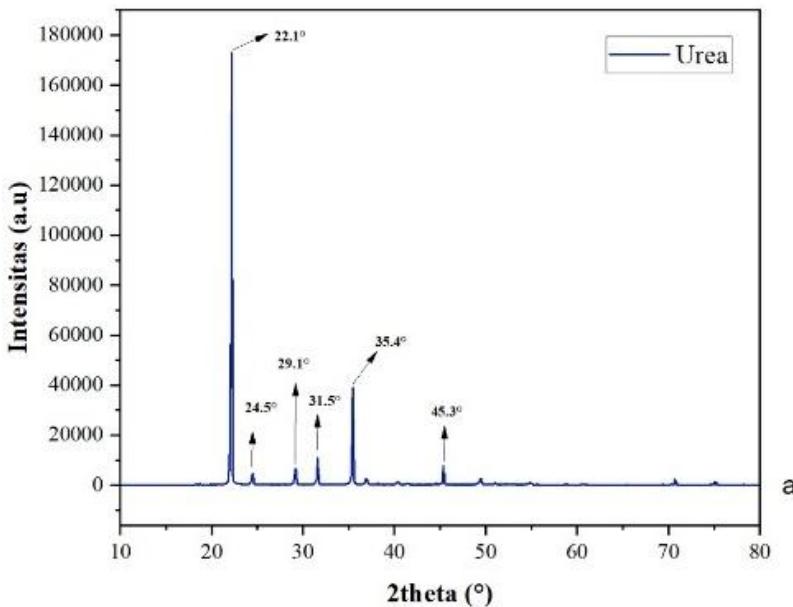
Berdasarkan Gambar 4.6, hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya puncak-puncak serapan yang mengindikasikan keberadaan berbagai gugus fungsi. Data Tabel 4.3 pada spektrum urea (a), terdapat pita serapan vibrasi ulur NH pada bilangan gelombang $3429,80\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus amina. Selain itu, vibrasi ulur C=O dan vibrasi tekuk NH teramati pada $1674,12\text{ cm}^{-1}$ dan $1588,14\text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada $3325,49\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan keberadaan gugus -OH, sementara bilangan gelombang $1457,63\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi ulur C-N, dan puncak pada $1147,87\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus NH_2 (*rocking*) (Timón *et al.*, 2021).

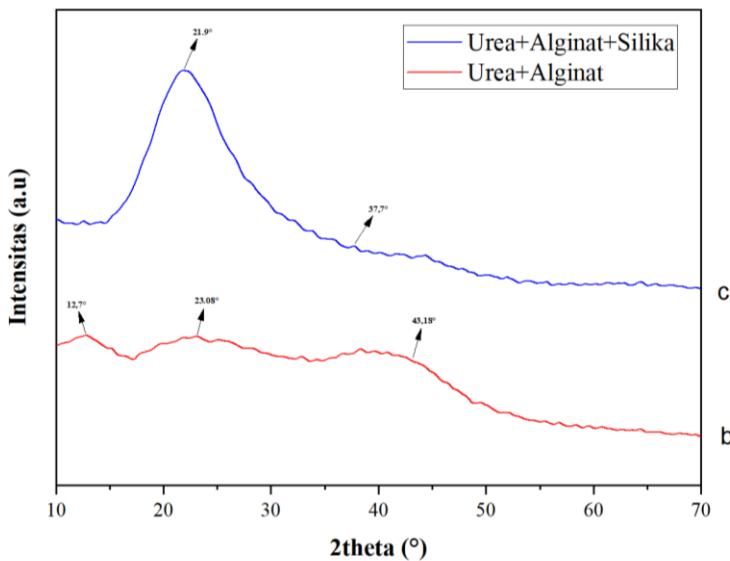
Spektrum FTIR dari UA (b) memperlihatkan adanya vibrasi ulur dari gugus NH pada bilangan gelombang $3221,44\text{ cm}^{-1}$, yang berbeda dengan puncak serapan urea murni yang terletak pada $3429,80\text{ cm}^{-1}$. Pergeseran nilai bilangan gelombang ini diduga terjadi akibat interaksi antara gugus amina pada urea dengan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) yang dimiliki oleh alginat. Pergeseran puncak ke arah bilangan gelombang yang lebih rendah menunjukkan bahwa ikatan yang terbentuk dari interaksi tersebut cenderung bersifat lemah. Selain itu, keberadaan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) ditunjukkan oleh puncak serapan pada $3750,12\text{ cm}^{-1}$, sedangkan vibrasi regangan dari gugus C-O muncul pada bilangan gelombang $1022,88\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada $1590,90\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus karboksilat (COO^-) dalam bentuk asimetris, sementara puncak pada $1412,64\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus karboksilat dalam bentuk simetris. Keberadaan kedua puncak tersebut mengonfirmasi adanya interaksi antara urea dan gugus karboksilat dari struktur alginat (Yasar *et al.*, 2025).

Hasil analisis spektrum FTIR dari USA (c) menunjukkan beberapa puncak serapan khas yang mengindikasikan keberadaan gugus-gugus tertentu. Puncak serapan pada bilangan gelombang $3425,10\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (-OH). Selanjutnya puncak $1611,40\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya vibrasi tekuk dari gugus amina (NH) yang berasal dari urea. Puncak serapan pada $1079,27\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur dari ikatan Si-O-Si, yang mengindikasikan keberadaan struktur khas pada silika. Selain itu, puncak serapan lain muncul pada puncak $802,27\text{ cm}^{-1}$ menandakan keberadaan gugus O-Si-O, yang juga merupakan bagian dari struktur silika (Ding *et al.*, 2024).

Analisis spektrum FTIR pada urea, UA, dan USA tidak menunjukkan perubahan signifikan dalam bilangan gelombangnya. Pada UA pergeseran bilangan gelombang serta perubahan intensitas dan ketajaman puncak serapan mengindikasikan adanya interaksi antara gugus NH_2 dari urea dengan gugus -OH dari alginat. Urea-silika-alginat, perubahan serupa menunjukkan

bahwa gugus NH₂ pada urea berinteraksi dengan gugus -OH yang terdapat pada silika dan alginat. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa *beads* berhasil disintesis. Berikutnya, untuk mengetahui fase kristal yang terbentuk pada pupuk (*beads*), dilakukan karakterisasi menggunakan metode *X-ray Diffraction* (XRD). Hasil difraksi ditunjukkan pada Gambar 4.7.





Gambar 4. 7 Difraktogram XRD (a) Urea, (b) UA, dan (c) USA

Berdasarkan Gambar 4.7, hasil analisis XRD. Urea (a) memiliki pola difraksi khas dengan puncak-puncak yang tajam dan intens, yang menandakan sifat kristalin dari struktur urea. Puncak-puncak difraksi tersebut terdeteksi pada $2\theta = 22,1^\circ, 24,5^\circ, 29,1^\circ, 31,5^\circ, 35,4^\circ$, dan $45,3^\circ$. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lu *et al.* (2024), bahwa puncak difraksi urea pada sudut $2\theta = 22,5^\circ, 24,9^\circ, 29,5^\circ$, dan $35,7^\circ$.

Pola difraksi pada *beads* UA (b) menunjukkan puncak yang melebar dan kurang tajam, mengindikasikan keberadaan struktur amorf khas alginat. Puncak difraksi alginat terdeteksi pada sudut $2\theta = 12,7^\circ$, $23,08^\circ$, dan $43,18^\circ$. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Fan *et al.* (2019), yang menemukan puncak difraksi alginat pada $2\theta = 4,5^\circ$, $12,7^\circ$, dan $23,9^\circ$. Sementara itu, penelitian oleh Sangjan dan Thongsamer (2021) menunjukkan bahwa alginat merupakan biopolimer amorf, dengan pola difraksi pada $2\theta = 28,80^\circ$, $35,98^\circ$, dan $43,18^\circ$. Difraktogram UA menunjukkan penurunan intensitas dan pelebaran puncak, mengindikasikan penurunan kristalinitas akibat adanya interaksi antara urea dengan alginat.

Pada *beads* USA (c) bahwa pola difraksi menunjukkan kemunculan puncak pada sudut $2\theta = 21,9^\circ$, yang kemudian mengalami penurunan intensitas dan cenderung mendatar hingga sudut $2\theta = 37,7^\circ$. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Amalia *et al.* (2020), puncak difraksi yang melebar menandakan bahwa silika yang terbentuk memiliki sifat amorf. Silika hasil ekstraksi dari abu

sekam padi menunjukkan ciri khas amorf, ditandai dengan munculnya puncak lebar pada rentang sudut $2\theta = 21-23^\circ$ (Amalia *et al.*, 2020). Reaksi antara urea dengan silika dan alginat berpotensi mengganggu struktur kristal urea akibat adanya interaksi dengan kedua komponen tersebut. Gangguan ini menyebabkan penurunan kristalinitas urea dan menghasilkan struktur amorf, yang merupakan karakteristik khas dari silika.

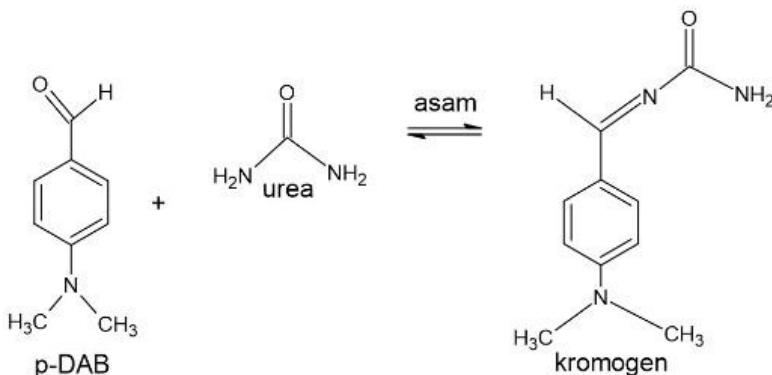
C. Analisis Kadar Urea dalam Urea, *Beads* UA dan USA

Pada percobaan ini dilakukan uji lepas lambat terhadap urea dan *beads* yang telah disintesis. Pengujian dilakukan dengan merendam 0,25 g urea dan *beads* yang sudah digerus ke dalam 50 mL aquades. Proses perendaman ini bertujuan untuk mlarutkan urea yang terperangkap di dalam matriks *beads* ke dalam medium air. Penggunaan air sebagai pelarut karena urea bersifat mudah larut dalam air, sehingga memungkinkan terjadinya difusi urea dari dalam *beads* ke larutan. Pengujian kadar urea, sampel perlu digerus terlebih dahulu

agar homogen dan dapat menunjukkan seluruh kandungan urea dalam *beads*. Proses penggerusan ini memecah *beads* menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, sehingga memungkinkan analisis dilakukan dengan lebih akurat. Selanjutnya, reagen pengopleks p-DAB ditambahkan ke dalam masing-masing sampel untuk membentuk senyawa kompleks berwarna kuning, yang kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengukur nilai absorbansi.

Reaksi antara p-dimetilaminobenzaldehida (p-DAB) dengan urea dalam air terjadi melalui mekanisme kondensasi yang dipengaruhi oleh kondisi asam. Dalam suasana asam, gugus dimetilamino pada p-DAB mengalami protonasi, yang menyebabkan terjadinya penarikan muatan elektron dari gugus karbonil (-CHO). Hal ini menjadikan karbon dalam gugus karbonil mengalami defisiensi muatan. Interaksi ini menyebabkan terbentuknya ikatan C=N (imina), yang ditandai dengan munculnya warna kuning. Warna tersebut berfungsi sebagai indikator terbentuknya kompleks yang dapat diukur

menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Giraldo & Rivas, 2017). Mekanisme reaksi antara p-DAB dan urea ditampilkan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Reaksi p-DAB dengan Urea
(Giraldo & Rivas, 2017)

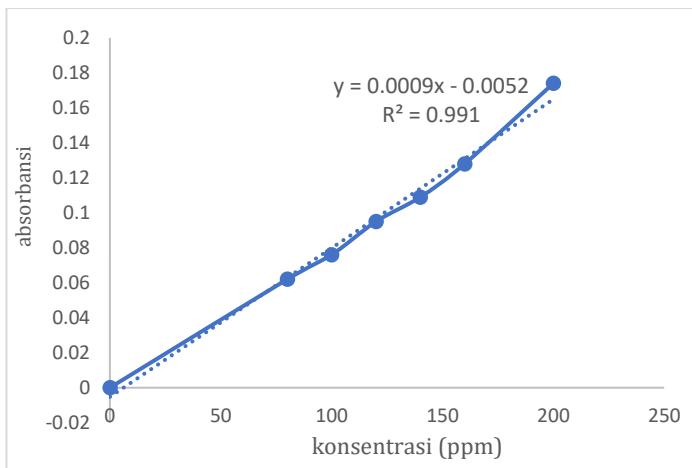
Pembuatan larutan standar dilakukan dengan menyiapkan larutan induk urea 500 mg/L. Sebanyak 0,2765 g urea ditimbang, kemudian diencerkan ke dalam labu takar 250 mL hingga tanda batas. Selanjutnya, masing-masing sebanyak 20, 25, 30, 35, dan 40 mL larutan induk diambil, lalu dimasukkan ke dalam labu takar 50 mL dan diencerkan hingga tanda batas, sehingga diperoleh larutan standar dengan konsentrasi 200, 250, 300,

350, dan 400 mg/L. Larutan standar dengan konsentrasi 200, 250, 300, 350, dan 400 mg/L tersebut kemudian diambil masing-masing konsentrasi sebanyak 4 mL dan ditambahkan pengopleks p-DAB sebanyak 6 mL, sehingga diperoleh larutan dengan konsentrasi akhir yaitu 80, 100, 120, 140, 160 dan 200 mg/L. Larutan tersebut didiamkan selama 1 jam untuk memastikan reaksi pengopleksan berlangsung secara sempurna. Sebelum dilakukan penentuan kurva standar, maka dilakukan pengukuran absorbansi panjang gelombang maksimum, yaitu dengan mereaksikan 4 mL larutan urea konsentrasi 500 mg/L dengan 6 mL pengopleks p-DAB, kemudian diukur absorbansinya direntang 400-500 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan diperoleh panjang gelombang 420 nm. Berikut merupakan data absorbansi pada larutan standar yang terdapat pada Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Larutan Standar

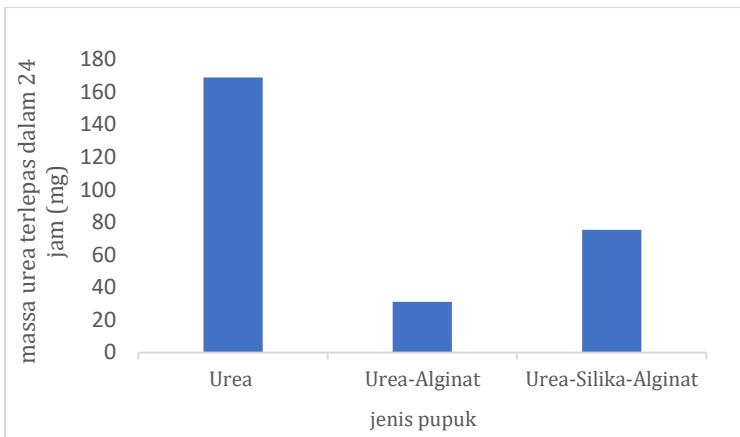
Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
80	0,062
100	0,076
120	0,095
140	0,109
160	0,128
200	0,174

Penentuan kadar urea dalam *beads* dilakukan dengan menggunakan kurva standar yang diperoleh dari larutan standar pada konsentrasi 0, 80, 100, 120, 140, 160 dan 200 mg/L. Pengujian kadar urea ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kandungan urea yang terdapat dalam produk pupuk. Kurva standar yang dihasilkan dari pembuatan larutan standar ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Kurva Standar

Kurva standar yang ditampilkan pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,991 dengan persamaan garis regresi linear $y = 0.0009x - 0.0052$. Pada persamaan tersebut, sumbu y menunjukkan nilai absorbansi, sedangkan sumbu x menyatakan konsentrasi urea. Konsentrasi urea dalam *beads* dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi yang diperoleh dari masing-masing variasi ke dalam persamaan garis tersebut. Hasil analisis kadar urea dalam *beads* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.10



Gambar 4. 10 Kadar Urea Total

Berdasarkan Gambar 4.10, terlihat bahwa komposisi silika dalam *beads* berbanding terbalik dengan meningkatnya kadar urea di dalamnya. Adapun jumlah urea yang terkandung dalam masing-masing sampel urea, UA, dan USA berturut-turut sebesar 168,9 mg; 31,27 mg; dan 75,3 mg. Kandungan urea pada *beads* UA lebih rendah dibandingkan dengan *beads* USA, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.10. Perbedaan ini disebabkan oleh tekstur *beads* UA yang dihasilkan lebih keras ketika digerus, sehingga kemungkinan mempengaruhi kemampuan matriks dalam mengikat atau menyerap urea, sedangkan *beads*

USA lebih mudah digerus karena teksturnya yang lebih lunak.

D. Pengujian Lepas Lambat Urea, *Beads* UA dan USA

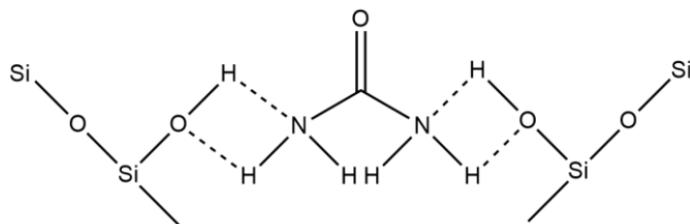
Pengujian lepas lambat urea, *beads* UA dan USA masing-masing dilakukan dengan menimbang sebanyak 0,25 g kemudian direndam ke dalam 50 mL aquades. Pengambilan sampel urea, *beads* UA dan USA dilakukan pada rentang waktu tertentu, yaitu 0, 5, 15, 20, 30, 60, dan 90 menit. Pengujian pelepasan urea dilakukan pada rentang waktu tersebut, karena pada proses pelepasan lambat urea dari matriks *beads*, fase awal (menit-menit pertama) merupakan fase yang krusial. Fase ini menggambarkan interaksi awal antara material pembawa (*beads*) dengan media pelepas (air), yang menentukan karakteristik awal pelepasan. Tahap ini dikenal sebagai fase awal pelepasan atau *initial burst release*. Interaksi ini sangat menentukan bagaimana senyawa aktif seperti urea mulai terdifusi keluar dari matriks, jika terjadi pelepasan urea dalam jumlah besar secara tiba-tiba di fase ini, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pelepasan

lambat tidak bekerja secara optimal, karena tidak mampu mengontrol difusi urea dengan baik di awal waktu. Sebaliknya, jika pelepasan urea pada menit-menit awal berlangsung secara bertahap dan terkendali, hal ini menunjukkan bahwa *beads* berfungsi efektif dalam menahan laju difusi zat aktif.

Pembuatan *beads* dilakukan sebagai upaya modifikasi pupuk urea, untuk mengetahui karakteristik masing-masing *beads* yang dihasilkan dengan tujuan untuk membandingkan efektivitas keduanya dengan asumsi bahwa salah satu variasi dapat menghasilkan pelepasan urea yang lebih lambat dan terkontrol. Pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan bagaimana pengaruh penambahan silika dan alginat dalam pembuatan pupuk lepas lambat. Perbedaan ini dapat memengaruhi kekuatan dan sifat interaksi antara urea dengan komponen silika maupun alginat pada setiap perlakuan.

Penambahan silika dalam *beads* dilakukan karena silika mampu memperlambat pelepasan

urea melalui mekanisme adsorpsi dan desorpsi, di mana gugus silanol pada permukaan silika dapat berinteraksi dengan urea melalui pembentukan ikatan hidrogen, membuat urea terikat sementara pada matriks silika. Di sisi lain, penggunaan alginat berperan sebagai penghambat transfer massa yang membatasi pergerakan air menuju inti *beads* dan dapat memperlambat difusi urea ke lingkungan. Silika diketahui memiliki kandungan gugus hidroksil (-OH) yang tinggi, yang memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen dengan gugus ureido (-NH₂CONH) pada urea (Xiang *et al.*, 2018). Berikut ilustrasi mengenai pembentukan ikatan hidrogen antara silika dan urea ditampilkan pada Gambar 4.11.

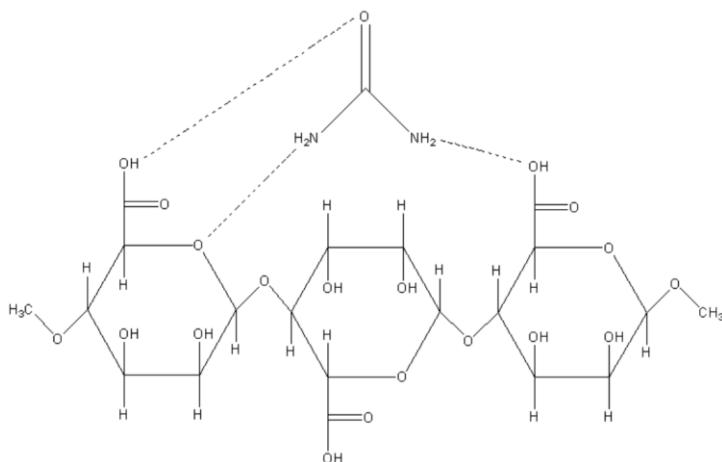


Gambar 4. 11 Ikatan Hidrogen Silika dan Urea (Azmi, 2023).

Urea merupakan senyawa polar yang mengandung dua gugus amina ($-\text{NH}_2$) serta satu gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$). Gugus amina berfungsi sebagai donor hidrogen, sedangkan gugus karbonil berperan sebagai penerima pasangan elektron. Ketika urea berada di dekat (terjerap) pada permukaan silika, ikatan hidrogen dapat terbentuk antara gugus $-\text{NH}_2$ urea dan gugus $-\text{OH}$ pada silika, atau antara gugus $\text{C}=\text{O}$ urea dan gugus $-\text{OH}$ pada silika. Silika karena memiliki gugus $-\text{OH}$ di permukaannya, yang memungkinkan terlibat dalam pembentukan ikatan hidrogen dengan molekul urea.

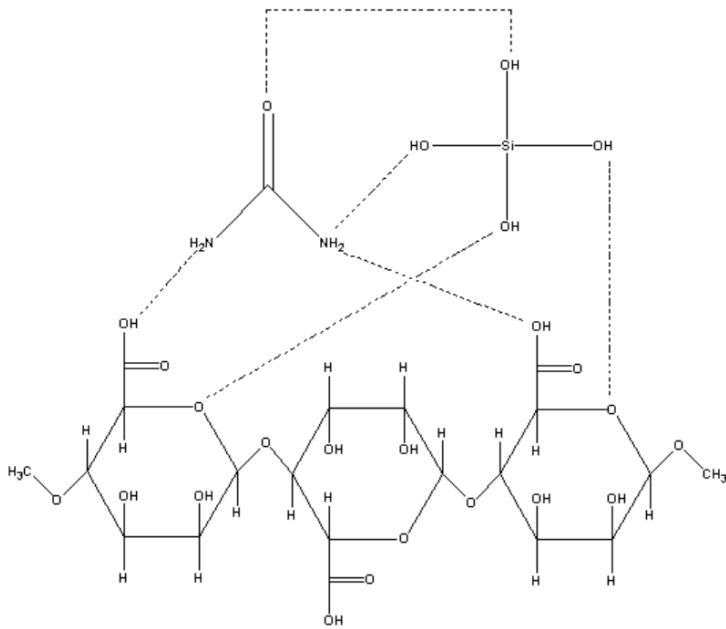
Alginat juga memiliki gugus karboksilat (COO^-) dan hidroksil ($-\text{OH}$). Alginat ketika dikombinasikan dengan urea, yang memiliki gugus amina ($-\text{NH}_2$) dan karbonil ($\text{C}=\text{O}$), terjadi interaksi berupa ikatan hidrogen antara kedua senyawa tersebut. Ikatan hidrogen ini terbentuk melalui interaksi antara atom hidrogen dari gugus amina pada urea dengan atom oksigen dari gugus hidroksil atau karboksilat pada struktur alginat. Berikut pada Gambar 4.12 yang menggambarkan

ilustrasi mengenai terbentuknya ikatan hidrogen antara alginat dan urea.



Gambar 4. 12 Ikatan Hidrogen Alginat dan Urea

Pada struktur urea-silika-alginat, masing-masing komponen memiliki peran penting, di mana urea yang mengandung gugus NH_2 dan $\text{C}=\text{O}$ dapat membentuk ikatan dengan gugus $-\text{OH}$ pada silika serta gugus COO^- dan $-\text{OH}$ pada alginat. Interaksi di antara ketiga komponen ini sangat dipengaruhi oleh ikatan hidrogen, yang berkontribusi terhadap kestabilan struktur secara keseluruhan. Gambar 4.13 menunjukkan terbentuknya ikatan hidrogen antara urea, silika, dan alginat.



Gambar 4. 13 Ikatan Hidrogen Urea, Silika, dan Alginat

Dalam variasi *beads* USA, masing-masing komponen memiliki peran yang saling melengkapi. Silika, memiliki permukaan berpori dan gugus silanol, berfungsi sebagai penjerap yang mampu menyimpan urea melalui interaksi pada ikatan hidrogen. Selain berperan dalam penjerapan, silika juga memungkinkan proses pelepasan urea secara bertahap dalam mengatur ketersediaan urea bagi tanaman dalam jangka waktu yang lebih lama.

Sementara itu, alginat berfungsi sebagai pelapis eksternal yang mengelilingi matriks *beads*. Karena sifat hidrofiliknya dan struktur gel yang terbentuk ketika berinteraksi dengan ion kalsium, alginat membentuk pelapis yang kuat dan efektif untuk memperlambat proses perpindahan urea ke lingkungan.

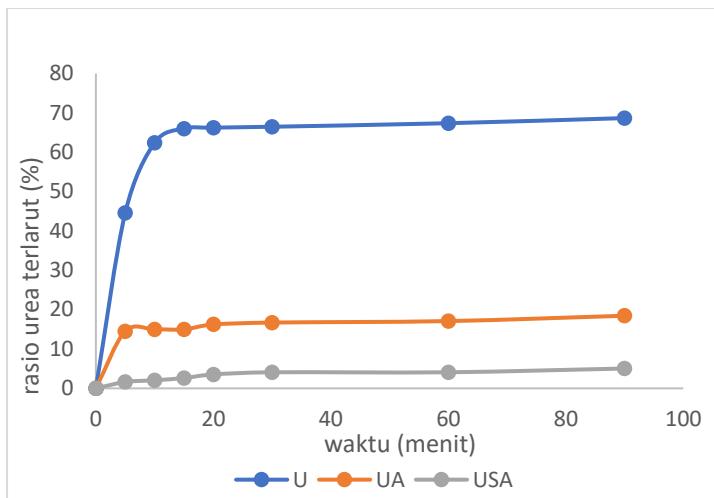
Pengujian pelepasan urea dalam media air dilakukan terhadap variasi UA dan USA untuk mengetahui sejauh mana zat aktif dapat dilepaskan dari *beads* secara bertahap dalam media air pada pupuk lepas lambat. Setiap variasi diuji melalui metode pelepasan terkendali dengan pengambilan sampel pada waktu tertentu, yaitu pada menit ke 0, 5, 15, 20, 30, 60, dan 90. Sebagai pembanding, dilakukan pula uji pelepasan terhadap pupuk urea. Media air dipilih dalam uji ini karena air komponen utama dalam tanah yang berperan sebagai pelarut alami bagi unsur hara, dalam proses kehilangan urea pada pupuk konvensional, terutama melalui mekanisme pencucian. Pelepasan pupuk dalam air dapat menggambarkan bagaimana pupuk tersebut ketika diaplikasikan ke lingkungan. Berikut

merupakan hasil uji pelepasan urea, UA dan USA yang terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Uji Lepas Lambat Urea, UA dan USA dalam medium air

Waktu (menit)	Urea (%)	UA (%)	USA (%)
0	0	0	0
5	44,58	14,5	1,6
10	62,40	14,9	2,0
15	66,01	14,9	2,6
20	66,25	16,2	3,5
30	66,48	16,7	4,0
60	67,02	17,0	4,0
90	68,67	18,4	5,0

Pengujian pelepasan urea pada *beads* dilakukan dengan mengukur nilai absorbansi dari setiap sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kadar urea yang terlepas ke dalam media air, dengan mengacu pada persamaan regresi yang diperoleh dari kurva standar yang ditampilkan pada Gambar 4.9 dan lepas lambat urea dari *beads* dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.14



Gambar 4. 14 Lepas Lambat Urea, UA, dan USA

Analisis lepas lambat urea dalam *beads* dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan acuan kurva standar pada konsentrasi 80, 100, 120, 140, 160, dan 200 ppm sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.9. Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 4.5, diketahui bahwa pada *beads* UA menunjukkan laju pelepasan urea yang sedikit lebih cepat dibandingkan dengan *beads* USA. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan silika dalam *beads* dapat memperlambat pelepasan urea.

Pengujian lepas lambat *beads* bertujuan untuk mengetahui kecepatan pelepasan nitrogen dari urea, agar tidak mudah larut semuanya ke dalam air. Berdasarkan hasil pengujian pelepasan nitrogen dalam media air yang ditampilkan pada Gambar 4.14, menunjukkan terdapat perbedaan karakteristik pada setiap variasi *beads*. Pada pupuk urea menunjukkan pelepasan nitrogen yang sangat cepat, yang ditunjukkan oleh larutnya urea secara sempurna dalam air dengan waktu 5 menit. Hal ini terjadi karena kecepatan pelepasan pada pupuk urea ini tidak dilengkapi dengan material pelindung di sekitar urea, sehingga air berinteraksi langsung dengan urea.

Beads USA memperlihatkan proses pelepasan urea yang paling lambat, terlihat dari kemiringan grafik yang lebih datar dibandingkan *beads UA* menunjukkan pelepasan sedikit lebih cepat, sementara pelepasan urea pada urea murni berlangsung sangat cepat. Perbedaan kecepatan pelepasan nitrogen ini disebabkan oleh keberadaan silika dan alginat yang mampu memperlambat difusi urea ke lingkungan, sehingga nitrogen dapat

dilepaskan secara bertahap. Penambahan silika ke dalam *beads*, menunjukkan bahwa keberadaan silika berperan penting dalam memperkuat ikatan hidrogen yang terbentuk antara gugus silanol milik silika dan urea (Xiang *et al.*, 2018). Penggunaan silika pada *beads* memberikan peningkatan sifat mekanik dan ketahanan terhadap lingkungan. *Beads* yang mengandung silika efektif dalam memperkuat ketahanan hibrida terhadap air (Zhou *et al.*, 2015). Menurut Shen *et al* (2019), Jumlah silika yang lebih banyak dalam *beads* dapat memperkuat dan meningkatkan daya tahan terhadap air, yang secara tidak langsung berpengaruh pada tingkat penguraian silika oleh air. Semakin tinggi ketahanan *beads* terhadap air, maka semakin efisien dalam menahan pelepasan nitrogen. *Beads* urea-silika-alginat menunjukkan bahwa memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap air, dibandingan *beads* yang tidak menggunakan silika. Hal ini membuat kemampuan dalam mengendalikan pelepasan nitrogen ke dalam air menjadi lebih efektif.

Material alginat juga berpengaruh pada pembentukan permukaan luar *beads*, yang stabil dan mampu menahan degradasi secara cepat di tanah. Kemampuan membentuk gel yang kuat melalui interaksi dengan ion divalen seperti Ca^{2+} memungkinkan terbentuknya pelindung fisik pada permukaan *beads*, yang dapat mengendalikan laju pelepasan urea. Dengan demikian, komponen aktif seperti silika dan nitrogen dari urea menjadi lebih terlindungi dari proses degradasi dan pelepasan yang cepat dalam air. Menurut Astar dan Suci (2022) alginat akan melepaskan urea dengan menyerap air terlebih dahulu. Matriks silika yang membentuk ikatan hidrogen dengan gugus amina pada urea yang terlindungi dengan alginat. Setelah itu menyerap air, *beads* kemudian mengembang (*swelling*) dan membentuk hidrogel serta membuka pori-pori pada struktur gel tersebut yang dapat membatasi kontak langsung antara urea dengan air. Sehingga urea dapat larut secara perlahan dan nitrogen terlepas secara terkendali.

Menurut Song *et al.*, (2024) mekanisme pelepasan pada pupuk lepas lambat melibatkan

beberapa tahapan, seperti proses difusi (pergerakan zat) melalui bahan polimer, penyerapan air dan pembengkakan, serta pelarutan rantai polimer. Proses difusi dalam polimer penting karena memungkinkan urea bergerak dari area konsentrasi tinggi ke area rendah. Ketika *beads* menyerap air, maka akan mengembang dan menciptakan ruang, sehingga urea lebih mudah keluar. Polimer yang mudah menyerap air dan tidak terlalu rapat akan mengembang lebih besar dan mempercepat pelepasan urea (Song *et al.*, 2024). Terlihat bahwa pada UA dan USA menunjukkan pola pelepasan urea secara lambat yang tidak jauh berbeda.

Berdasarkan hasil penelitian, mekanisme pelepasan urea secara lepas lambat yang paling optimal dalam air diperoleh dari kombinasi urea-silika-alginat. Kehadiran material silika dan alginat berperan penting dalam meningkatkan ketahanan *beads* terhadap pelarutan air, sehingga mampu memperlambat pelepasan urea secara terkendali. Dengan demikian, silika dan alginat dapat membantu menghambat pelepasan nitrogen akibat

kontak langsung dengan air atau kelembaban lingkungan, sehingga efisiensi pupuk menjadi lebih tinggi dan kehilangan urea akibat pelarutan dapat dikurangi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis spektrum FTIR dari silika mengidentifikasi bahwa keberadaan gugus fungsional pada silika (SiO_2), yaitu gugus silanol ($\text{Si}-\text{OH}$) yang ditunjukkan pada bilangan gelombang $3451,27 \text{ cm}^{-1}$ dan $1647,68 \text{ cm}^{-1}$, serta gugus siloksan ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$) yang terdeteksi pada bilangan gelombang $1065,36 \text{ cm}^{-1}$ dan $791,80 \text{ cm}^{-1}$. Sementara itu, hasil karakterisasi dengan metode XRF menunjukkan bahwa kandungan utama dari material adalah SiO_2 dengan persentase sebesar 98,9%.
2. Hasil analisis spektrum FTIR dari *beads* UA menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang $3750,12 \text{ cm}^{-1}$, $3221,44 \text{ cm}^{-1}$, $1590,96 \text{ cm}^{-1}$, $1412,64 \text{ cm}^{-1}$, dan $1022,88 \text{ cm}^{-1}$, yang mengindikasikan keberadaan gugus

fungsional khas dari UA. Sementara itu, spektrum FTIR *beads* USA menunjukkan karakteristik puncak serapan pada bilangan gelombang $3425,10\text{ cm}^{-1}$, $1611,40\text{ cm}^{-1}$, $1079,27\text{ cm}^{-1}$, dan $802,27\text{ cm}^{-1}$, yang merepresentasikan adanya gugus khas dari urea, silika, dan alginat. Pada hasil XRD menunjukkan bahwa pada *beads* urea-alginat terdapat puncak pada $2\theta = 12,7^\circ$, $23,08^\circ$, dan $43,18^\circ$ yang menunjukkan fasa amorf. Pada *beads* urea-silika-alginat puncak difraksi muncul pada $2\theta = 21,9^\circ$, dan $37,7^\circ$ yang menunjukkan fasa amorf.

3. Terlihat dari hasil uji pelepasan urea selama 90 menit dalam media air, *beads* USA dengan pelepasan sebesar 5,0% dan UA sebesar 18,4% menunjukkan kurva pelepasan USA dan UA yang paling landai dibandingkan dengan urea murni mencapai 68,67%. Data ini menunjukkan bahwa penambahan silika dan alginat berhasil memperkuat struktur *beads* serta memperlambat proses pelepasan urea, sehingga pelepasan urea menjadi lebih lambat.

B. Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih optimal pada penelitian selanjutnya, beberapa hal dapat dijadikan pertimbangan, antara lain:

1. Waktu uji pelepasan *beads* dalam air perlu ditambah agar pola pelepasan urea jangka panjang bisa dianalisis lebih lengkap.
2. Perlu ditambahkan karakterisasi lanjutan seperti SEM untuk melihat permukaan, dan analisis BET untuk mengetahui luas serta pori material.
3. Perlu variasi komposisi bahan untuk melihat pengaruh tiap komponen terhadap struktur dan pelepasan pupuk
4. Jika pengujian absorbansi sampel berada di luar rentang kurva standar, perlu dilakukan pengenceran agar masuk dalam kisaran kurva standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agi, A., Junin, R., Jaafar, M. Z., Mohsin, R., Arsal, A., Gbadamosi, A., Fung, C. K., & Gbonhinbor, J. (2020). Synthesis And Application Of Rice Husk Silica Nanoparticles For Chemical Enhanced Oil Recovery. *Journal Of Materials Research And Technology*, 9(6), 13054–13066. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2020.08.112>
- Annisa, V., Sulaiman, T. N. S., Nugroho, A. K., & Nugroho, A. E. (2021). Review Sinergisitas Kombinasi Polimer Alami Serta Pemanfaatan Dalam Formulasi Obat. *Majalah Farmasetika*, 6(5), 436. <Https://Doi.Org/10.24198/Mfarmasetika.V6i5.35935>
- Annuria Fithri, N., Yanuarti, R., Studi Farmasi, P., Sains Dan Teknologi, F., Sains Dan Teknologi Al-Kamal, I., Raya Al-Kamal No, J., Kedoya Selatan, K., Jeruk Jakarta Barat, K., Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., Sriwijaya, U., Raya Palembang-Probumulih Km, J., & Selatan Korespodensi, S. (2022). *Analisis Interaksi Kimia Fourier Transform Infrared (Ftir) Tablet Gastrorentif Ekstrak Daun Petai (Parkia Speciosa Hassk) Dengan Polimer Hpmc-K4m Dan Kitosan* (Vol. 03, Issue 02). <Http://Iontech.Ista.Ac.Id/Index.Php/Iontech>
- Astar, I., & Suci, I. A. (2022). *Enkapsulasi Urea Pada Lumpur Pdam-Alginat Sebagai Pupuk Lepas Lambat.* <Https://Doi.Org/10.24252/Al-Kimiav10i1.23740>

Aulia Kiranti. (2022). *Sintesis Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer) Dengan Biochar Sebagai Matriks Untuk Tanaman Bawang Merah (Allium Ascalonium)*.

Aviantri, F., Dina, D., & Maharani, K. (2017). Pelepasan Nitrogen Pada Pupuk Slow Release Urea Dengan Menggunakan Matriks Kitosan-Bentonit Release Of Nitrogen Fertilizer On The Slow Release Fertilizer Urea Using Chitosan Matrix-Bentonite. In *Unesa Journal Of Chemistry* (Vol. 6, Issue 1).

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 Production*, 217, 352–359. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2019.01.142>

Azizati, Z. (2017). Pembuatan Bioplastik Karboksimetil Selulosa-Kolin Klorida-Urea Bentonit Sebagai Model Pupuk Nitrogen Lepas Lambat. Universitas Gajah Mada.

Azmi, M. I. (2023). Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbasis Silika Sekam Padi-Kitosan-Asam Fulvat-Urea. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Bakar, R. A., Yahya, R., & Gan, S. N. (2016). Production Of High Purity Amorphous Silica From Rice Husk. *Procedia Chemistry*, 19, 189–195. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Proche.2016.03.092>

Behin, J., & Sadeghi, N. (2016). Utilization Of Waste Lignin To Prepare Controlled-Slow Release Urea.

International Journal Of Recycling Of Organic Waste In Agriculture, 5(4), 289–299.
<Https://Doi.Org/10.1007/S40093-016-0139-1>

Botahala, L. (2020). Determination Rice Husk Amorphous Silica In Alor District As An Additive On The Manufacture Of Composite Portland Cement. In *Scientific Journal Widya Teknik* (Vol. 19, Issue 2).

Cahyono, K., Sumardi, S., Irawan, B., Wahyuningsih, S., & Nurcahyani, E. (2021). Imobilisasi Bakteri Asam Laktat Dengan Menggunakan Zeolit Dan Natrium Alginat. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 4(1), 33–40.
<Https://Doi.Org/10.29313/Jiff.V4i1.6372>

Carmona, V. B., Oliveira, R. M., Silva, W. T. L., Mattoso, L. H. C., & Marconcini, J. M. (2013). Nanosilica From Rice Husk: Extraction And Characterization. *Industrial Crops And Products*, 43(1), 291–296.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Indcrop.2012.06.050>

Costa, M. J., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Sillankorva, S. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Physicochemical Properties Of Alginate-Based Films: Effect Of Ionic Crosslinking And Mannuronic And Guluronic Acid Ratio. *Food Hydrocolloids*, 81, 442–448.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Foodhyd.2018.03.014>

- Danarto, Y. C., Nugrahey, A., & Noviani, S. M. (2017). *Kinetika Slow Release Pupuk Urea Berlapis Chitosan Termodifikasi.* <Http://Equilibrium.Ft.Uns.Ac.Id>
- De Matos, M., Mattos, B. D., Tardy, B. L., Rojas, O. J., & Magalhães, W. L. E. (2018). Use Of Biogenic Silica In Porous Alginate Matrices For Sustainable Fertilization With Tailored Nutrient Delivery. *AcS Sustainable Chemistry And Engineering*, 6(2), 2716-2723.
<Https://Doi.Org/10.1021/Acssuschemeng.7b04331>
- De Silva, M., Siriwardena, D. P., Sandaruwan, C., Priyadarshana, G., Karunaratne, V., & Kotegoda, N. (2020). Urea-Silica Nanohybrids With Potential Applications For Slow And Precise Release Of Nitrogen. *Materials Letters*, 272. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Matlet.2020.127839>
- Dhaneswara, D., Fatriansyah, J. F., Situmorang, F. W., & Haqoh, A. N. (2020). Synthesis Of Amorphous Silica From Rice Husk Ash: Comparing Hcl And Ch₃cooh Acidification Methods And Various Alkaline Concentrations. *International Journal Of Technology*, 11(1), 200-208. <Https://Doi.Org/10.14716/Ijtech.V11i1.3335>
- Ding, J., Cheng, T., Fu, C., Huang, B., Yang, E., Qu, M., Liu, S., & Wu, J. (2024). Synthesis And Characterization Of Self-Dispersion Monodisperse Silica-Based Functional Nanoparticles For Enhanced Oil Recovery (Eor)

In Low-Permeability Reservoirs. *Processes*, 12(11). <Https://Doi.Org/10.3390/Pr12112349>

Fadhillah, W., & Harahap, F. S. (2020). Pengaruh Pemberian Solid (Tandan Kosong Kelapa Sawit) Dan Arang Sekam Padi Terhadap Produksi Tanaman Tomat. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 299–304. <Https://Doi.Org/10.21776/Ub.Jtsl.2020.007.2.14>

Fajar Agung, G. M., Rizal Hanafie Sy, M., & Mardina, P. (2013). *Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Pelarut Koh* (Vol. 2, Issue 1).

Fan, Y., Xu, J., Gao, X., Fu, X., & Yang, X. (2019). Effect Of Alginate On The Release Of Amide Nitrogen For Soilless Cultivation Applications. *Scientia Horticulturae*, 256. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Scienta.2019.108545>

Farikhah, L., Wulan, E., Dina, D., & Maharani, K. (2017). Pemanfaatan Kitosan-Silika Sebagai Matriks Pada Pembuatan Pupuk Urea Slow Release Utilization Chitosan-Silica As Matrix Of Making Slow Release Urea Fertilizer. In *Unesa Journal Of Chemistry* (Vol. 6, Issue 1).

Fawzy, M. A., Gomaa, M., Hifney, A. F., & Abdel-Gawad, K. M. (2017). Optimization Of Alginate Alkaline Extraction Technology From Sargassum Latifolium And Its Potential Antioxidant And Emulsifying Properties. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1903–1912.

Https://Doi.Org/10.1016/J.Carpol.2016.11.07
7

Ghasempour-Mouziraji, M., Lagarinhos, J., Afonso, D., & Alves De Sousa, R. (2024). A Review Study On Metal Powder Materials And Processing Parameters In Laser Metaleposition. In *Optics And Laser Technology* (Vol. 170). Elsevier Ltd. Https://Doi.Org/10.1016/J.Optlastec.2023.110 226

Giraldo, J. D., & Rivas, B. L. (2017). Determination Of Urea Using P-N,N-Dimethylaminobenzaldehyde: Solvent Effect And Interference Of Chitosan. In *J. Chil. Chem. Soc* (Vol. 62, Issue 2).

Gorung, A. S., Rondonuwu, J. J., Titah, T., Manado, S. R., Dosen,), Tanah, J., Pertanian, F., Sam, U., & Manado, R. (2022). *Pengaruh Pemberian Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam (Amaranthus Tricolor L) Pada Tanah Sawah Di Desa Ranoketang Atas The Effect Of Urea Fertilizer On The Growth Of Spinach (Amaranthus Tricolor L.) In Rice Soils In Ranoketang Atas Village.*

Hakim, L., & Nawir, D. M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difraction (X-Rd) Di Kota Palangkaraya. In *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains* (Vol. 1, Issue 1). Http://E-Journal.Upr.Ac.Id/Index.Php/Jms

Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga, W. D. P. (2014). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi

Menjadi Silika Gel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2).
<Https://Doi.Org/10.15294/Jbat.V3i2.3698>

Haque, A. D. (2020). Aplikasi Lima Formula Pupuk Nitrogen Yang Dilapis Bahan Lokal Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays L.* Sacaratha). *Jurnal Pertanian Indonesia*, 1.

Hartono, A., Nugroho, B., Nadalia, D., & Ramadhani, A. (2021). Dinamika Pelepasan Nitrogen Empat Jenis Pupuk Urea Pada Kondisi Tanah Tergenang. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 23(2), 66–71. <Https://Doi.Org/10.29244/Jitl.23.2.66-71>

Hasibuan, E. S., Djamaan, A., Suardi, M., Manis, J. L., Pauh, K., Padang, K., & Barat, S. (2023). *Pembuatan Dan Karakterisasi Tablet Urea Dengan Metode Kempa Langsung*. 11(1), 511–516. <Https://Doi.Org/10.37081/Ed.V11i2.4525>

Herawati, H. (2018). Potensi Hidrokoloid Sebagai Bahan Tambahan Pada Produk Pangan Dan Nonpangan Bermutu. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 37(1), 17. <Https://Doi.Org/10.21082/Jp3.V37n1.2018.P17-25>

Hidayat, R., Fadillah, G., Chasanah, U., & Wahyuningsih, S. (2014). *Peranan Zeolit Nanopori Termodifikasi Sebagai Material Pengontrol Pelepasan Pupuk Urea*.

- Hidayatus Sholikah, M., Prima Retno Wikandari, Dan, Kimia, P., Kimia, J., & Negeri Surabaya, U. (2013). The Effectiveness Of Nutrient Rate N In Dung Fertilizer From Fermented Chicken Manure On The Growth Of Eggplant (*Solanum Melongena L.*). In *Unesa Journal Of Chemistry* (Vol. 2, Issue 1).
- Imoisili, P. E., Ukoba, K. O., & Jen, T. C. (2020). Green Technology Extraction And Characterisation Of Silica Nanoparticles From Palm Kernel Shell Ash Via Sol-Gel. *Journal Of Materials Research And Technology*, 9(1), 307–313.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Jmrt.2019.10.059>
- Indira, B. S., & Khair, M. (2023). Uji X-Ray Fluorescence Pada Limbah Kaca Bening Untuk Analisis Silika Dan Oksida Terkait. *Cheds: Journal Of Chemistry, Education, And Science*, 7(1), 92–96.
<Https://Doi.Org/10.30743/Cheds.V7i1.7119>
- Jayanudin, J., & Lestari, R. S. D. (2020). Enkapsulasi Dan Karakterisasi Pelepasan Terkendali Pupuk Npk Menggunakan Kitosan Yang Ditaut Silang Dengan Glutaraldehida. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 110.
<Https://Doi.Org/10.20961/Alchemy.16.1.34711.110-125>
- Kartika. (2016). *Peningkatan Ketersediaan Fosfor (P) Dalam Tanah Akibat Penambahan Arang Sekam Padi Dan Analisisnya Secara Spektrofotometri*.
- Kogoya, T., & Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana Jl Sudirman Denpasar, P. P. (2018). *E-Jurnal*

Agroekoteknologi Tropika Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk Urea Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam Cabut Putih (Amaranthus Tricolor L.). 7(4).
<Https://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jat575>

Kojin Mashudi, H. (2020). *Al-Muyassar.*

Langenfeld, N. J., Payne, L. E., & Bugbee, B. (2021). Colorimetric Determination Of Urea Using Diacetyl Monoxime With Strong Acids. *Plos One*, 16(11 November).
<Https://Doi.Org/10.1371/Journal.Pone.0259760>

Lee, J. H., Kwon, J. H., Lee, J. W., Lee, H. Sun, Chang, J. H., & Sang, B. I. (2017). Preparation Of High Purity Silica Originated From Rice Husks By Chemically Removing Metallic Impurities. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, 50, 79–85.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Jiec.2017.01.033>

Lestario, L. N., Dewi, A. E., & Riyanto, C. A. (2022). Pengaruh Konsentrasi Natrium Alginat Dan Kalsium Klorida Terhadap Hasil Restrukturisasi Buah Stroberi (*Fragaria Vesca L.*). *Prosiding Seminar Nasional Instiper*, 1(1), 233–244.
<Https://Doi.Org/10.55180/Pro.V1i1.259>

Li, X., Li, Q., Su, Y., Yue, Q., Gao, B., & Su, Y. (2015). A Novel Wheat Straw Cellulose-Based Semi-Ipns Superabsorbent With Integration Of Water-Retaining And Controlled-Release Fertilizers. *Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical*

Engineers, 55, 170–179.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Jtice.2015.04.022>

Lu, K., Abouzeid, R., Wu, Q., Chen, Q., & Liu, S. (2024). Hydrogel Nanocomposite Based Slow-Release Urea Fertilizer: Formulation, Structure, And Release Behavior. *Giant*, 18. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Giant.2024.100270>

Malik, Y. (2023). Akurasi Dan Presisi Analisis Kadar Nikel (Ni) Pada Sampel Nikel Laterit Menggunakan X-Ray Fluorescence Spectrometry (Xrf). *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 12. <Http://Sains.Uho.Ac.Id/Index.Php/Journal>

Mayori, E., Faramitha, N. G., & Sunardi. (2018). Karakterisasi Biokomposit Alginat-Pati-Kaolin Sebagai Kandidat Slow-Release Pupuk Urea Characterization Of Alginate-Starch-Kaolin Biocomposite As A Candidate Of Slow-Release Urea Fertilizer. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, 3.

Miarti, A., & Legasari, L. (2022). Ketidakpastian Pengukuran Analisa Kadar Biuret, Kadar Nitrogen, Dan Kadar Oil Pada Pupuk Urea Di Laboratorium Kontrol Produksi Pt Pupuk Sriwidjaja Palembang. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2. <Https://Doi.Org/Http://Bajangjournal.Com/Index.Php/J>

Morozkina, S., Strekalovskaya, U., Vanina, A., Snetkov, P., Krasichkov, A., Polyakova, V., & Uspenskaya, M. (2022). The Fabrication Of Alginate-

Carboxymethyl Cellulose-Based Composites And Drug Release Profiles. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 17). Mdp. <Https://Doi.Org/10.3390/Polym14173604>

Motasim, A. M., Samsuri, Abd. W., Nabayi, A., Akter, A., Haque, M. A., Abdul Sukor, A. S., & Adibah, A. Mohd. (2024). Urea Application In Soil: Processes, Losses, And Alternatives—A Review. *Discover Agriculture*, 2(1). <Https://Doi.Org/10.1007/S44279-024-00060-Z>

Mushtaq, A., Jamil, N., Rizwan, S., Mandokhel, F., Riaz, M., Hornyak, G. L., Najam Malghani, M., & Naeem Shahwani, M. (2018). Engineered Silica Nanoparticles And Silica Nanoparticles Containing Controlled Release Fertilizer For Drought And Saline Areas. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 414(1). <Https://Doi.Org/10.1088/1757-899x/414/1/012029>

Nabitaliah, O. (2022). *Konversi Nanoselulosa Dari Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca L.) Menjadi Gula Alkohol Menggunakan Nanofotokatalis Lacr0,98ti0,02o3 Di Bawah Pengaruh Irradiasi Sinar Uv.*

Nguyen, M. N. (2021). Potential Use Of Silica-Rich Biochar For The Formulation Of Adaptively Controlled Release Fertilizers: A Mini Review. In *Journal Of Cleaner Production* (Vol. 307). Elsevier Ltd. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Jclepro.2021.127188>

Palupi, M. R., & Widyasunu, P. (2022). *Agronomika (Jurnal Budidaya Pertanian Berkelanjutan) Aplikasi Formula Pupuk Granul N-Slow Release Berpelindung Polimer Terhadap Sifat Kimia Inseptisols Dan Pertumbuhan Bawang Merah Bauji*. 12, 39–44.

Paradisa, Y. B., Indrayani, S., Wibowo, H., Perdani, A. Y., Priadi, D., Deswina, P., Adi, E. B. M., Mulyaningsih, E. S., Sulistyowati, Y., Anggraheni, Y. G. D., & Nuro, F. (2022). Evaluasi 36 Genotipe Padi Gogo Terhadap Cekaman Biotik Dan Abiotik Pada Enam Lokasi Berbeda. *Agrosainstek: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 6(1), 12–22. <Https://Doi.Org/10.33019/Agrosainstek.V6i1.2> 86

Phonchai, A., Rattana, S., & Thongprajukaew, K. (2020). A Portable Sol-Gel Urea Colorimetric Method For The Determination Of Urea In Feedstuffs. *Food Chemistry*, 319. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Foodchem.2020.126545>

Prasanto Bimantio, M., Pratama Putra Saragih, D., Teknologi Hasil Pertanian, J., Teknologi Pertanian, F., & Pertanian Stiper, I. (2018). Benefisiasi Prarancangan Proses Pengolahan Pupuk Granul Slow Release Dari Urea Dan Zeolit. In *Institut Pertanian Stiper*.

Rahayu, R. D., Mindari, W., Program, M. A., Agroteknologi, S., & Pertanian, F. (2021). *Pengaruh Kombinasi Silika Dan Asam Humat Terhadap Ketersediaan Nitrogen Dan*

Pertumbuhan Tanaman Padi Pada Tanah Berpasir (Vol. 19, Issue 2).

Rattanapan, S., Srikramp, J., & Kongsune, P. (2017). Adsorption Of Methyl Orange On Coffee Grounds Activated Carbon. *Energy Procedia*, 138, 949–954.

<Https://Doi.Org/10.1016/J.Egyptpro.2017.10.064>

Razak, N., Sirappa, M. P., Balai, P., Pertanian, P. T., Selatan, S., Peneliti,), Pengkajian, L., Pertanian, T., & Barat, S. (2014). *Efektivitas Pupuk Srf-N Jenis D Dan H Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Padi Effectiveness Of Fertilizer Srf-N D And H On Rice Growth And Results.* 16(2), 301–311.

<Http://Www.Bic.Web.Id/Innovationprospecti>

Riza Muhammad, Fachraniah, & Syafruddin. (2022). Pembuatan Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Dengan Perekaksi Asam Kuat Dan Asam Lemah Dengan Menggunakan Variasi Jumlah Abu Silikat. *Jurnal Teknologi*.

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.*

Sari, H. I., & Sukarna, I. M. (2017). *Analisis Hasil Desorpsi Ion Sif 6 2-Dari Limbah Gel Fasilitas Pemurnian Zirkonium Secara Spektroskopi Serapan Atom Analysis Of Results Of Waste Desorption Ion Sif 6 2-Zirconium Gel Purification Facility In Atomic Absorption Spectroscopy*.

Savana, R. T., Dina, D., & Maharani, K. (2018). Analisis Komposisi Unsur Pupuk Lepas Lambat Kitosan-Silika-Glutaraldehid Element Composition Analysis Chitosan-Silica-Glutaraldehyde Slow Release Fertilizer. In *Unesa Journal Of Chemistry* (Vol. 7, Issue 1).

Savana, R. T., & Kartika Maharani, D. (2018). *Usage Of Chitosan-Silica With Crosslinking Agent As A Matrix For Slow Release Fertilizer*.

Sayuthi, M., Hanan, A., Satriyo, P., Studi Proteksi Tanaman, P., Syiah Kuala, U., Aceh, B., Studi Tehnik Pertanian, P., & Pertanian Dan Perkebunan Provinsi Aceh, D. (2020). Distribusi Hama Tanaman Padi (*Oryza Sativa L.*) Pada Fase Vegetatif Dan Generatif Di Provinsi Aceh. In *J. Agroecotenia* (Vol. 3, Issue 1).

Seddighi, H., Shayesteh, K., Omrani, N., & Es'haghi, P. (2024). Fertilizers Coating Methods: A Mini Review Of Various Techniques. *Chem Res Tech*, 1, 38–48.

<Https://Doi.Org/10.2234/Chemrestec.2024.444838.1008>

Siahaan, S., Hutapea, M., & Hasibuan, R. (2013). Penentuan Kondisi Optimum Suhu Dan Waktu

Karbonisasi Pada Pembuatan Arang Dari Sekam Padi. In *Jurnal Teknik Kimia Usu* (Vol. 2, Issue 1).

Song, Y., Ma, L., Duan, Q., Xie, H., Dong, X., Zhang, H., & Yu, L. (2024). Development Of Slow-Release Fertilizers With Function Of Water Retention Using Eco-Friendly Starch Hydrogels. In *Molecules* (Vol. 29, Issue 20). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (Mdpi). <Https://Doi.Org/10.3390/Molecules29204835>

Suci, I. A., & Astar, I. (2022). Enkapsulasi Urea Menggunakan Biokomposit Zeolit Alam Alginat-Pati Sagu Sebagai Model Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer). *Al-Kimia*, 10, 10–11. <Https://Doi.Org/10.24252/Al-Kimiav10i1.23739>

Sulistyani, M., & Huda, N. (2018). Indonesian Journal Of Chemical Science Perbandingan Metode Transmisi Dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infrared. In *J. Chem. Sci.* (Vol. 7, Issue 2). <Http://Journal.Unnes.Ac.Id/Sju/Index.Php/Ijcs>

Suyatmo, R. I. D., & Nulhakim, L. (2022). Kinetika Slow-Released Pupuk Urea Terenkapsulasi Dalam Alginat. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 22(3), 421–427. <Https://Doi.Org/10.35965/Eco.V22i3.1830>

Swantomo, D., Tri Basuki, K., & Sudiyo, R. (2014). 16 Effect Of Silica Fillers On Characterization Of Cellulose-Acrylamide Hydrogels Matrices As

Controlled Release Agents For Urea Fertilizers.
In *Indo. J. Chem* (Vol. 14, Issue 2).

Tetha E.S, D. A., & Sugiarso K. S, R. D. (2016).
Pebandingan Metode Analisa Kadar Besi Antara
Serimetri Dan Spektrofotometer Uv-Vis Dengan
Peng kompleks 1,10- Fenantrolin. *Akta Kimia
Indonesia*, 1(1), 8.
<Https://Doi.Org/10.12962/J25493736.V1i1.1419>

Timón, V., Maté, B., Herrero, V. J., & Tanarro, I. (2021).
Infrared Spectra Of Amorphous And Crystalline
Urea Ices. *Physical Chemistry Chemical Physics*,
23(39), 22344-22351.
<Https://Doi.Org/10.1039/D1cp03503g>

Udaibah, W., & Priyanto, A. (2017). Synthesis And
Structure Characterization Of Sio2 From Petung
Bamboo Leaf Ash (Dendrocalamus Asper
(Schult.F.) Backer Ex Heyne). *J. Nat. Scien. &
Math. Res*, 3(1), 215.
<Http://Journal.Walisongo.Ac.Id/Index.Php/Jnsmr>

Wahyuni, A. M., Afthoni, M. H., & Rollando. (2022).
Pengembangan Dan Validasi Metode Analisis
Spektrofotometri Uv-Vis Derivatif Untuk Deteksi
Kombinasi Hidrokortison Asetat Dan Nipagin
Pada Sediaan Krim. *Sainsbertek Jurnal Ilmiah
Sains & Teknologi*, 3.

Wang, Y. Q., Wang, S. S., Zhu, J., Wang, L., Jiang, B. H., &
Zhao, W. J. (2016). Determination Of Urea
Content In Urea Cream By Centrifugal Partition

Chromatography. *Journal Of Food And Drug Analysis*, 24(2), 399–405.
<Https://Doi.Org/10.1016/J.Jfda.2015.10.005>

Wibowo, A., Ridlo, A., & Sedjati, S. (2013). Pengaruh Suhu Ekstraksi Terhadap Kualitas Alginat Rumput Laut *Turbinaria Sp.* Dari Pantai Krakal, Gunung Kidul-Yogyakarta. In *Journal Of Marine Research* (Vol. 2, Issue 3).

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.
<Https://Doi.Org/10.1021/Acs.Iecr.0c04419>

Xiang, Y., Ru, X., Shi, J., Song, J., Zhao, H., Liu, Y., & Zhao, G. (2018). Granular, Slow-Release Fertilizer From Urea-Formaldehyde, Ammonium Polyphosphate, And Amorphous Silica Gel: A New Strategy Using Cold Extrusion. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 66(29), 7606–7615.
<Https://Doi.Org/10.1021/Acs.Jafc.8b02349>

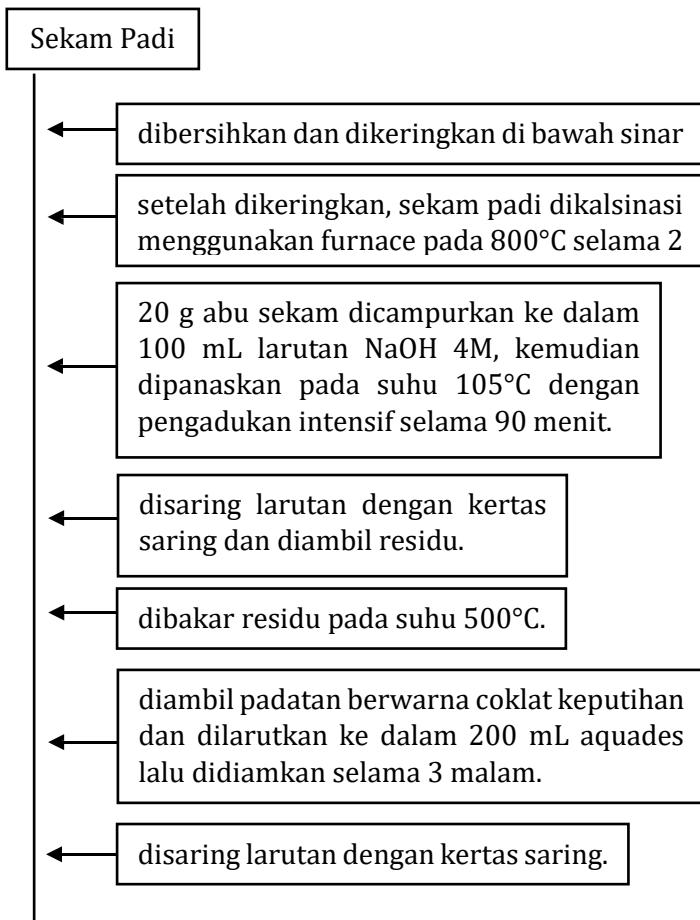
Yasar, S., Yalcin, H., & Dursun Capar, T. (2025). Investigating The Novel Use Of Rosehip Extracts And Seed Oils In The Production Of Alginate-Based Edible Films. *Journal Of Food Measurement And Characterization*.
<Https://Doi.Org/10.1007/S11694-025-03295-6>

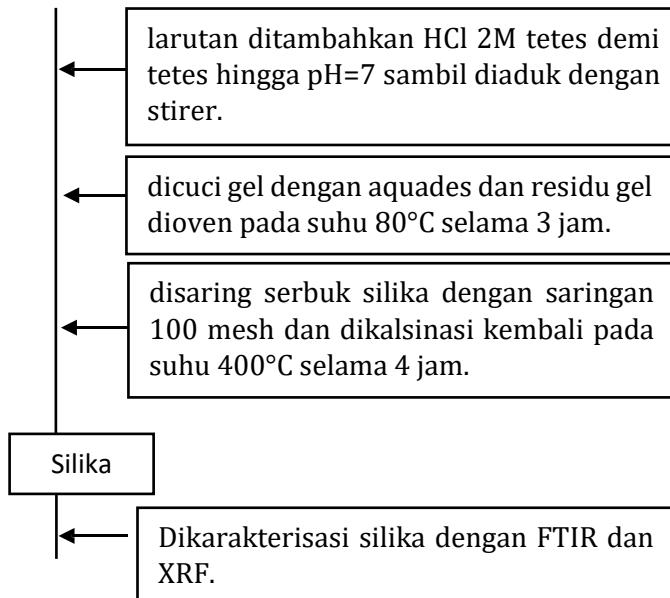
- Yerizam, M., Purnamasari, I., Hasan, A., & Junaidi, R. (2017). Modifikasi Urea Menjadi Pupuk Lepas Lambat Menggunakan Fly Ash Batubara Dan Naoh Sebagai Binder. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 23, Issue 4).
- Yuliani. (2018). Za (*Amonium Sulfat*)-Hidroksiapatit Enkapsulasi Sebagai Pupuk Pelepas Lambat (*Slow Release Fertilizer*) Nitrogen.
- Zhou, J., Chen, X., Duan, H., Ma, J., & Ma, Y. (2015). Synthesis And Characterization Of Nano-Sio 2 Modified Fluorine-Containing Polyacrylate Emulsifier-Free Emulsion. *Applied Surface Science*, 331, 504-511. <Https://Doi.Org/10.1016/J.Apsusc.2015.01.098>

LAMPIRAN-LAMPIRAN

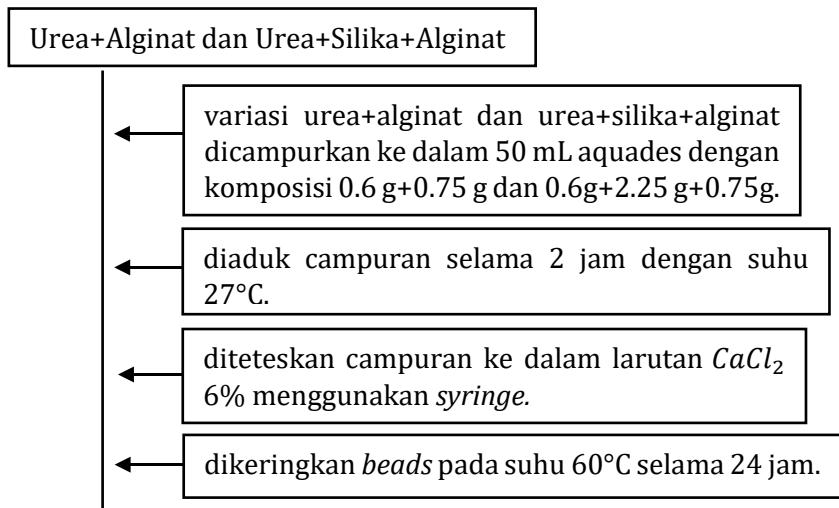
Lampiran 1. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

A. Preparasi Silika Abu Sekam Padi





B. Pembuatan *Beads*



Beads

dikarakterisasi *beads* dengan FTIR dan XRD.

C. *Beads Urea-Silika-Alginat*

a. Penentuan panjang gelombang maksimum

p-DAB + HCl + etanol

dilarutkan 1 g p-DAB ke dalam 10 mL HCl 0,1 M dan 50 mL etanol pa.

disiapkan larutan standar urea 500 mg/L dengan melarutkan 0,2765 g urea ke dalam 250 mL aquades.

diambil 4 mL larutan standar urea 500 mg/L, lalu ditambahkan 6 mL larutan peng kompleks ke dalam labu ukur.

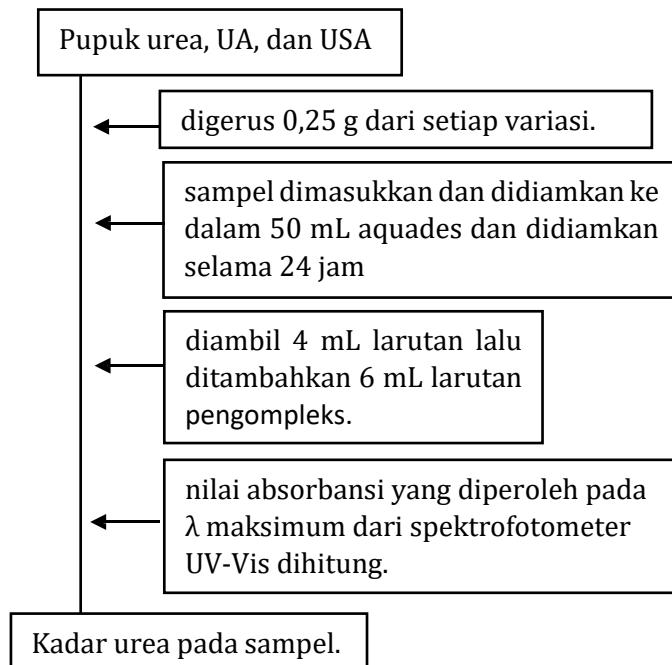
disiapkan blanko dengan mencampurkan 4 mL aquades dan 6 mL larutan peng kompleks ke dalam labu ukur.

setiap larutan didiamkan selama 1 jam.

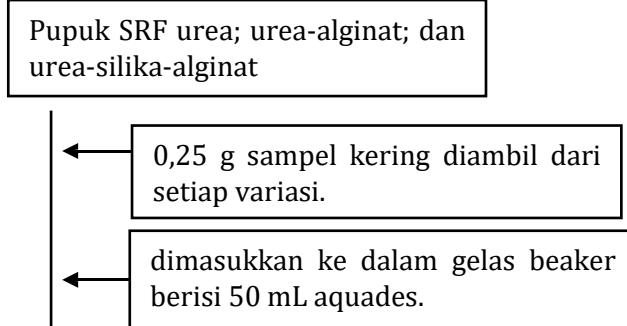
diukur absorbansi larutan pada rentang 400–500 nm (interval 1 nm) menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan λ maksimum.

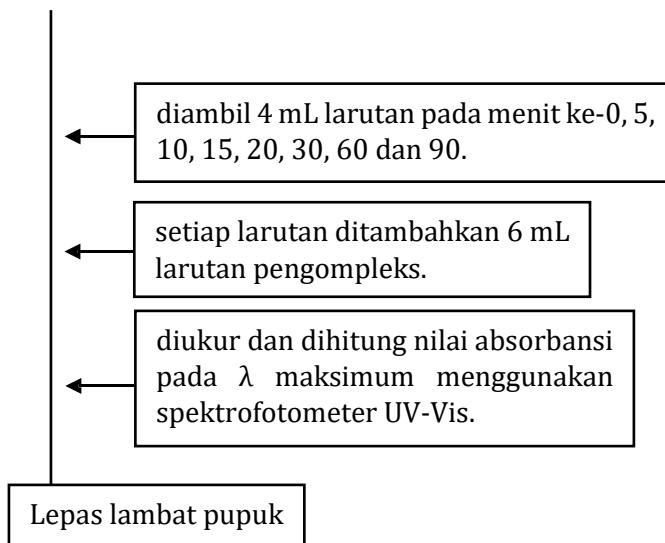
λ maksimum

b. Penentuan Kadar Urea, UA dan USA



c. Uji lepas lambat *beads* urea-silika-alginat





Lampiran 2. Perhitungan Kadar Urea dan Lepas Lambat Nitrogen

Pembuatan larutan standar 200, 250, 300, 350, 400 dan 500 mg/L:

Kadar urea dalam pupuk = 45,20%

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

$$\text{massa pupuk} = \frac{100}{45,20} \times 125 = \frac{276,54}{1000} = 0,2765$$

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

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

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

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

e) 400 ppm

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

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

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

Berdasarkan hasil data absorbansi dari larutan standar urea, maka diperoleh persamaan garis regresi sebagai berikut:

$$y = 0.0009x - 0.0052 \text{ dan } R^2 = 0.991$$

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
80	0,062
100	0,076
120	0,095
140	0,109
160	0,128
200	0,174

A. Analisis Kandungan Urea dalam Urea; *Beads* UA dan USA

Sebanyak 0,25 g *beads* urea-silika-alginat dilarutkan dalam 50 mL air (0,05 liter). Sampel diambil sebanyak 4 mL lalu diencerkan hingga volume 10 mL, setara dengan pengenceran 2,5 x. Lakukan perlakuan yang sama pada urea dan *beads* UA.

Nilai absorbansi yang diperoleh dari pengukuran spektrofotometer UV-Vis dimasukkan ke dalam persamaan garis regresi dari kurva standar.

a) Variasi Urea

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

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

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

$$x = 1.351,33 \text{ ppm}$$

$$x = 1.351,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 67,56 \times 2,5$$

$$x = 168,9 \text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{168,9}{250\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 67,56\%$$

b) Variasi Urea-Alginat

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

$$0,220 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,220 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 250,22\text{ ppm}$$

$$x = 12,51\text{ mg/L} \times 0,05\text{ L}$$

$$x = 12,51 \times 2,5$$

$$x = 31,27\text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{31,27}{250\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 12,50\%$$

c) Variasi Urea-Silika-Alginat

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

$$0,233 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,233 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 264,66\text{ ppm}$$

$$x = 264,66\text{ mg/L} \times 0,05\text{ L}$$

$$x = 33,07 \times 2,5$$

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

$$\%N\ release = \frac{75,3}{250\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 30,12\%$$

Sampel	Absorbansi	N release (%)
Urea	1,211	67,56
UA	0,220	12,50
USA	0,233	30,12

B. Analisis Lepas Lambat Urea dalam Media Air

Sebanyak 0,25 g *beads* urea-silika-alginat dilarutkan dalam 50 mL air (0,05 liter). Sampel diambil sebanyak 4 mL lalu diencerkan hingga volume 10 mL, setara dengan pengenceran 2,5 x. Lakukan perlakuan yang sama pada urea dan *beads* UA.

Nilai absorbansi yang diperoleh dari pengukuran spektrofotometer UV-Vis dimasukkan ke dalam persamaan garis regresi dari kurva standar.

a) Variasi Urea

- 5 menit

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

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

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

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

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

$$x = 30,12 \times 2,5$$

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

$$\% \text{N release} = \frac{75,3 \text{ mg}}{168,9 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 44,58\%$$

- 10 menit

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

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

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

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

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

$$x = 42,17 \times 2,5$$

$$x = 105,4 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{105,4 \text{ mg}}{168,9 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 62,40\%$$

- 15 menit

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

$$0,798 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,798+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 892,44 \text{ ppm}$$

$$x = 892,44 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 44,62 \times 2,5$$

$$x = 111,5 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{111,5 \text{ mg}}{168,9 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 66,01\%$$

- 20 menit

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

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

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

$$x = 894,66 \text{ ppm}$$

$$x = 894,66 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 44,73 \times 2,5$$

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

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

$$\% \text{N release} = 66,25\%$$

- 30 menit

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

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

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

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

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

$$x = 44,95 \times 2,5$$

$$x = 112,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{112,3 \text{ mg}}{168,9 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 66,48\%$$

- 60 menit

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

$$0,810 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,810+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 905,77 \text{ ppm}$$

$$x = 905,77 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 45,28 \times 2,5$$

$$x = 113,2 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{113,2 \text{ mg}}{168,9 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 67,02\%$$

- 90 menit

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

$$0,830 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,830+0,0052}{0,0009}$$

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

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

$$x = 46,4 \times 2,5$$

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

$$\%N\ release = \frac{116\ mg}{168,9\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 68,67\%$$

b) Variasi Urea-Alginat

- 5 menit

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

$$0,028 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,028+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 36,88 \text{ ppm}$$

$$x = 36,88 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,84 \times 2,5$$

$$x = 4,60 \text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{4,60\ mg}{31,7\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 14,5\%$$

- 10 menit

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

$$0,029 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,029+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 38 \text{ ppm}$$

$$x = 38 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,9 \times 2,5$$

$$x = 4,75 \text{ mg}$$

$$\%N release = \frac{4,75 \text{ mg}}{31,7 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\%N release = 14,9\%$$

- 15 menit

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

$$0,029 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,029+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 38 \text{ ppm}$$

$$x = 38 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,9 \times 2,5$$

$$x = 4,75 \text{ mg}$$

$$\%N release = \frac{4,75 \text{ mg}}{31,7 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\%N release = 14,9\%$$

- 20 menit

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

$$0,032 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,032+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 41,33 \text{ ppm}$$

$$x = 41,33 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,06 \times 2,5$$

$$x = 5,15 \text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{5,15\ mg}{31,7\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 16,2\%$$

- 30 menit

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

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

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

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

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

$$x = 2,12 \times 2,5$$

$$x = 5,30 \text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{5,30\ mg}{31,7\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 16,7\%$$

- 60 menit

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

$$0,034 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,034+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 43,55 \text{ ppm}$$

$$x = 43,55 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,17 \times 2,5$$

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

$$\% \text{N release} = \frac{5,42 \text{ mg}}{31,7 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 17\%$$

- 90 menit

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

$$0,037 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,037+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 46,88 \text{ ppm}$$

$$x = 46,88 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 2,34 \times 2,5$$

$$x = 5,85 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{5,85 \text{ mg}}{31,7 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 18,4\%$$

c) Variasi Urea-Silika-Alginat

- 5 menit

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

$$0,003 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,003+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 9,11 \text{ ppm}$$

$$x = 9,11 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,45 \times 2,5$$

$$x = 1,12 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{1,12 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 1,6\%$$

- 10 menit

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

$$0,006 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,006+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 12,44 \text{ ppm}$$

$$x = 12,44 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,62 \times 2,5$$

$$x = 1,55 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{1,55 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 2\%$$

- 15 menit

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

$$0,009 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,009 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 15,77 \text{ ppm}$$

$$x = 15,77 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 0,79 \times 2,5$$

$$x = 1,97 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{1,97 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 2,6\%$$

- 20 menit

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

$$0,0014 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,0014 + 0,0052}{0,0009}$$

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

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

$$x = 1,07 \times 2,5$$

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

$$\% \text{N release} = \frac{2,67 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 3,5\%$$

- 30 menit

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

$$0,017 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,017 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 24,66 \text{ ppm}$$

$$x = 24,66 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 12,33 \times 2,5$$

$$x = 3,08 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{3,08 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 4\%$$

- 60 menit

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

$$0,017 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,017 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 24,66 \text{ ppm}$$

$$x = 24,66 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,23 \times 2,5$$

$$x = 3,08 \text{ mg}$$

$$\% \text{N release} = \frac{3,08 \text{ mg}}{75,3 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{N release} = 4\%$$

- 90 menit

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

$$0,022 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,022+0,0052}{0,0009}$$

$$x = 30,22 \text{ ppm}$$

$$x = 30,22 \text{ mg/L} \times 0,05 \text{ L}$$

$$x = 1,51 \times 2,5$$

$$x = 3,80 \text{ mg}$$

$$\%N\ release = \frac{3,80\ mg}{75,3\ mg} \times 100\%$$

$$\%N\ release = 5\%$$

Waktu (menit)	Urea (%)	UA (%)	USA (%)
0	0	0	0
5	44,58	14,5	1,6
10	62,40	14,9	2,0
15	66,01	14,9	2,6
20	66,25	16,2	3,5
30	66,48	16,7	4,0
60	67,02	17,0	4,0
90	68,67	18,4	5,0

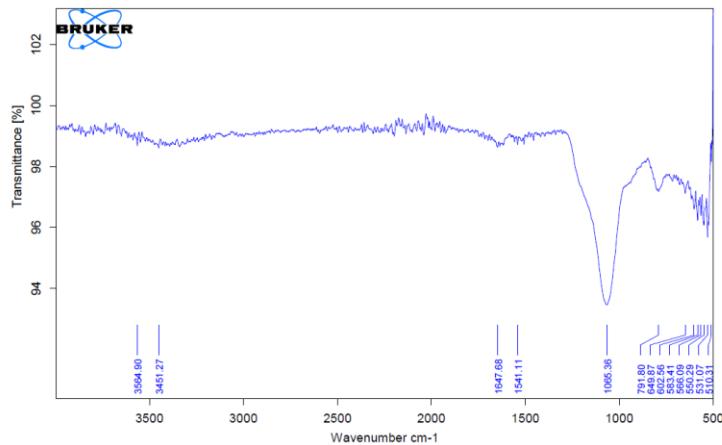
Lampiran Dokumentasi

No	Aktifitas	Gambar
1.	Preparasi sekam padi	
2.	Hasil kalsinasi sekam padi	
3.	Hasil gel silika	
4.	Serbuk putih silika	

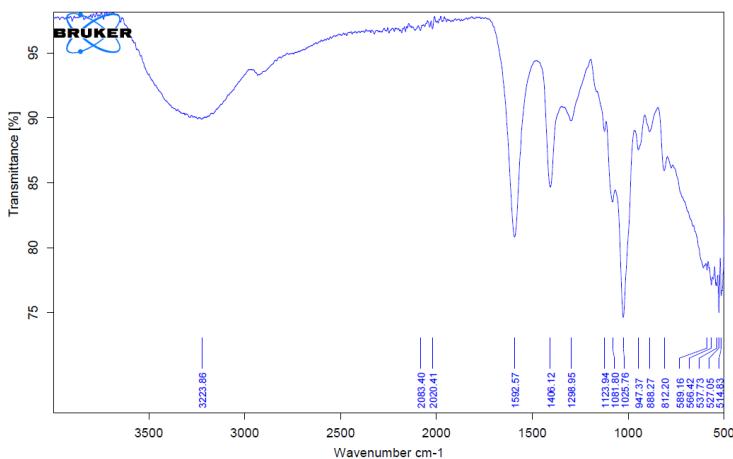
5.	<i>Beads</i> pupuk lepas lambat		
6.	Uji lepas lambat nitrogen		
7.	Uji lepas lambat pupuk urea murni		
8.	Larutan standar		

Lampiran Karakterisasi

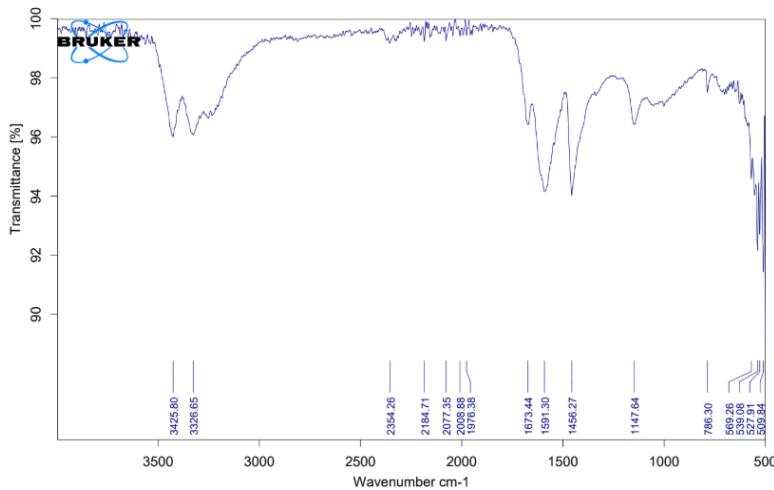
a) Karakterisasi FTIR Silika



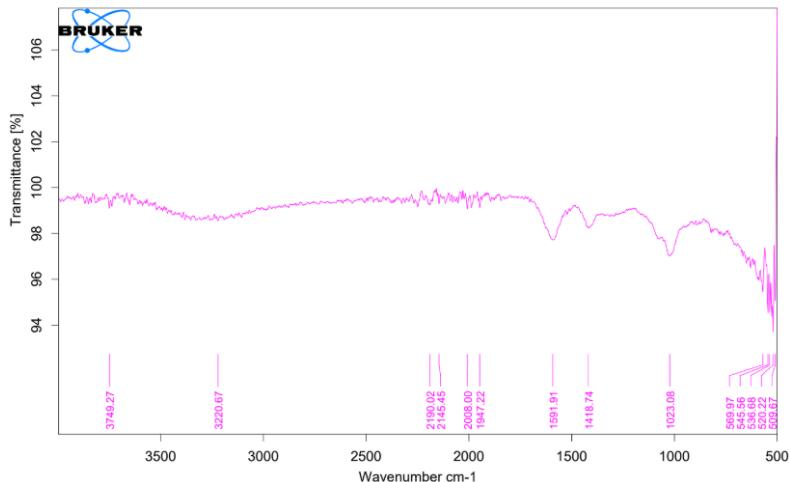
b) Karakterisasi FTIR Alginat



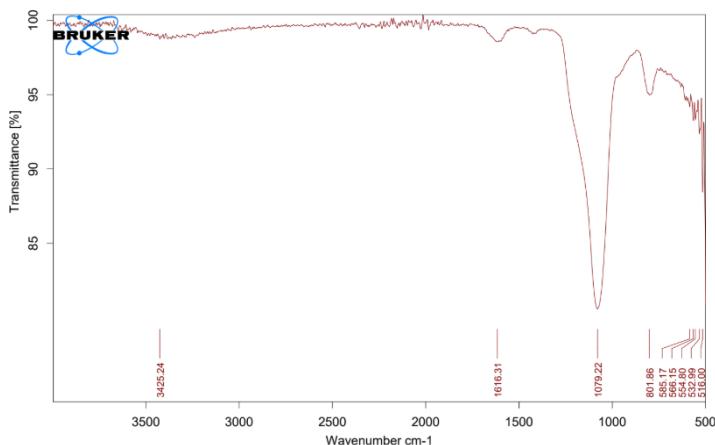
c) Karakterisasi FTIR Urea



d) Karakterisasi FTIR Urea-Alginat (UA)



e) Karakterisasi FTIR Urea-Silika-Alginat



f) Karakterisasi XRF Silika

16-mrt-2025 13:07:31

Sample results

Page 1

Sample ident	
XRF 207	

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	26-mrt-2025 12:03:54
Position	2

Compound	SiO ₂	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	Eu ₂ O ₃	Re ₂ O ₇
Conc	98,9	0,535	0,16	0,283	0,038	0,007	0,01	0,063
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%

5-mrt-2025 12:55:18

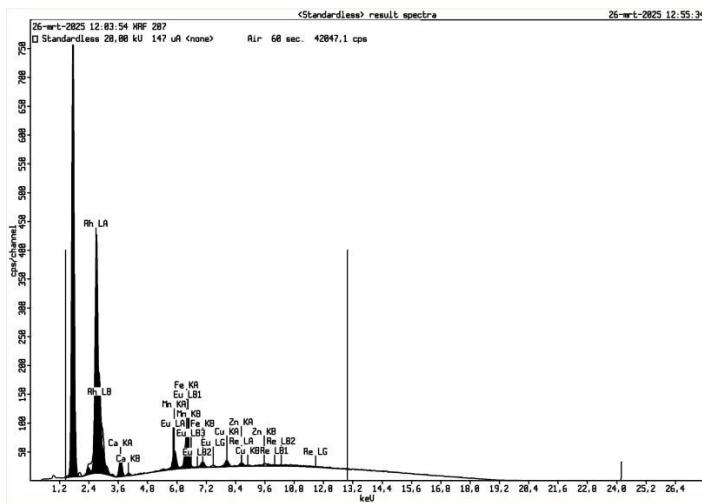
Sample results

Page 1

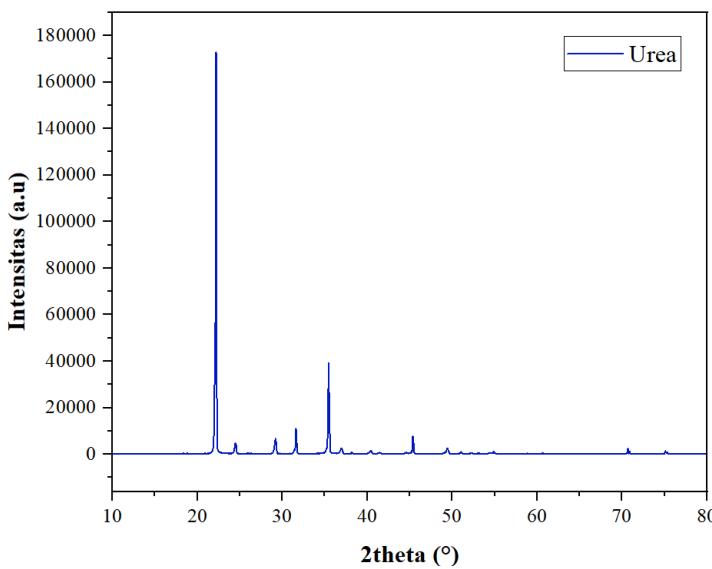
Sample ident	
XRF 207	

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	26-mrt-2025 12:03:54
Position	2

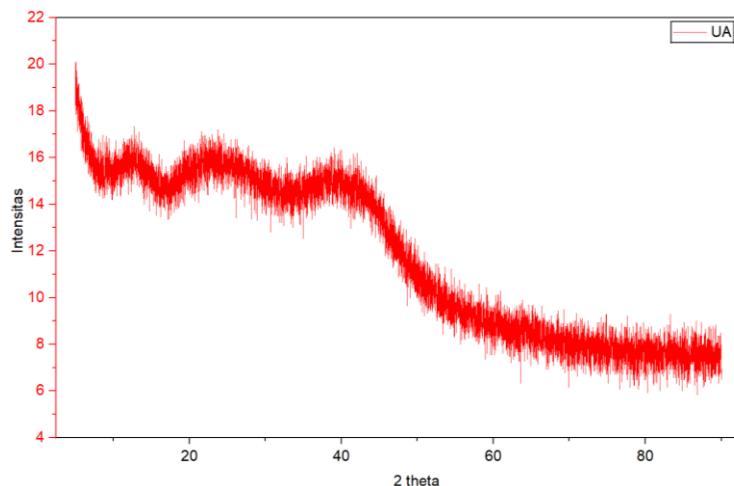
Compound	Si	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Eu	Re
Conc	97,2	1,34	0,44	0,728	0,11	0,02	0,0	0,17
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%



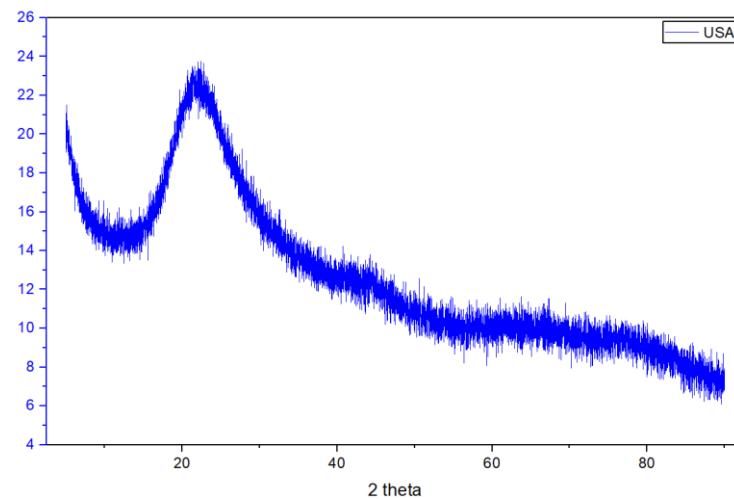
g) Karakterisasi XRD Urea



h) Karakterisasi XRD Urea-Alginat



i) Karakterisasi XRD Urea-Silika-Alginat



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Sabina Dewi Safitri
2. Tempat & Tgl lahir : Jakarta, 14 Desember 2002
3. Alamat Rumah : Jl. Joglo baru RT 005/RW 006
4. Nomor HP : +62 812-8526-3858
5. E-mail : sabinadewi02@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. PAUD Al-Ikhlas Joglo lulus 2009
 - b. SDN Joglo 09 Pagi lulus 2015
 - c. SMPN 142 Jakarta Barat lulus 2018
 - d. SMAS Yadika 5 Joglo lulus 2021
 - e. UIN Walisongo Semarang lulus 2025