

SINTESIS PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN BERBAHAN UREA-ZEOLIT A-ALGINAT

SKRIPSI

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



Oleh : **NATALIA NADA MAHARANI**

NIM : 2108036012

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

2025

SINTESIS PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN BERBAHAN UREA-ZEOLIT A-ALGINAT

SKRIPSI

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



Oleh : **NATALIA NADA MAHARANI**

NIM : 2108036012

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Natalia Nada Maharani

NIM : 2108036012

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

SINTESIS PUPUK LEPAS LAMBAT NITROGEN BERBAHAN UREA-ZEOLIT A-ALGINAT

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

Semarang, 25 Juni 2025

Pembuat Pernyataan



Natalia Nada Maharani

NIM. 2108036012



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 : Sintesis Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbahan Urea-
Zeolit A-Alginat
Nama : **Natalia Nada Maharani**
NIM : 2108036012
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,

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

Sekretaris Sidang,

Dr. Malikhatul Hidayah, ST, M.Pd.
NIP. 198304152009122006

Penguji I,

Kholidah, M.Sc.
NIP. 198508112019032008

Penguji II,

Mutista Hafshah, M. Si.
NIP. 199401022019032015



Pembimbing,

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

NOTA DINAS

Semarang, 25 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

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

Judul : **Sintesis Pupuk Lepas Lambat Nitrogen
Berbahan Urea-Zeolit A-Alginat**

Penulis : **Natalia Nada Maharani**

NIM : 2108036012

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb

Pembimbing,



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

ABSTRAK

Peningkatan populasi global menimbulkan tantangan besar bagi sektor pertanian, terutama terkait pemenuhan kebutuhan pangan. Namun, hingga saat ini sistem pertanian masih menghadapi masalah mendasar yaitu penggunaan pupuk urea konvensional yang tidak efisien. Pupuk lepas lambat merupakan alternatif yang dapat diterapkan dalam mengontrol laju pelepasan unsur hara. Zeolit A dan alginat adalah material potensial sebagai agen lepas lambat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zeolit A dan pupuk lepas lambat yang disintesis serta mengetahui profil lepas lambatnya. Penelitian diawali dengan sintesis zeolit A, yang keberhasilan sintesisnya ditunjukkan oleh spektrum FTIR yang menunjukkan gugus O-H, vibrasi asimetris dan simetris T-O, serta ikatan cincin ganda. Selain itu, indikasi keberhasilan juga dapat diketahui dari hasil XRD yang menunjukkan puncak intensitas tertinggi pada $2\theta = 7,12^\circ$. Sintesis pupuk lepas lambat menggunakan metode ekstrusi dengan komposisi sampel terbagi menjadi dua yaitu urea-alginat tanpa zeolit A (UA) dan urea-zeolit A-alginat (UZA). Hasil FTIR kedua *beads* mengindikasikan terdapatnya puncak khas spektra dari urea (ikatan C-N), alginat (C-O, O-H, dan COO⁻), maupun zeolit A (ikatan cincin ganda dan T-O asimetris), sedangkan hasil XRD menunjukkan bahwa urea telah terdistribusi sempurna pada matriks alginat serta puncak tajam pada *beads* UZA yang mengindikasikan bahwa zeolit A mendominasi. Profil pelepasan urea *beads* UA dan *beads* UZA menunjukkan pelepasan yang terkontrol. Pelepasan urea secara lambat dan bertahap terlihat lebih menonjol pada *beads* UZA, yang ditandai dengan grafik pelepasan yang paling landai. Pada interval menit ke-5 hingga menit ke-10, perbedaan persentase pelepasan urea pada *beads* UZA hanya sebesar 4,1% sedangkan *beads* UA mencapai 15,57%. Sementara itu, pada interval menit ke-60 hingga menit ke-90, perbedaan pelepasan urea pada UZA semakin kecil yaitu 0,4%, sedangkan *beads* UA yaitu 0,44%. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa kombinasi alginat

dan zeolit A dalam matriks *beads* efektif dalam memperlambat pelepasan urea dalam air.

Kata kunci : *alginat, lepas lambat nitrogen, urea, zeolit A*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrobil'alamiin segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah WT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul : “Sintesis Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbahan Urea-Zeolit A-Alginat” untuk memenuhi tugas akhir dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta alam semoga terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang dinantikan syafaatnya di hari akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari adanya bimbingan, motivasi, serta doa dari berbagai pihak, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Mulyatun, S.Pd., M.Si., Ketua Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi serta selaku Dosen Wali Studi yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dari awal masa kuliah sampai akhir studi.

4. Dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, motivasi, dan dukungan kepada penulis, Ibu Zidni Azizati, M.Sc. dan Ibu Dr. Mulyatun, S.Pd., M.Si.
5. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi terutama jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang, yang telah memberikan berbagai pengetahuan dan pengalaman selama dibangku perkuliahan.
6. Kedua orang tua penulis, Mama Etin Susilowati dan Papa Mukhlisin, serta Kakak Netha, Adik Arin, Kakak Dandy, Keponakan Reagan, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, kasih sayang, dan doa kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik dan lancar sampai akhir.
7. Sahabat-sahabat penulis yaitu Vivi Dewi, Hanik Sya'adah, Siti Habibah, Anggun Niken, dan Diajeng Ayu yang telah menjadi tempat berbagi cerita, berkeluh kesah, saling *support* selama perkuliahan, dan menjadi keluarga selama diperantauan.
8. *Partner* selama di laboratorium yaitu Ajeng, Sabina, Vika, dan Viki yang telah menjadi tempat berbagi cerita maupun ilmu, menemani selama penelitian dan mendukung penulis mulai dari mengumpulkan data, mengolah, menyusun, sampai mempersiapkan materi untuk sidang.

9. Rizki yang telah menjadi tempat berbagi cerita, berkeluh kesah, pendengar dan penasehat yang baik, selalu *support* penulis ketika *down*, dan mengapresiasi hal sekecil apapun itu.
10. Sahabat kecil penulis, Tyas Nur Priyani yang telah menjadi tempat bercerita, berkeluh kesah, yang mau meluangkan waktu untuk mendengarkan segala hal yang mungkin terkadang diluar dugaan, menemani penulis dari masa sekolah sampai saat ini, selalu mengajak ke arah yang lebih positif, dan menjadi saudara perjuangan.
11. Ka Ayu dan Ka Nada yang telah sukarela menjadi tentor khusus selama perkuliahan dan masa-masa penelitian, menjadi tempat mengadu kesulitan tugas, dan selalu memberikan apresiasi sekecil apapun itu.
12. Teman-teman seperjuangan Kimia Angkatan 2021 khususnya KIM-A yang telah menunjukkan arti dari sebuah pertemanan dan menjadi tempat untuk saling bertukar ilmu.
13. Untuk diri saya sendiri, Natalia Nada Maharani. Terima kasih karena tetap berdiri tegak dan terus melangkah maju, walaupun berkali-kali ego mendorong untuk berhenti. Banyak hal yang telah dilewati untuk sampai di titik ini, bertemu dengan ketidakpastian, timbul rasa ingin menyerah ataupun putus asa. Namun, semua itu tidak

menjadi alasan untuk berhenti mengejar dan menyelesaikan apa yang telah dimulai hingga mencapai garis akhir yang indah. Tetaplah rendah hati. Jadilah perempuan yang mau berusaha serta tidak lelah untuk mencoba, karena semua ini adalah awal dari sebuah permulaan. *Trust that Allah has given you every good opportunity personally, so do your best and don't waste it.*

14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan semangat dan motivasi demi terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar lebih baik kedepannya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya.

Semarang, 25 Juni 2025

Penulis

Natalia Nada Maharani

2108036012

DAFTAR ISI

COVER	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Tujuan Penelitian.....	10
D. Manfaat Penelitian	11
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	12
A. Kajian Pustaka.....	12
B. Karakterisasi.....	25
C. Kajian Penelitian yang Relevan.....	34
D. Hipotesis.....	37
BAB III METODE PENELITIAN	38
A. Waktu dan Tempat Penelitian	38
B. Alat dan Bahan.....	38

C. Prosedur Kerja.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
A. Preparasi Metakaolin	45
B. Sintesis Zeolit A	52
C. Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbahan Urea-Zeolit A-Alginat	59
D. Analisis Kadar Urea <i>Terloading</i> dalam Sampel.....	73
E. Uji Pelepasan Urea dalam Sampel.....	79
BAB V PENUTUP	84
A. Kesimpulan.....	84
B. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN	103
Lampiran 1. Alur Kerja Penelitian	103
Lampiran 2. Data FTIR	109
Lampiran 3. Data XRD	113
Lampiran 4. Analisis Data	116
Lampiran 5. Dokumentasi.....	138
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	141

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pupuk urea	13
Gambar 2.2	Struktur Permukaan Zeolit	15
Gambar 2.3	Zeolit A	18
Gambar 2.4	Struktur Kimia pada Alginat	22
Gambar 2.5	Diagram Skematis dari Metode Ekstrusi	25
Gambar 2.6	Skema Alat Spektrofotometer Uv-Vis	26
Gambar 2.7	Spektrum FTIR Zeolit A	28
Gambar 2.8	Spektrum FTIR Natrium Alginat	29
Gambar 2.9	Spektra FTIR dari Pupuk Lepas Lambat Berbahan Urea dan Lempung Bentonit	30
Gambar 2.10	Prinsip Kerja XRD	32
Gambar 2.11	Difraktogram Zeolit A Sintetis dari Kaolin Capkala	34
Gambar 4.1	Hasil Kalsinasi Kaolin Menjadi Metakaolin	47
Gambar 4.2	Spektrum FTIR (a) Kaolin dan (b) Metakaolin	47
Gambar 4.3	Hasil XRD Metakaolin dan Kaolin	50
Gambar 4.4	Zeolit A Hasil Sintesis	54
Gambar 4.5	Spektrum FTIR Zeolit A	55
Gambar 4.6	Spektrum XRD Zeolit A	57
Gambar 4.7	Reaksi antara Alginat dan CaCl_2	61
Gambar 4.8	<i>Beads</i> Pupuk Lepas Lambat Nitrogen	62
Gambar 4.9	Spektrum FTIR Pupuk Urea, Zeolit A, Alginat, UA, dan UZA	63
Gambar 4.10	Difraktogram Pupuk Urea	70
Gambar 4.11	Difraktogram <i>Beads</i> UA dan <i>Beads</i> UZA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 4.12	Reaksi p-DAB dengan Urea	74
Gambar 4.13	Kurva Standar Pupuk Urea	75
Gambar 4.14	Ikatan Hidrogen Zeolit A-Alginat	77
Gambar 4.15	Interaksi antara Urea-Zeolit A-Alginat	77
Gambar 4.16	Interaksi antara Urea-Alginat	78
Gambar 4.17	Profil Lepas Lambat Urea Komersial, UA, dan UZA	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Perbandingan Pupuk Urea, Zeolit A, dan Alginat	42
Tabel 4.1	Interpretasi Hasil Uji FTIR Metakaolin	48
Tabel 4.2	Interpretasi Hasil Uji FTIR Zeolit A	55
Tabel 4.3	Perbandingan Difraktogram Zeolit A	58
Tabel 4.4	Perbandingan <i>Basal Spacing</i> Zeolit A	61
Tabel 4.5	Interpretasi Hasil Uji FTIR Pupuk Urea, Zeolit A, Alginat, <i>Beads</i> UA, dan <i>Beads</i> UZA	64
Tabel 4.6	Jumlah Urea Terloading pada <i>Beads</i>	76
Tabel 4.7	%Urea <i>Release</i> PU, UA, dan UZA	80

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Alur Kerja Penelitian	103
Lampiran 2	Data FTIR	109
Lampiran 3	Data XRD	113
Lampiran 4	Analisis Data	116
Lampiran 5	Dokumentasi	141

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada tahun 2050, diprediksikan akan terjadi peningkatan permintaan produksi dan konsumsi pangan sebesar 37%, dari 59% menjadi 98%. Permasalahan tersebut merupakan tantangan global dikarenakan pada tahun 2050 populasi manusia akan mencapai 9 miliar, sehingga perlu adanya solusi untuk membangun ketahanan pangan (Duro et al., 2020). Peningkatan populasi global membuat peranan sektor pertanian menjadi penting dalam mengatasi kebutuhan dan penyediaan pangan manusia (Singh & Sengar, 2020). Hal ini menjadikan sektor pertanian memiliki tantangan tersendiri dalam menghasilkan produk yang efisien dan berkelanjutan. Maka dari itu, peranan pupuk urea sebagai sumber nitrogen sangat diutamakan dalam rangka peningkatan produktivitas pertanian (Jayanudin & Lestari, 2020).

Pemberiaan pupuk ke tanah diutamakan dengan tujuan untuk memperbaiki karakteristik tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman serta dapat mengoptimalkan resistensi tanaman yang disebabkan kekurangan air ataupun serangan hama dan penyakit pada tanaman (Hardiyanti et al., 2022). Keutamaan pupuk dalam

meningkatkan kesuburan tanah dapat menjadikan tanaman tumbuh subur, seperti halnya yang tercantum dalam firman-Nya pada surat Al A'raf (7) ayat 58:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ، بِإِذْنِ رَبِّهِ ۖ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ كَذَٰلِكَ نُصَرِّفُ الْأَيَّامَ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ (الأعراف : 58)

Yang artinya: "Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur" (Q.S Al A'raf/7:58)

Menurut tafsir *Ath-Thabari* yang ditulis oleh Abu Ja'far mengenai surat Al A'raf (7) ayat 58 yaitu bangsa yang baik adalah bangsa yang tanahnya subur dan airnya segar. Ketika Allah menganugerahkan kehidupan kepadanya sesuai dengan kehendak-Nya maka tumbuhlah tanam-tanaman yang menghasilkan hasil bumi yang sangat baik, sedangkan tanah yang tidak subur dan airnya tidak cukup maka tanam-tanamannya tidak keluar melainkan sangat sulit. Berdasarkan sudut pandang ilmiah, tanah yang subur ditandai dengan kandungan air, unsur hara, serta at organik dan anorganik yang tersedia dalam jumlah cukup untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal (Nadzifah, 2011). Menurut tafsir dari Departemen Agama Republik Indonesia menjelaskan

bahwa tanah dikatakan baik dan subur jika mendapat sedikit saja hujan yang menjadikan tanah tersebut dapat menumbuhkan berbagai jenis tanaman dan menghasilkan banyak bahan makanan. Akan tetapi ada pula yang tidak baik, walaupun telah terkena hujan yang lebat tetapi tanam-tanamannya tidak subur dan tidak dapat menghasilkan apa-apa. Pada dasarnya, tanaman membutuhkan media tanam berupa tanah yang subur untuk menjadikan tanaman tumbuh secara bertahap (Zuhaida & Kurniawan, 2018).

Kesuburan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen. Permintaan nitrogen (N) dalam lingkup global diprediksikan akan meningkat 1,4% per tahun hingga tahun 2023. Urea merupakan pupuk nitrogen yang paling umum digunakan dan permintaan urea tingkat global akan meningkat 1,2% per tahun sehingga mencapai 184 Mt pada tahun 2023 (Ahmad et al., 2021). Tingginya penggunaan pupuk urea disebabkan kandungan nitrogen yang tergolong besar yaitu sekitar 46% (Lestari et al., 2022).

Namun, penggunaan pupuk secara berlebihan akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan karena menghasilkan emisi berbahaya seperti NH_3 , NO_2 , dan CO_2 (Azeem et al., 2014). Selain itu, pupuk konvensional memiliki *nutrients use efficiency* (NUE) yang rendah

sehingga akan menyebabkan kadar pupuk yang terserap pada tanaman hanya sebagian dan sisa pupuk tersebut akan berdampak pada lingkungan (Jayanudin & Lestari, 2020).

Sifat pupuk yang mudah larut dalam air menyebabkan penyerapan kandungan pupuk oleh tanaman tidak sempurna. Hal ini didukung oleh pernyataan Novan dan Maharani (2017), bahwa nutrisi yang diserap tanah sebesar 40-70% nitrogen dari pupuk dan sisa pupuk lainnya akan memberikan efek samping pada kontaminasi lingkungan. Selain itu, menurut (Aulia, 2022) sisa pupuk yang tidak terserap ke tanah akan berdampak pada kesehatan dan mutu hasil pertanian. Menurut Ivanky dan Wahyudi (2012), sebanyak 30-40% nitrogen hanya terserap di tanah dan sisanya sekitar 60% hilang ketika proses volatilisasi menjadi gas amoniak. Rendahnya penggunaan nitrogen di tanah pada dasarnya dipengaruhi oleh tingkat kecepatan laju pelepasan dari pupuk urea. Pelepasan nitrogen yang terkandung dalam pupuk harus dikontrol untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu pupuk lepas lambat telah diusulkan dan dikembangkan sebagai salah satu respon peningkatan dan efisiensi unsur hara pupuk yang tinggi serta standar perlindungan lingkungan yang ketat (Duhan et al., 2017).

Pupuk lepas lambat adalah pupuk yang dapat mengendalikan laju pelepasan nutrisi yang hilang disebabkan larut dalam air, mudah menguap, atau terjadinya denitrifikasi (Aziz et al., 2022). Pupuk lepas lambat merupakan teknologi ramah lingkungan yang tidak hanya mengurangi kehilangan nitrogen akibat penguapan, tetapi juga mengubah kinetika pelepasan nitrogen (Zhang et al., 2015). Hal ini dipertegas oleh penelitian Pamungkas dan Ridho (2022), bahwa laju pelepasan urea mencapai fraksi 66% dengan kurun waktu kurang dari satu bulan, sedangkan laju pelepasan pupuk urea tipe *controlled-release* sebesar 75% selama satu bulan perendaman. Pupuk lepas lambat mengacu pada laju pelepasan yang diperlambat sekaligus memenuhi kebutuhan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman (Hebo Shi et al., 2022). Keuntungan pupuk lepas lambat dibandingkan pupuk konvensional yaitu pelepasan nutrisi secara perlahan sehingga akan terserap ke dalam tanaman dan mengurangi pemakaian dalam jumlah besar (Suci & Astar, 2022), meningkatkan efisiensi pupuk, mengurangi kemungkinan hilangnya pupuk karena air hujan, dan menghasilkan pelepasan pupuk yang berkelanjutan dalam jangka lebih lama (Han et al., 2009).

Material yang dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan pupuk lepas lambat salah satunya adalah zeolit. Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, *binder*, dan penukar kation karena memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi yaitu sekitar 120-180 me/100g yang dapat dimanfaatkan sebagai pengadsorpsi, pengikat, dan penukar kation (Novan & Maharani, 2017). Zeolit merupakan aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari jaringan tiga dimensi SiO_4 dan tetrahedron AlO_4 yang dihubungkan oleh atom oksigen. Atom Si digantikan oleh Al menghasilkan muatan negatif yang dinetralkan oleh kation, sehingga zeolit memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi terhadap kation amonium. Penyerapan kation membuat zeolit dapat menyerap NH_4^+ yang dapat meminimalisir hilangnya nitrogen (Ahmad et al., 2021).

Penambahan zeolit pada pupuk lepas lambat digunakan sebagai bahan pendukung dengan memanfaatkan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi dari zeolit (Aziz et al., 2022). Menurut Styana dan Fenti (2010), zeolit digunakan sebagai material pengikat nitrogen sementara sehingga dapat membantu mengendalikan pelepasan hara tanaman dan meningkatkan kesuburan tanah. Berdasarkan penelitian Rahmayani, Arryanto dan

Kartini (2019), menunjukan bahwa zeolit dengan polimer dapat meningkatkan aktivitas pelepasan lambat.

Zeolit diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan asalnya, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam memiliki kemampuan penukar anion atau kation yang sangat rendah. Hal ini disebabkan terdapatnya logam lain dalam zeolit alam sehingga terjadi kompetisi pertukaran dengan logam yang tidak diharapkan (Setiawati et al., 2015). Dibandingkan dengan zeolit alam, zeolit sintetis lebih sering dimanfaatkan untuk komersial. Hal ini dikarenakan zeolit sintetis memiliki ukuran yang sama, kemurniaan yang lebih tinggi, dan strukturnya dapat direkayasa sesuai dengan yang diperlukan (Sugiarti et al., 2017).

Salah satu jenis zeolit sintetis adalah zeolit A. Keunggulan zeolit A dibandingkan zeolit sintetis lainnya adalah bersifat hidrofobik dan memiliki konsentrasi kation yang tinggi (Kurniawan, 2017). Zeolit A dapat disintesis menggunakan bahan dasar kaolin. Hal ini dikarenakan kaolin memiliki sumber silika yang tinggi. Kaolin yang akan dimanfaatkan dikonversi terlebih dahulu menjadi metakaolin melalui proses metakaolinisasi dengan tujuan untuk mengaktifkan kaolin (Haditya et al., 2019). Kaolin diaktivasi dikarenakan kaolin dalam bentuk asli memiliki

sifat tidak aktif sehingga tidak dapat digunakan langsung untuk sintesis zeolit A (Haditya et al., 2019). Hal ini dikarenakan dalam keadaan tidak aktif, kaolin masih dalam fasa kristalin (Subagjo et al., 2015) serta Si-O dan Al-O bersifat inert sehingga perlu diaktifkan (Gougazeh & Buhl, 2014).

Material lain yang dapat digunakan dalam sintesis pupuk lepas lambat adalah polimer. Penggunaan polimer dapat memberikan pelepasan yang lambat karena dinding mikrokapsul yang terbentuk semakin tebal sehingga polimer dapat dijadikan sebagai sediaan lepas lambat (Mardikasari et al., 2020). Polimer yang umumnya digunakan antara lain akrilamida, polisulfon, asam akrilat, dan polietilen. Namun, polimer sintetis memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena sifatnya yang beracun, biaya produksi yang tinggi, sulit terurai, dan dapat mengubah pH tanah. Alternatif yang dapat digunakan adalah pemanfaatan polimer alami sebagai pupuk lepas lambat, hal ini dikarenakan sifatnya yang mudah terdegradasi (Sunardi, Mayori, et al., 2021). Polimer alami yang sering digunakan sebagai pembawa struktur enkapsulasi adalah kelompok polisakarida seperti karagenan, kitosan, pati, serta alginat.

Alginat memiliki beberapa sifat yaitu biodegradabel, non-toksik, biokompatibiliti, dan kemampuan membentuk gel dengan berbagai pengikat silang dalam keadaan berair (Adzmi et al., 2012). Alginat cenderung berfungsi sebagai matriks yang sangat baik untuk *slow release* bahan kimia di bidang pertanian karena mudah terurai (Sathisaran & Balasubramanian, 2020). Berdasarkan penelitian Lestari, Yuningsih dan Muharam (2022), menunjukkan bahwa hidrogel superabsorben berbahan dasar natrium alginat-bentonit dapat dijadikan sebagai pelapis pupuk lepas lambat, ditandai dengan persentase *swelling* sebesar 2.894,3%..

Berdasarkan uraian tersebut, zeolit A dan alginat berpotensi sebagai *slow release agent* dalam matriks pupuk lepas lambat. Penelitian mengenai sintesis pupuk lepas lambat dengan perpaduan zeolit alam dan alginat telah dilakukan oleh Suratman *et al.*, (2020) menggunakan metode *freeze-drying* yang menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan *beads* alginat/NPK dalam pelepasan NPK. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan zeolit A sebagai pengembangan dari pemanfaatan zeolit sebagai agen lepas lambat yang dikombinasikan dengan alginat pada sintesis pupuk lepas lambat nitrogen menggunakan teknik ekstrusi dengan sumber nitrogen berupa urea

sebagai solusi dalam mengatasi tingkat kecepatan pelepasan dan pemanfaatan unsur hara pada tanah yang belum optimal serta meminimalisir pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pupuk konvensional.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik zeolit A yang dihasilkan?
2. Bagaimana karakteristik pupuk lepas lambat nitrogen yang dihasilkan?
3. Bagaimana profil pelepasan urea dari pupuk lepas lambat yang dihasilkan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui karakteristik zeolit A yang dihasilkan.
2. Untuk mengetahui karakteristik pupuk lepas lambat nitrogen yang dihasilkan.
3. Untuk mengetahui profil pelepasan urea dari pupuk lepas lambat yang dihasilkan.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa pengetahuan tentang karakteristik dan sintesis dari pupuk lepas lambat nitrogen berbahan zeolit A-alginat-urea.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

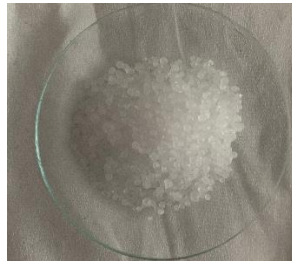
A. Kajian Pustaka

1. Urea

Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) merupakan salah satu pupuk konvensional yang umum digunakan dalam pertanian. Urea mengandung nitrogen yang diserap tanaman dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3). Ketika urea bersentuhan dengan tanah dalam keadaan lembab, maka enzim urease dalam tanah mengubah nitrogen dalam urea menjadi amonium melalui proses hidrolisis. Kemudian, amonium diubah menjadi nitrit dan dilanjutkan dengan oksidasi nitrit menjadi nitrat oleh enzim melalui proses nitrifikasi (Hermida & Agustian, 2019).

Kandungan nitrogen dalam pupuk urea sebesar 46% dengan bioavailabilitas yang sangat tinggi. Tetapi, tingkat kehilangan tergolong tinggi dibandingkan pupuk jenis lain jika bersentuhan dengan tanah. Pengaplikasian urea ke dalam tanah dapat menyebabkan hilang gas nitrogen sebesar 18% dari pemberian nitrogen (N), akan tetapi terdapat literatur lain yang menyatakan bahwa nitrogen yang hilang sebesar 64% bahkan hingga 82,4% (Skorupka & Nosalewicz, 2021).

Urea (*carbamide*) merupakan padatan kristal berwarna putih dengan kandungan nitrogen tinggi yang memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Pada umumnya, urea berbentuk curah dan butiran. Sifat fisik urea antara lain memiliki berat jenis $1,33 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ dan titik lelehnya sekitar $132,7^\circ\text{C}$. Ketika berinteraksi dengan air urea akan terlarut tetapi tidak larut dalam pelarut organik (Ronaldo, 2018).

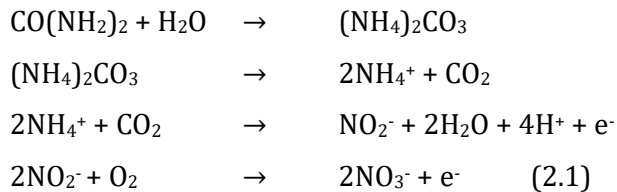


Gambar 2.1 Urea

Pupuk urea merupakan pupuk nitrogen dengan kadar nitrogen sebesar 46% (Lestari et al., 2022). Pada kelembaban 73% urea memiliki sifat higroskopis sehingga mudah menyerap uap air. Nitrogen dalam urea diubah menjadi ammonium (N-NH_4^+) oleh enzim urease melalui proses hidrolisis yang menyebabkan urea dapat diserap oleh tanaman. Tetapi, jika diaplikasikan ke tanah, proses hidrolisis akan berlangsung cepat sehingga amonia dapat menguap dengan mudah (Heenan, 1987). Urea tidak mengalami ionisasi sehingga mudah

mengalami pencucian karena tidak mudah terserap oleh koloid tanah. Urea dapat diserap oleh akar tanaman jika telah mengalami amonifikasi dan nitrifikasi (Wancuh, 2019).

Nitrogen yang terkandung dalam pupuk urea akan dikonversi menjadi amonium karbonat $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)$ melalui proses hidrolisis yang terjadi secara cepat (Aviantri & Maharani, 2017). Pupuk urea akan mengalami hidrolisis menjadi amonium karbonat jika ditambahkan pada tanah yang lembab. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



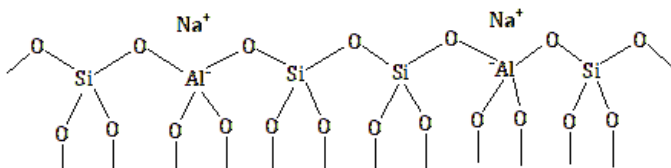
Sifat urea yang *mobile* memungkinkan urea terserap ke dalam akar ketika curah hujan tinggi dan struktur tanah yang lemah. Kemampuan urea berubah menjadi nitrat dapat berpengaruh pada turunnya efisiensi urea (Andriani, 2017).

2. Zeolit

Zeolit adalah alumino silikat berpori yang berbentuk kristal dan terhidrasi logam alkali atau alkali tanah, yang terdiri atas $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ tetrahedral yang membentuk struktur terbuka yang berbeda (Ríos et

al., 2009). Kation-kation yang berada dalam kerangka zeolit dapat menetralkan muatan negatif pada kisi (Hartati et al., 2020). Pada permukaan zeolite terdapat pori dan logam logam alkali yang dapat ditukarkan sehingga zeolit dapat menyerap dan bertukar kation (Setiawati et al., 2015).

Zeolit dapat diaplikasikan pada bidang katalis, pemisahan, dan pertukaran ion karena ukuran pori-porinya yang seragam, luas permukaan yang besar, dan stabilitas termal yang tinggi (Wang, 2010). Zeolit banyak dimanfaatkan sebagai katalis, adsorben, dan penukar ion karena stabilitas termal atau hidrotermalnya dan selektivitas bentuk yang baik, keasaman yang kuat, dan kapasitas pertukaran ion yang tinggi (Widayat et al., 2019).



Gambar 2.2 Struktur Permukaan Zeolit (Gultom, 2015)

Berdasarkan asalnya, zeolit diklasifikasikan menjadi 2 yaitu: (Sugiarti et al., 2017).

a. Zeolit alam

Zeolit alam mengandung kation seperti K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , atau Mg^{2+} . Pada permukaan zeolit jenis ini, terdapat

molekul air dalam pori dan oksida bebas, seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O yang dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi atau sifat katalis dari zeolit (Gultom, 2015). Zeolit ini memiliki kemampuan menukar anion atau kation yang sangat kurang. Hal ini disebabkan terdapatnya logam lain dalam zeolite alam sehingga terjadi kompetisi pertukaran dengan logam yang tidak diharapkan (Setiawati et al., 2015).

b. Zeolit sintetis

Pada zeolit sintetis terdapat kation K^+ atau Na^+ (Gultom, 2015). memiliki kristalinitas baik serta kation dalam situs permukaannya hanya H^+ , Na^+ (Maarif, 2009). Zeolit jenis ini memiliki ukuran yang sama, kemurniaan yang lebih tinggi, dan strukturnya dapat direkayasa sesuai dengan yang diperlukan (Sugiarti et al., 2017).

Zeolit tergolong sebagai *slow release agent* dalam pupuk majemuk nitrogen, fosfor, dan kalium sehingga dapat mengurangi rata-rata pelepasan unsur hara di dalam tanah, air rumah tangga, dan media air determinasi (Jumaeri et al., 2020). Zeolit dimanfaatkan sebagai agen lepas lambat karena memiliki Kapasitas Tukar Kation (KTK) yang tinggi yaitu berkisar 80-200

me/100 g. Tingginya kapasitas tukar kation yang tinggi menyebabkan zeolit memiliki fungsi sebagai adsorben, pengikat, dan penukar kation (Suwardi, 2002).

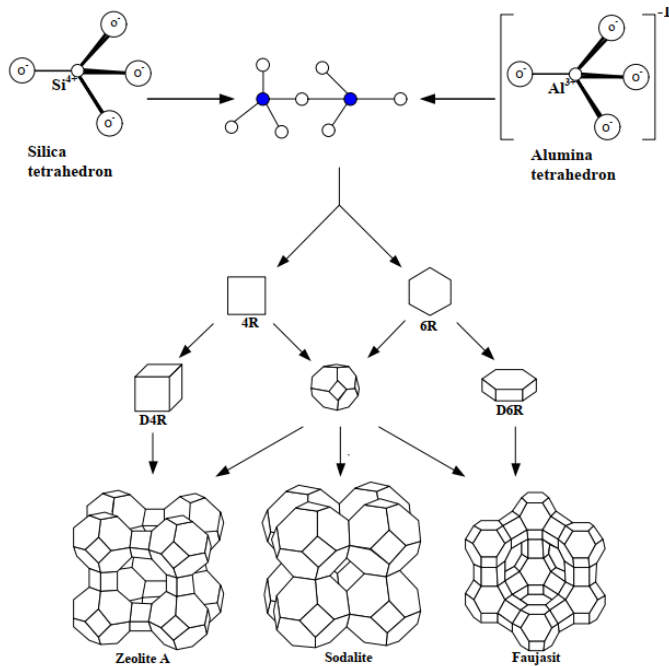
Tingginya kapasitas adsorpsi unsur hara K dan NH_4 pada zeolit akan meningkatkan kemampuan tanah dalam mengikat unsur. Selain itu, zeolit dapat menghambat perubahan NH_4^+ menjadi NH_3 sebesar 30-40%. Kemampuan zeolit dalam mengikat atau menyimpan air dan pupuk serta melepaskan unsur pada tumbuhan ketika dibutuhkan menjadikan zeolit sebagai agen lepas lambat (*slow release agent*) (Suwardi, 2009). Aplikasi zeolit dalam tanah dapat mengurangi laju nitrifikasi karena amonium (NH_4^+) diserap ke dalam kisi mineral zeolit (Sofia et al., 2017).

3. Zeolit A

Zeolit-A atau zeolit *Linde Tipe A* (LTA) memiliki rumus empiris $\text{Na}_{12}[(\text{SiO}_2)_{12}(\text{AlO}_2)_{12}]\cdot 27\text{H}_2\text{O}$. Zeolit ini memiliki struktur pori tiga dimensi yang tersusun saling tegak lurus (Kurniawan, 2017). Zeolit tipe A memiliki bentuk oktahedral yang terdiri dari 12 SiO_4 dan 12 AlO_4 tetrahedral serta sejumlah ion logam (Duan et al., 2007).

Zeolit A memiliki karakteristik utama berupa *double four ring* (D4R) dan ikatan T-O (T mewakili Si atau Al) (Masoudian et al., 2013). Zeolit A tersusun atas

Composite Building Unit (CBU) unit 4.4 atau yang sering disebut *D4R* dalam *Secondary Building Unit (SBU)* (Pérez-Botella et al., 2022).



Gambar 2.3 Unit Struktural dari Zeolit A, *Sodalite*, dan *Faujasite* (Masoudian et al., 2013)

Zeolit A tergolong zeolit sintetis dengan rasio Si/Al sebesar sama dengan satu (Gultom, 2015). Rasio Si/Al yang rendah membuat zeolit-A memiliki karakteristik tertentu, seperti ketidakstabilan dalam lingkungan asam, sifat yang cenderung hidrofobik, dan kemampuan adsorpsi yang optimal. Penyebab dari tingginya

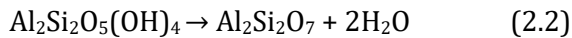
kandungan alumina dan kuatnya permukaan muatan negatif pada zeolit A adalah struktur tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$. Selain itu, rendahnya kandungan silika menyebabkan zeolit A mengandung konsentrasi kation yang tinggi dan bersifat basa (Kurniawan, 2017). Zeolit A memiliki kapasitas pertukaran ion yang besar dibandingkan zeolit alam dan zeolit sintetis lainnya sehingga zeolit tipe ini cocok dimanfaatkan sebagai adsorben dan penukar ion (Ayele et al., 2016).

4. Metakaolin

Metakaolin merupakan konversi dari kaolin yang diaktifkan pada temperatur 500-900°C yang memiliki ukuran 0,5-5 mikron. Perubahan kaolin menjadi metakaolin terjadi karena adanya dehidroksilasi. Dehidroksilasi merupakan reaksi dekomposisi kaolin menjadi struktur yang tidak teratur sebagian (Dharmawan et al., 2017).

Kaolin merupakan material alam yang mengandung kristal senyawa mineral kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan pengotor (kuarsa, kalsit, feldspar, mika, bahan organik, dan sebagainya). Kaolin yang dikalsinasi akan terjadi dehidroksilasi secara langsung yang menggabungkan dehidrasi (hilangnya air secara terus menerus antar lapisan) dan dehidroksilasi

(hilangnya air interstitial secara terputus-putus). Dehidroksilasi kaolin terjadi antara 450-700°C. Hilangnya air struktural secara bertahap dan terkait dengan perubahan ruang antar struktur, terjadi juga perubahan koordinasi aluminium dari 6 menjadi 4 (Deju et al., 2020). Reaksi yang terjadi pada saat dehidroksilasi kaolin menjadi metakaolin seperti pada persamaan 2.2 (Purbasari & Samadhi, 2021).



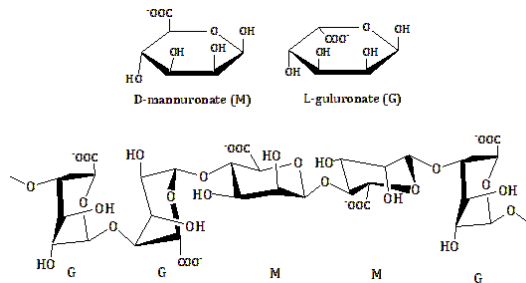
Kaolin memiliki komposisi berupa $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ dan secara teoritis mengandung SiO_2 46,54%; Al_2O_3 39,5%; dan H_2O 13,96%. Kaolinit terdiri dari alumina oktahedral dan silika tetrahedral disusun secara bergantian yang membentuk ikatan antar lapisan (Hartati et al., 2020). Kandungan utama kaolin yang tersusun atas silikon (Si) dan aluminium (Al) memungkinkan material ini dimanfaatkan sebagai *starting material* pembentukan kerangka zeolit (Trivanaa et al., 2015). Kaolin dapat ditingkatkan reaktivitasnya dengan mengubahnya menjadi metakaolin melalui proses termal dan mekanis (Purbasari & Samadhi, 2021).

5. Natrium Alginat

Natrium alginat terdiri dari asam alginat dan garam natrium yang diperoleh dari ganggang coklat *Phaeophyceae* (Nurlaela et al., 2020). Alginat adalah campuran asam polioronat yang tersusun dari residu D-asam manuronat dan residu L-asam gluronat. Alginat memiliki berbagai fungsi, antara lain sebagai bahan pengisi, pengikat, penghancur, serta berperan sebagai pengental, agen pensuspensi, dan pembentuk gel. Kemampuan alginat untuk membentuk gel yang tidak larut dalam air disebabkan oleh adanya ion divalen seperti Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , dan Ba^{2+} (Nurlaela et al., 2020).

Secara kimia, alginat merupakan polimer linear panjang yang terdiri dari dua unit monomerik berupa asam β -D-mannuronat dan asam berupa α -L-gluronat (Yulianto, 2007). Alginat merupakan polisakarida yang termasuk *family* karbohidrat, diperoleh dari turunan alga coklat dan merupakan polimer alami yang larut dalam air. Senyawa kimia alginat tersusun atas senyawa asam berupa α -l gluronat dan β -D mannuronat. Alginat memiliki biokompatibilitas yang rendah, hidrofilik, tidak beracun, toksisitas rendah, dan *biodegradability* (Ubaydillah & Faqihuddin, 2021). Alginat berdasarkan sifat fisika dan kimianya memiliki fungsi sebagai bahan

pensuspensi, pengemulsi, penstabil, pengikat, pengental, pembentuk film, bahan penyalut, bahan pembentuk gel, penghambat sinersi, penghambat kristalisasi, dan bahan enkapsulasi (Haerunnisa, 2008).



Gambar 2.4 Struktur Kimia pada Alginat (T. A. Pamungkas & Ridlo, 2013)

Alginat adalah polimer yang dapat diikat silang ketika kation divalen ditambahkan ke dalam larutan berair. Alginat berpotensi sebagai agen pelapis pupuk urea yang dapat menghambat pelepasan suspensi dalam air, hal ini ditunjang dengan sifatnya yang mudah terdegradasi, aman bagi lingkungan, dan tidak beracun. Akan tetapi, pengaplikasian alginat terbatas karena sifatnya yang sangat mudah terurai dengan penambahan kation monovalen (Suci & Astar, 2022).

6. Pupuk Lepas Lambat

Pupuk lepas lambat adalah metode pelapisan pada pupuk urea yang efektif dalam memperlambat laju pelepasan nitrogen dan kelarutan pupuk dalam air (Suci

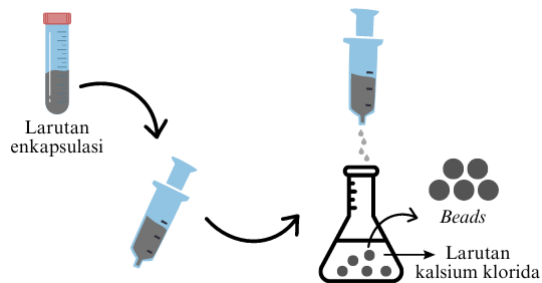
& Astar, 2022). Prinsip pupuk lepas lambat adalah membentuk halangan berupa interaksi molekuler sehingga zat hara dalam butiran pupuk tidak mudah terlepas ke lingkungan (Aviantri & Maharani, 2017). Kelebihan dari pupuk lepas lambat antara lain meningkatkan efisiensinya, mengurangi hilangnya unsur hara dan toksisitas tanah, meminimalkan potensi efek negatif yang berhubungan dengan overdosis penggunaan pupuk, dan mengurangi frekuensi penggunaan sesuai dengan kebutuhan normal (Jarosiewicz & Tomaszewska, 2003).

Pupuk lepas lambat adalah pupuk yang memiliki tingkat efisiensi tinggi dalam mengurangi kehilangan unsur hara dan meningkatkan efisiensi pemanfaatannya dengan cara menyebarkan, melarutkan atau memperlambat pelepasan unsur hara. Pupuk lepas lambat dibedakan menjadi pupuk salut dan pupuk non-salut sesuai dengan mekanisme pelepasan unsur haranya. Prinsip pupuk lepas lambat dan terkontrol menggunakan pelapis untuk membungkus inti pupuk dan membentuk pemisahan fisik antara unsur hara dan tanah. Nutrisi disebarkan melalui bahan pelapis atau dilepaskan setelah lapisan pecah, sehingga mencapai efek pelepasan lambat (Zhao et al., 2023). Pupuk non

salut dapat mencapai efek pelepasan lambat dengan mengurangi kelarutannya dalam air melalui berbagai kombinasi pupuk dengan agen pelepas lambat (Notario del Pino et al., 1995).

7. Teknik Ekstrusi

Teknik enkapsulasi yang menghasilkan produk akhir berupa *beads* adalah ekstrusi. Teknik ini menggunakan larutan enkapsulasi berupa campuran ekstrak antosianin dan penyalut, larutan tersebut ditetaskan ke dalam larutan *crosslinker* yang sesuai dengan penyalut yang digunakan melalui *syringe*. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *crosslinker* yang digunakan untuk alginat adalah CaCl_2 (Oktavi et al., 2020). Ukuran dan bentuk mikrokapsul atau *beads* yang terbentuk tergantung pada diameter nosel dan jarak nosel serta larutan CaCl_2 (Sumardi et al., 2021). Teknik ekstrusi memiliki kelebihan berupa teknik yang relatif sederhana karena mudah dan biayanya murah (Miskiyah et al., 2020). Berikut merupakan salah satu diagram skematis dari metode enkapsulasi ekstrusi: (Sumardi et al., 2021).

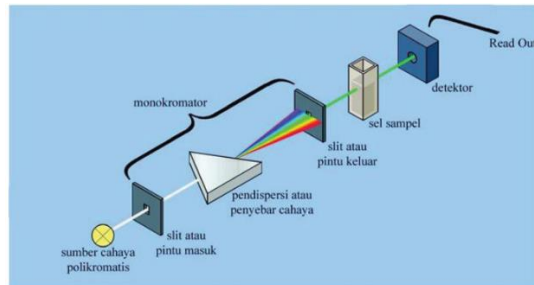


Gambar 2.5 Diagram Skematis dari Metode Ekstrusi

B. Karakterisasi

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer sinar *ultraviolet-visible* (UV-Vis) merupakan instrumen analitik yang memiliki fungsi untuk mengukur serapan cahaya analit pada panjang gelombang tertentu, dimana zat yang berbeda menyerap dan memantulkan panjang gelombang tertentu (Azmi, 2023). Spektroskopi *ultraviolet and visible* adalah teknik yang dimanfaatkan dalam menganalisis larutan senyawa organik dan ion logam kompleks yang outputnya berupa konsentrasi larutan (Al-Samarrai et al., 2018). Pada analisisnya, spektrofotometri UV-Vis menggunakan energi elektronik yang tergolong besar sehingga instrumen ini lebih banyak dimanfaatkan sebagai analisis kuantitatif (Helwandi, 2016).



Gambar 2.6 Skema Alat Spektrofotometer UV-Vis
(Suharti, 2017)

Prinsip kerja spektrofotometer UV-Vis (*ultraviolet-visible*) adalah cahaya dengan panjang gelombang tertentu yang telah mengenai larutan sampel akan diabsorpsi dan ditransmisikan sehingga diperoleh absorbansi dari perbandingan antara intensitas sinar yang diserap dengan intensitas sinar yang datang. Jika sampel tersebut mengandung suatu zat dengan konsentrasi tinggi maka molekul yang akan diserap semakin banyak, sehingga nilai absorbansi semakin meningkat (Gusnedi, 2013). Transisi antara energi elektronik akan berbeda yang disebabkan energi pada *ultra violet* dan sinar tampak. Eksitasi akan terjadi jika panjang gelombang cahaya yang diabsorpsi memiliki energi yang dibutuhkan untuk mengenai molekul (Triyati, 1985). Prinsip dari spektroskopi serapan didasarkan pada hukum Beer-Lambert, yaitu hubungan linear antara serapan suatu larutan dengan konsentrasi

spesies penyerap dalam larutan dan panjang lintasannya (Al-Samarrai et al., 2018).

2. Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

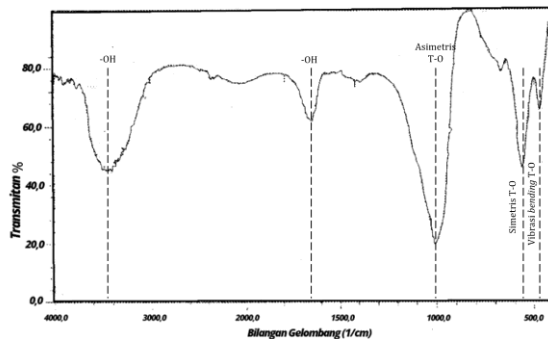
Fourier Transformed Infrared (FTIR) merupakan suatu instrumen yang memiliki kemampuan dalam mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa, dan menganalisis campuran dari sampel tanpa merusak sampel. Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} sampai 10 cm^{-1} (Wulan Sari & Fajri, 2018).

Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah suatu metode analisis untuk mengetahui struktur molekul dari suatu senyawa. Komponen utama instrumen ini adalah inferometer Michelson yang dapat memisahkan radiasi inframerah menjadi komponen frekuensi. Dibandingkan spektroskopi inframerah lainnya, penggunaan FTIR dengan interferometer Michelson lebih disarankan karena resolusi dan akurasi yang tinggi dalam memperoleh informasi struktur molekul (Azmi, 2023).

Prinsip kerja FTIR adalah adanya interaksi antara energi dan materi. Sinar inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut memiliki kemampuan dalam mengontrol seberapa banyak energi yang

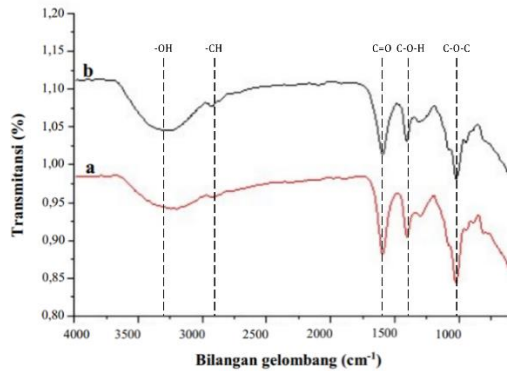
dihantarkan ke sampel. Setelah itu, sampel menyerap sebagian inframerah dan sebagian lagi ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar inframerah dapat mencapai detektor. Komputer kemudian merekam sinyal yang terukur dalam bentuk puncak (Wulan Sari & Fajri, 2018).

Standar spektra IR dari zeolit A seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7:



Gambar 2.7 Spektrum FTIR Zeolit A (Kurniawan, 2017)

Karakteristik spektrum FTIR zeolit-A adalah terdapat pita pada serapan bilangan gelombang 464 cm^{-1} yang memperlihatkan vibrasi *bending* pada ikatan T-O, vibrasi simetri ikatan T-O (T= Si/Al) pada 660 cm^{-1} , dan pada $1000\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ terdapat vibrasi ikatan T-O asimetris, dimana T merupakan bentuk dari Si atau Al (Kurniawan, 2017).

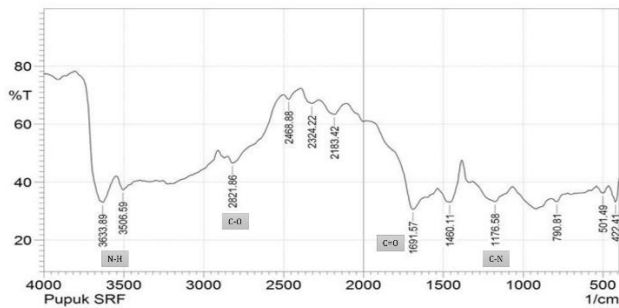


Gambar 2.8 Spektrum FTIR Natrium Alginat (a) ekstrak *Padina sp.* Dan (b) komersial (Herlina et al., 2021)

Menurut Herlina dkk, (2021), spektrum FTIR natrium alginat hasil dari ekstraksi rumput laut *Padina sp.* (Gambar 2.8a), menunjukkan beberapa puncak serapan dari gugus fungsi. Pada bilangan gelombang 3238 cm⁻¹ terdapat vibrasi dari gugus hidroksil (-OH), -CH terlihat pada bilangan gelombang 2908 cm⁻¹, serapan gugus karbonil (C=O) *stretching*, gugus C-O-H, dan ikatan C-O-C pada bilangan gelombang 1602 cm⁻¹, 1407 cm⁻¹, dan 1027 cm⁻¹. Hasil yang diperoleh memiliki kemiripan dengan FTIR natrium alginat komersial (Gambar 2.8b) yang terdapat puncak serapan gugus hidroksil (-OH) pada bilangan gelombang 3280 cm⁻¹, gugus -CH pada bilangan gelombang 2910 cm⁻¹, serta gugus karbonil (C=O), ikatan C-O-C, dan C-O-H masing-masing pada bilangan gelombang 1602 cm⁻¹, 1407 cm⁻¹, dan 1026 cm⁻¹.

¹ menunjukkan bahwa hasil spektrum tersebut sesuai dengan spektroskopi FTIR natrium komersial.

Hasil spektrum FTIR pupuk lepas lambat dikonfirmasi keberhasilannya dengan terdapatnya gugus fungsi penyusun urea seperti N-H, C-N, dan C=O (Pangestu et al., 2023).



Gambar 2.9 Spektra FTIR dari Pupuk Lepas Lambat Berbahan Urea dan Lempung Bentonit (Pangestu et al., 2023)

Pita serapan pada bilangan gelombang antara 3500 cm^{-1} dan 3400 cm^{-1} menunjukkan ikatan bebas yang membentuk pola gugus fungsi N-H simetris dan asimetris dari dengan mode ulur. Gugus fungsi N-H terverifikasi pada bilangan gelombang $3506,59\text{ cm}^{-1}$ berdasarkan spektrum FTIR yang diperoleh. Pada bilangan gelombang $1870\text{-}1540\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus fungsi C=O vibrasi ulur dan pada serapan $1175,8\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi C-N dengan vibrasi

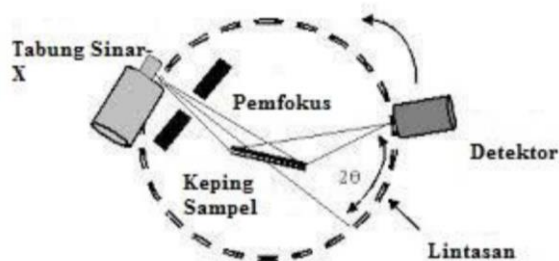
ulur, dimana menurut teori C-N vibrasi ulur terlihat pada bilangan gelombang 1250-1020 cm^{-1} (Pangestu et al., 2023).

3. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-ray diffraction (XRD) adalah teknik yang digunakan untuk mengetahui simetri kristal, kualitas kristal (kristal tunggal, polikristalin, dan amorf), sistem kristal (kubus tetragonal, ortorombik, rhombohedral, heksagonal, monoklin, dan triklin), dan parameter kristal (parameter kisi, jarak antar atom, jumlah atom per unit sel). Teknik ini juga digunakan dalam mengidentifikasi campuran dan analisis kimia. Pada saat sinar-X monokromatik mengenai kristal, sinar-X tersebut berhamburan ke segala arah. Namun, susunan atom kristal yang teratur menyebabkan gelombang yang berhamburan menunjukkan interferensi konstruktif hanya dalam arah tertentu dan interferensi destruktif dalam arah lain. Ketika atom-atom kristal menghamburkan berkas-berkas sejajar maka harus memiliki perbedaan jarak lintasan yang tepat $n\lambda$ agar atom-atom tersebut dapat berinterferensi secara konstruktif (Masruroh et al., 2013).

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan teknik analisis kualitatif yang digunakan untuk mengidentifikasi jenis

material yang terbentuk dan tingkat kristalinitasnya. Tingkat kristalinitas yang tinggi tercermin dari difraktogram dengan pola puncak yang tajam dan terpisah secara jelas. Terlihat puncak-puncak pada sudut yang sama mengindikasikan bahwa sampel memiliki struktur kristal yang serupa atau identik (Kurniawan, 2017).



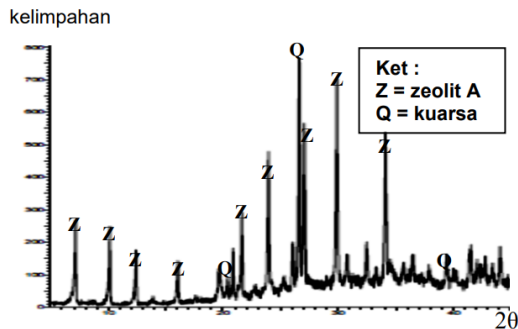
Gambar 2.10 Prinsip Kerja XRD (Kurniawan, 2017)

Prinsip kerja XRD adalah interaksi atom pada sampel ketika sinar-X dilewatkan melalui sampel yang menghasilkan hamburan cahaya. Ketika elektron yang berkecepatan tinggi bertumbukan dengan benda logam maka sinar-X akan dilepaskan. Perbedaan fasa menyebabkan beberapa sinar-X yang tersebar saling menghilangkan dan beberapa sinar difraksi dengan fase yang sama juga saling menguatkan. Suatu zat yang memiliki keteraturan seperti kristal akan menghasilkan difraktogram ketika menghamburkan sinar-X, hal ini

dikarenakan memiliki kesamaan panjang gelombang dengan sinar-X (Kurniawan, 2017).

Difraktogram merupakan suatu pola garis atau puncak dengan intensitas dan posisi tertentu yang mencerminkan karakteristik khas dari suatu material. Karena setiap fase kristalin memiliki pola difraksi yang khas, maka metode ini dapat digunakan sebagai alat identifikasi. Penyesuaian letak puncak pada sudut 2θ dan nilai *d-spacing* hasil analisis dengan data referensi dari JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standard*) akan diperoleh informasi mengenai orientasi bidang kristal yang terbentuk. Jika seluruh arah bidang kristal teridentifikasi, maka dapat disimpulkan bahwa struktur kristal yang terbentuk telah sesuai (Masrurroh et al., 2013).

Salah satu difraktogram XRD dari zeolit A seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Difraktogram Zeolit A Sintetis dari Kaolin Capkala (Yani et al., 2013)

Hasil sintesis zeolit A menghasilkan difraktogram yang sesuai dengan difraktogram standar zeolit A yaitu berdasarkan nilai sudut 2θ dari ASTM no.39-222. Puncak tajam terlihat pada $2\theta = 7,17^\circ$; $10,15^\circ$; $12,45^\circ$; $16,09^\circ$; $21,64^\circ$; $23,96^\circ$; $26,00^\circ$; $27,08^\circ$; $29,91^\circ$; dan $34,15^\circ$ yang menunjukkan fase kristal zeolit. Namun, terdapat juga puncak yang kuat dari kuarsa pada $2\theta = 26,65^\circ$. Berdasarkan data tersebut, produk yang dihasilkan belum sepenuhnya zeolit A murni (Yani et al., 2013).

C. Kajian Penelitian yang Relevan

Pada penelitian Yani *et al.*, (2013) tentang sintesis zeolit A menggunakan berbagai variasi sumber silika dan alumina salah satunya kaolin Capkala. Hasil dari sintesis tersebut menunjukkan bahwa kaolin Capkala dapat

dimanfaatkan sebagai sumber silika dan alumina pada sintesis zeolit A dengan menggunakan metode hidrotermal. Kaolin Capkala dikonversi menjadi metakaolin dan keberhasilan dari konversi tersebut ditandai dengan data XRD yang mengindikasikan pada $2\theta = 15^\circ - 38^\circ$. Kristalinitas zeolit A yang dihasilkan dari penelitian menunjukkan kesesuaian dengan standar yang ada yaitu ASTM (*American Standard Testing and Material*) nomor 39-222.

Pada penelitian Haditya, Jumaeri dan Sulistyaningsih (2019) terkait modifikasi zeolit A yang bersumber dari kaolin dengan hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) sebagai *Slow Release Urea Fertilizer* menunjukkan hasil karakterisasi zeolit yang dihasilkan sesuai dengan karakterisasi zeolit A. Pencampuran zeolit A hasil sintesis dengan pupuk urea dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, hal ini berdasarkan data bahwa ketersediaan nitrogen dalam tanah yang ditambahkan *Slow Release Urea Fertilizer* (SRUF) mengalami peningkatan pada hari ke-9 setelah pupuk diaplikasikan ke tanaman jagung.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Suratman *et al.* (2020), model Korsmeyer-Peppas menunjukkan bahwa *beads* zeolit alam/alginat yang disintesis dengan metode *freeze-drying* memperlihatkan pelepasan NPK yang lebih baik dibandingkan *beads* alginat/NPK. Hal ini ditunjukkan

oleh nilai R^2 *beads* A/Z/NPK yang mendekati satu, yaitu 0,973, sedangkan *beads* A/NPK memiliki nilai R^2 sebesar 0,943.

Penelitian yang dilakukan oleh Suci dan Astar (2022) menunjukkan bahwa pemanfaatan zeolit, alginat, dan pati sagu sebagai material penyalut berpotensi memperlambat pelepasan unsur hara dari pupuk urea. Hal ini didasarkan pada hasil sintesis pupuk lepas lambat menggunakan metode *syringe* yang menunjukkan bahwa pupuk urea terlapis biokomposit zeolit-alginat-pati sagu dengan konsentrasi urea sebesar 20% memiliki kemampuan menahan pelepasan nitrogen. Hal ini ditunjukkan oleh pola pelepasan nitrogen yang sangat lambat, yaitu hanya 0,08% dari 24 jam pertama ke-48 dan 0,02% dari 48 hingga 72 jam.

Pada penelitian Astar dan Suci (2022) menunjukkan bahwa urea yang telah dienkapsulasi oleh agen lepas lambat berupa lumpur PDAM dan alginat dengan komposisi urea 30% merupakan persentase terbaik sebagai pupuk lepas lambat dengan pelepasan urea sebesar 4% selama 72 jam.

Pada penelitian Lestari, Yuningsih dan Muharam (2022) mengenai sintesis hidrogel superabsorben menggunakan natrium alginat dan bentonit sebagai pelapis pupuk lepas lambat dan penggunaan CaCl_2 sebagai *crosslink agent* menunjukkan hasil bahwa hidrogel superabsorben

yang terbentuk dapat dijadikan sebagai *agent coating* pupuk lepas lambat yang ditandai dengan persentase *swelling* sebesar 2.894,3%.

Pemanfaatan kaolin sebagai bahan awal dalam sintesis zeolit A memberikan peluang untuk pengembangan aplikasinya dalam pupuk lepas lambat. Selain itu, penggunaan zeolit sintesis khususnya zeolit A masih belum banyak dimanfaatkan dalam bidang pupuk lepas lambat. Kebaruan dari penelitian ini dibandingkan dengan beberapa kajian terdahulu terletak pada penggunaan zeolit A yang disintesis dari kaolin sebagai *slow release agent* dalam pupuk lepas lambat nitrogen yang dipadukan dengan alginat melalui metode ekstrusi.

D. Hipotesis

Zeolit A memiliki gugus silanol dan siloksan yang akan berinteraksi dengan urea sehingga dapat menjadi agen pengikat sementara yang berpotensi sebagai pengontrol lepas lambat dengan penambahan alginat sebagai kombinasi. Alginat memiliki kemampuan membentuk gel dan membentuk matriks sehingga diharapkan dapat mengontrol laju pelepasan nitrogen dengan lebih baik.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di bulan Oktober 2024 sampai Juni 2025. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang sebagai tempat preparasi, sintesis, dan pengujian lepas lambat. Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang dan Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Semarang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu serangkaian alat gelas laboratorium, ayakan 80 *mesh*, timbangan, *furnace*, oven, kertas saring, mortar dan pestle, *syringe* atau jarum suntik, satu set alat refluks, dan *magnetic stirrer* DLAB. Instrumen yang digunakan adalah spektrofotometer *Ultraviolet Visible* (UV-Vis) Orion Aquamate 8000, spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Alpha II Bruker di UIN Walisongo Semarang, dan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Panalytical Type X'Pert 3 Powder di Universitas Negeri Semarang.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain urea komersial ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dari toko planet kimia Depok, natrium alginat p.a (Merck), kaolin komersial dari toko Indrasari Semarang, natrium hidroksida 10% (NaOH , p.a, Merck), kalsium klorida dihidrat 6% ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, p.a, Merck), serbuk p-DAB (*para-dimetilamino benzaldehyd*, p.a, Merck), asam klorida 0,1M (HCl , p.a, Merck), etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, p.a, Merck), dan akuades.

C. Prosedur Kerja

1. Preparasi Metakaolin

Kaolin sebanyak 100 g diayak menggunakan ayakan 80 *mesh*. Hasil ayakan tersebut dilakukan kalsinasi dalam *furnace* selama 1 jam pada temperatur 700°C (Haditya et al., 2019). Kaolin dan metakaolin yang diperoleh dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

2. Sintesis Zeolit A

Metakaolin hasil preparasi diambil sebanyak 30 g dicampur dengan larutan NaOH 10%, perbandingan

metakaolin : NaOH yaitu 1 g : 5 mL. Pada temperatur 70°C, campuran tersebut direfluks selama 5 jam dalam labu alas bulat. Padatan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan akuades, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 120°C selama 5 jam (Haditya et al., 2019). Selanjutnya, dilakukan karakterisasi dengan instrumen XRD dan FTIR.

3. Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Zeolit A-Urea (Kode Sampel UA)

Alginat sebanyak 0,75 g dan 0,6 g urea komersial dilarutkan dalam 50 mL akuades, kemudian diaduk pada suhu kamar menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Campuran diekstrusi menggunakan *syringe* 10 mL ke dalam larutan CaCl_2 6% sambil diaduk perlahan. Setelah *beads* terbentuk dilakukan perendaman dalam larutan CaCl_2 selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ikatan silang yang terjadi (Sangjan & Thongsamer, 2021). *Beads* tersebut disaring dan dibilas dengan akuades, lalu dilanjutkan dengan proses pengeringan pada temperatur 40°C selama 24 jam (Suci & Astar, 2022).

4. Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Urea-Zeolit A-Alginat (Kode Sampel UZA)

Sebanyak 2,25 g zeolit A dan 0,6 g urea komersial dicampurkan ke dalam 25 mL akuades dan diaduk hingga homogen. Suspensi tersebut dilarutkan dalam larutan alginat yang terbuat dari pencampuran 0,75 g alginat dalam 25 mL akuades. Campuran diaduk selama 2 jam pada suhu kamar menggunakan *magnetic stirrer*. Campuran tersebut diekstrusi menggunakan *syringe* 10 mL ke dalam larutan CaCl_2 6% sambil diaduk perlahan. Setelah *beads* terbentuk dilakukan perendaman dalam larutan CaCl_2 selama 24 jam untuk memaksimalkan proses ikatan silang yang terjadi (Sangjan & Thongsamer, 2021). *Beads* tersebut disaring dan dibilas dengan akuades, lalu dilanjutkan dengan proses pengeringan pada temperatur 40°C selama 24 jam (Suci & Astar, 2022). Urea komersial (PU), *beads* dengan kode sampel UA dan UZA dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR, XRD, pengujian kadar urea terloading, dan pengujian lepas lambat *beads*.

Tabel 3.1 Perbandingan Urea Komersial, Zeolit A, dan Alginat (Suci & Astar, 2022; Suratman et al., 2020)

Kode Sampel	Urea Komersial (g)	Natrium Alginat (g)	Zeolit A (g)
Urea Komersial (PU)	0,6	-	-
UA	0,6	0,75	-
UZA	0,6	0,75	2,25

5. Uji Pelepasan Urea pada *Beads* Urea-Zeolit A-Alginat

a. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Pembuatan larutan pengompleks p-DAB dengan cara, sebanyak 1 gram p-DAB dilarutkan ke dalam 10 mL HCl 0,1M dan 50 mL etanol, kemudian larutan diaduk sampai homogen. Pembuatan larutan induk urea 500 mg/L dilakukan dengan cara 0,0553 g urea dilarutkan dalam 100 mL akuades sehingga akan diperoleh larutan induk urea 500 mg/L. Sebanyak 4 mL larutan induk urea 500 mg/L dan 6 mL larutan pengompleks dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL. Akuades sebanyak 4 mL dicampurkan dengan 6 mL larutan pengompleks dalam labu ukur untuk memperoleh larutan blanko. Masing-masing larutan tersebut didiamkan selama 1 jam agar reaksi pengompleksan berlangsung sempurna. Larutan yang telah didiamkan kemudian diukur absorbansi

maksimumnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-500 nm interval 1 nm dan ditentukan λ maksimumnya (Azizati, 2021).

b. Pembuatan Kurva Standar Urea

Larutan induk urea 500 mg/L diencerkan untuk memperoleh larutan baku urea 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 mg/L. Masing-masing konsentrasi diambil 4 mL dan ditambahkan dengan reagen p-DAB sebanyak 6 mL sehingga konsentrasi larutan urea menjadi 80, 100, 120, 140, 160, dan 200 mg/L. Larutan-larutan tersebut diaduk hingga homogen dan didiamkan selama 1 jam. Absorbansi larutan dibaca dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum (Azizati, 2021).

c. Penentuan Kadar Urea *Terloading* dalam Sampel

Sejumlah 0,25 g PU, sampel *beads* UA, dan *beads* UZA dihaluskan lalu masing-masing dimasukkan ke dalam 50 mL akuades dan didiamkan selama 24 jam hingga pupuk lepas lambat larut. Sebanyak 4 mL dari setiap larutan tersebut diambil dan ditambahkan 6 mL larutan pengompleks pDAB untuk analisis konsentrasi urea yang terkandung dengan menentukan nilai absorbansi yang ditunjukkan oleh

spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum (Xia et al., 2020).

d. Uji Pelepasan Urea dalam Sampel

Sebanyak 0,25 g PU, sampel *beads* UA dan *beads* UZA masing-masing dicampurkan ke dalam 50 mL akuades dalam labu erlenmeyer. Pada jarak 5, 10, 15, 20, 30, 60, dan 90 menit, PU, sampel *beads* UA, dan *beads* UZA diambil 4 mL dan dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer. Larutan tersebut kemudian ditambahkan dengan 6 mL larutan pengompleks pDAB untuk analisis konsentrasi urea yang terkandung pada pupuk lepas lambat yang dihasilkan dengan menghitung nilai absorbansi yang terlihat pada spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum (Xia et al., 2020).

BAB IV

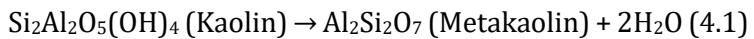
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik Zeolit A dan pupuk lepas lambat yang dihasilkan, serta mengetahui profil pelepasan urea. Komposisi sampel pada sintesis ini terdiri dari dua jenis, yaitu 0,75 g alginat tanpa penambahan zeolit A (kode sampel UA) dan campuran 0,75 g alginat : 2,25 g zeolit A (kode sampel UZA), sedangkan sebagai pembandingnya adalah urea komersial (PU). Setiap sampel dikarakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), uji kadar urea *terloading* dalam *beads*, dan uji lepas lambat menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan reagen p-DAB sebagai larutan pengompleks.

A. Preparasi Metakaolin

Material yang digunakan pada proses preparasi metakaolin adalah kaolin komersial. Proses metakaolinisasi dilakukan dengan tujuan untuk mengubah kaolin menjadi metakaolin melalui kalsinasi. Preparasi dilakukan dengan mengkalsinasi 100 g kaolin yang telah diayak dalam temperatur 700°C selama 1 jam. Penggunaan suhu 700°C pada saat proses metakaolinisasi, didasarkan pada penelitian Elimbi, Tchakoute dan Njopwouo (2011) yang menyatakan bahwa proses kalsinasi dengan suhu 700°C

merupakan suhu optimum yang ditandai dengan hilangnya puncak kaolin sebagai indikator terbentuknya metakaolin amorf. Pada saat proses kalsinasi, air dari mineral kaolin akan menghilang (dehidroksilasi), struktur kaolin menjadi rusak, dan menghasilkan fase aluminosilikat amorf (metakaolin) (Hartati et al., 2020). Fase amorf memiliki reaktivitas yang lebih tinggi sehingga dapat memudahkan reaksi metakaolin dengan NaOH pada proses sintesis zeolit A (Yani et al., 2013). Reaksi dehidroksilasi yang terjadi selama proses metakaolinisasi terdapat pada persamaan 4.1.

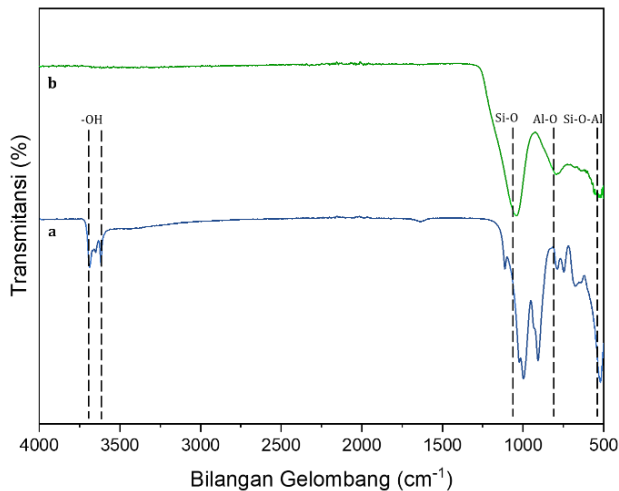


Berdasarkan persamaan 4.1, selama proses kalsinasi struktur kaolin terurai dan dua molekul H_2O akan menghilang. Proses metakaolinisasi menghasilkan metakaolin yang memiliki warna semu merah muda sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.1. Kaolin yang awalnya berwarna putih mengalami perubahan warna menjadi merah muda setelah proses kalsinasi. Perubahan warna yang terjadi disebabkan oleh kerusakan struktur kaolin akibat hilangnya gugus hidroksil (Cheng et al., 2012; Hartati et al., 2018).



Gambar 4.1 Hasil Kalsinasi Kaolin Menjadi Metakaolin

Metakolin hasil preparasi dilakukan karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Gugus fungsi yang terdapat pada metakaolin dilakukan identifikasi menggunakan FTIR sehingga akan diketahui ikatan yang terjadi dari sampel. Keberhasilan proses metakaolinisasi dapat dilihat dari hasil FTIR seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektrum FTIR (a) Kaolin dan (b) Metakaolin

Perbandingan rentang bilangan gelombang hasil FTIR kaolin dan metakaolin dengan referensi disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Interpretasi Hasil Uji FTIR Metakaolin

No.	Gugus	Bilangan Gelombang		
		Referensi (An Nisa et al., 2023)	Kaolin	Hasil preparasi metakaolin
1.	Vibrasi ulur O-H	3400 cm ⁻¹	3690,07 cm ⁻¹ dan 3619,95 cm ⁻¹	-
2.	Vibrasi Si-O	1058 cm ⁻¹	1114,27 cm ⁻¹	1041, 80 cm ⁻¹
3.	Vibrasi ulur Al(VI)-OH	911 cm ⁻¹	909,18 cm ⁻¹	-
4.	Vibrasi ulur Al(IV)-O	793 cm ⁻¹	-	795, 23 cm ⁻¹
5.	Vibrasi ulur Si-O-Al (~ 500 cm ⁻¹)	544 cm ⁻¹	522,84 cm ⁻¹	520,96 cm ⁻¹ ; dan 507,05 cm ⁻¹

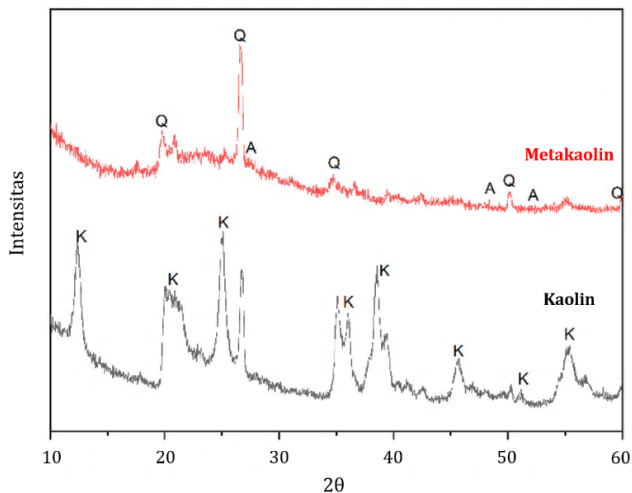
Gambar 4.2 memberikan informasi bahwa kaolin memiliki serapan pada bilangan gelombang 3690,07 cm⁻¹ dan 3619,95 cm⁻¹, yang merupakan vibrasi ulur gugus O-H dari struktur kaolin. Serapan serupa juga terlihat pada penelitian Merabtene et al., (2019) yaitu pada bilangan gelombang 3550 cm⁻¹ dan 3700 cm⁻¹ yang menjelaskan keberadaan air dalam struktur kaolin. Pada spektra metakaolin terlihat tidak ditemukannya serapan gugus O-H. Hal ini disebabkan oleh proses dehidroksilasi, kemudian

membentuk metakaolin dan amorfisasi struktural kaolin awal (Deju et al., 2020; Merabtene et al., 2019).

Vibrasi gugus Si-O pada kaolin dan metakaolin ditandai oleh serapan pada bilangan gelombang $1114,27\text{ cm}^{-1}$ dan $1041,80\text{ cm}^{-1}$. Pergeseran serapan yang terlihat mengindikasikan terbentuknya metakaolin. Hal ini juga dilaporkan dalam penelitian Kwakye et al., (2022), pergeseran signifikan pita-pita vibrasi Si-O pada 1084 cm^{-1} dan 1023 cm^{-1} dalam kaolin ke pita frekuensi yang lebih rendah pada 1000 cm^{-1} dalam metakaolin yang dikaitkan dengan SiO_2 amorf. Indikasi lain dari keberhasilan preparasi ditunjukkan dengan adanya serapan $795,23\text{ cm}^{-1}$ pada spektra metakaolin sebagai vibrasi ulur Al(IV)-O. Serapan tersebut merupakan pengganti serapan kaolin pada 911 cm^{-1} sebagai vibrasi ulur Al(VI)-OH. Puncak serapan metakaolin pada daerah $520,96\text{ cm}^{-1}$ dan $507,05\text{ cm}^{-1}$ menandakan terdapatnya vibrasi ulur Si-O-Al, sedangkan pada kaolin terlihat pada $522,84\text{ cm}^{-1}$. Spektrum FTIR hasil preparasi metakaolin menunjukkan kemiripan dengan penelitian An Nisa et al., (2023) terkait pemanfaatan kaolin capkala dalam metakaolinisasi sebagai material sintesis geopolimer. Hasil interpretasi FTIR memberikan informasi bahwa kaolin telah terkonversi menjadi metakaolin yang ditunjukkan dengan

hilangnya gugus O-H dan memiliki gugus siloksan (Si-O), ikatan Al(IV)-O, dan ikatan Si-O-Al.

Indikasi yang diperoleh dari interpretasi spektra inframerah dapat diperkuat dengan data XRD untuk mengetahui komposisi mineral, jenis mineral, dan kristalinitas mineral dari kaolin maupun metakaolin dengan melihat intensitas pada sudut 2θ . Hasil analisis XRD terhadap kaolin dan metakaolin dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil XRD Metakaolin dan Kaolin (K : Kaolin, Q : Kuarsa, A : Anatase)

Berdasarkan karakterisasi difraktogram sinar-X seperti yang terlihat pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa sampel kaolin merupakan *kaolinite-1 Md* ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$) dengan jenis mineral berupa monoklinik yang didasarkan

pada kartu *Join Committee Powder Diffraction Standard* (JCPDS) kode PDF 00-029-1488. Puncak tertinggi dari kaolin terdapat pada sudut difraksi $12,46^\circ$ dengan *basal spacing* $7,1\text{\AA}$ (d_{001}) dan 25° (d_{002}) dengan *basal spacing* $3,56\text{\AA}$. Puncak lain dari kaolin terlihat pada $2\theta = 20,11^\circ$ (d_{110}); $36,96^\circ$; $38,66^\circ$ (d_{118}); $51,07^\circ$ (d_{004}); dan $55,11^\circ$ (d_{204}). Rentang puncak XRD yang diperoleh memiliki kemiripan dengan penelitian Yani et al. (2013) yang menunjukkan difraktogram pada sudut $2\theta = 20,91^\circ$; $25,33^\circ$; $26,68^\circ$; dan $36,59^\circ$.

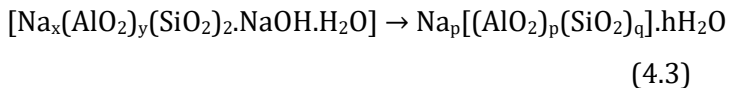
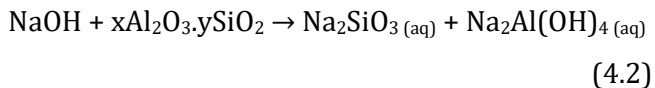
Perbedaan pola difraktogram XRD antara kaolin dan metakaolin merupakan indikasi keberhasilan dari proses metakaolinisasi. Pada pola difraktogram XRD metakaolin tidak terlihat puncak kaolin pada $2\theta = 12,46^\circ$, $20,11^\circ$, 25° , $36,96^\circ$; $38,662^\circ$, $51,07^\circ$, dan $55,11^\circ$. Ketidakhadiran pola difraksi dari kaolin menunjukkan bahwa terjadi perubahan fasa kaolin menjadi metakaolin aluminasilika amorf setelah proses kalsinasi. Akan tetapi, pada metakaolin terdapat fasa kuarsa sebagai *impurities* yang umum ditemukan pada metakaolin (Ayele et al., 2016). Berdasarkan interpretasi XRD, maka dapat dikatakan bahwa kaolin yang digunakan merupakan *kaolinite-1 Md* ($\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$) jenis mineral monoklinik, serta kaolin hasil kalsinasi telah terkonversi menjadi metakaolin.

B. Sintesis Zeolit A

Zeolit A dalam penelitian ini disintesis menggunakan metakaolin hasil preparasi sebagai sumber utama silika dan alumina. Natrium hidroksida (NaOH) digunakan sebagai pelarut serta agen pengaktif yang berfungsi mengaktivasi komponen Si dan Al dalam metakaolin menjadi bentuk mineral yang mudah larut, seperti natrium silikat dan alumina silikat amorf. Kedua senyawa tersebut berperan dalam proses pembentukan struktur zeolit (Manurung et al., 2011; Trivanaa et al., 2015). Metode yang digunakan adalah refluks yang memiliki prinsip pemanasan tanpa adanya senyawa yang hilang (Anawati & Suseno, 2012) serta bertujuan untuk memperoleh kristalinitas yang tinggi dengan cara menghilangkan sejumlah oksida pengotor seperti Fe_2O_3 , CaO , MgO , dan K_2O (Wardani et al., 2022).

Sintesis zeolit A diawali dengan merefluks 30 g metakaolin hasil preparasi menggunakan 150 mL larutan NaOH 10% selama 5 jam pada suhu 70°C . Proses refluks dilakukan pada suhu tersebut karena merupakan suhu optimum untuk memperoleh zeolit A tanpa mengalami perubahan struktur. Pada saat refluks terjadi kristalisasi dari sistem larutan dengan adanya penataan ulang dari struktur kristal amorf yang membentuk embrio inti kristal. Kondisi tersebut merupakan tahap pertumbuhan kristal

karena embrio inti kristal dan larutan lewat jenuh dalam keadaan setimbang. Nukleasi (pembentukan kristal) dan pertumbuhan kristal terjadi bersamaan dengan proses penataan ulang struktur. Struktur kerangka aluminosilikat mulai terbentuk selama pemanasan dan berkembang menjadi struktur zeolit tiga dimensi (Anawati & Suseno, 2012). Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 4.2 dan 4.3 : (Manurung et al., 2011)



Berdasarkan persamaan 4.2, reaksi tersebut menggambarkan metakaolin dilarutkan dalam larutan basa berupa NaOH. Pada saat refluks basa, ion silikat (SiO_2) dan ion aluminate (AlO_2) yang berasal dari struktur amorf metakolin terlepas ke dalam larutan. Kedua ion tersebut bertindak sebagai prekursor dalam pembentukan kerangka zeolit. Ion-ion yang terlarut akan berinteraksi membentuk kerangka kristalin zeolit A dengan sendirinya dalam pemanasan dan kondisi basa yang digambarkan pada reaksi persamaan 4.3.

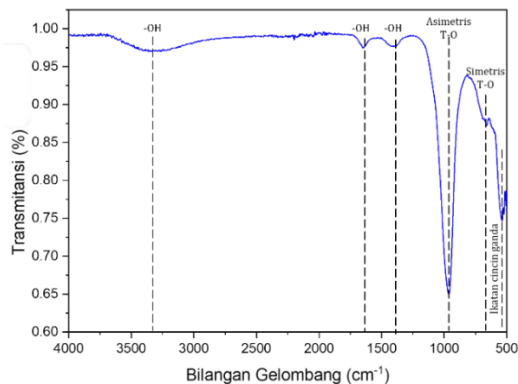
Hasil refluks antara metakaolin dengan NaOH akan membentuk padatan berupa zeolit A, yang kemudian

disaring untuk diambil padatannya. Zeolit A yang terbentuk dibilas akuades guna menghilangkan pengotor yang mungkin ada selama proses sintesis berlangsung. Tahap akhir dalam sintesis adalah pengeringan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 5 jam, yang bertujuan untuk menguapkan air yang terdapat dalam pori-pori zeolit A. Padatan zeolit A yang diperoleh memiliki warna merah muda seperti yang terlihat pada gambar 4.4. Hal ini disebabkan karena material utama yang digunakan dalam sintesis adalah metakaolin yang memiliki warna semu merah muda.



Gambar 4.4 Zeolit A Hasil Sintesis

Zeolit A yang diperoleh dilakukan karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan tujuan untuk menentukan ikatan antar atom dan mengetahui gugus fungsi (Ginting & Nurfiqih, 2018). Spektrum FTIR zeolit A ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Spektrum FTIR Zeolit A

Perbandingan rentang bilangan gelombang hasil FTIR zeolit A dengan referensi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Interpretasi hasil uji FTIR zeolit A

No.	Gugus	Bilangan Gelombang		
		Rentang	Referensi (Haditya et al., 2019)	Hasil sintesis zeolit A
1.	Vibrasi rentang O-H	3650-3200 cm^{-1} (a)	3443 cm^{-1}	3360,67 cm^{-1} 1644,87 cm^{-1}
2.	Vibrasi ulur O-H	4000-1250 cm^{-1} (b)	-	1406,27 cm^{-1}
3.	Regangan asimetris T-O	950-1250 cm^{-1} (c)	1003 cm^{-1}	963,53 cm^{-1}
4.	Regangan simetris T-O	650-750 cm^{-1} (c)	715 cm^{-1}	661,32 cm^{-1} 536,42 cm^{-1}
5.	Vibrasi ikatan cincin ganda	500-650 cm^{-1} (c)	558 cm^{-1}	532,12 cm^{-1} ; dan

507,47
cm⁻¹

Keterangan :

(a) (Adu et al., 2022)

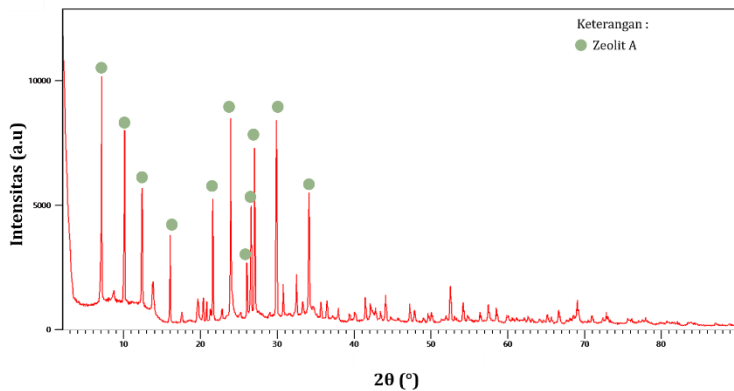
(b) (Wardani et al., 2022)

(c) (Ginting, 2020)

Pada spektrum FTIR zeolit A yang ditunjukkan pada gambar 4.5 terlihat bahwa serapan terdapat pada bilangan gelombang 3360,67 cm⁻¹; 1644,87 cm⁻¹; 1406,27 cm⁻¹; 963,53 cm⁻¹; 661,32 cm⁻¹; 536,42 cm⁻¹; 532, 12 cm⁻¹; dan 507,47 cm⁻¹. Bilangan gelombang 3360,67 cm⁻¹ merupakan vibrasi rentang O-H yang menunjukkan terdapatnya gugus O-H dari silanol atau air yang teradsorpsi, sedangkan bilangan gelombang 1644,87 cm⁻¹ dan 1406,27 cm⁻¹ mengindikasikan terdapatnya uap air yang teradsorpsi dan termasuk vibrasi ulur O-H. Pita serapan pada bilangan gelombang 963,53 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi regangan asimetris T-O (T = Si/Al), sedangkan vibrasi regangan simetris T-O terlihat pada 661,32 cm⁻¹. Serapan 536,42 cm⁻¹; 532, 12 cm⁻¹; dan 507,47 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi cincin ganda. Cincin ganda merupakan karakteristik khas yang mengindikasikan *cages* telah terbentuk sebagai *secondary building unit* dari zeolit A. Zeolit A terbentuk ditandai dengan terdapatnya pita serapan pada bilangan gelombang 500-600 cm⁻¹ yang menandakan vibrasi eksternal dari cincin ganda D4R (*Double Four Ring*) (Ginting, 2020).

Bilangan gelombang yang didapatkan dari spektrum FTIR hasil sintesis zeolit A menunjukkan kemiripan dengan penelitian Haditya et al., (2019) seperti yang terlihat dalam tabel 4.2.

Zeolit A yang dihasilkan juga dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil analisis XRD zeolit A ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Spektrum XRD Zeolit A

Berdasarkan pola difraktogram yang terlihat pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa zeolit A hasil sintesis memiliki nilai sudut 2θ sebesar $7,12^\circ$; $10,10^\circ$; $12,39^\circ$; $16,04^\circ$; $21,6^\circ$; $23,92^\circ$; $26,04^\circ$; $27,04^\circ$; $29,87^\circ$; dan $34,10^\circ$. Nilai sudut 2θ dari zeolit A hasil sintesis dibandingkan dengan JCPDS 39-0222 yang mengacu pada artikel penelitian Khasanah et al. (2025) dan beberapa literatur. Perbandingan antara masing-masing dapat dilihat pada

tabel 4.3. Berdasarkan tabel 4.3, nilai 2θ yang diperoleh memiliki kemiripan, hal ini menunjukkan bahwa zeolit A telah berhasil terbentuk.

Tabel 4.3 Perbandingan Difraktogram Zeolit A

2θ (°)			
JCPDS 39-0222 (a)	Referensi (b)	Referensi (c)	Hasil sintesis
7,17	7,13	7,15	7,12
10,15	10,10	10,13	10,10
12,45	12,39	12,42	12,39
16,09	16,05	16,06	16,04
21,64	21,60	21,61	21,06
23,96	23,91	23,92	23,92
26,00	26,05	26,05	26,04
27,08	27,03	27,05	27,04
29,91	29,86	29,87	29,87
34,15	34,08	34,09	34,10
Keterangan :			
(a) (Khasanah et al., 2025)			
(b) (Setiawati et al., 2015)			
(c) (Yani et al., 2013)			

Selain dilihat dari nilai 2θ , keberhasilan sintesis zeolit A dapat dilihat dari *basal spacing*. Perbandingan *basal spacing* antara hasil sintesis dengan JCPDS 39-0222 dan penelitian terdahulu disajikan pada tabel 4.4. *Basal spacing* antara hasil sintesis, JCPDS 39.0222, dan penelitian menurut Setiawati et al., (2015) menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda.

Tabel 4.4 Perbandingan *Basal Spacing* Zeolit A

d (Å)		
JCPDS 39-0222 (Khasanah et al., 2025)	Referensi (Setiawati et al., 2015)	Hasil Sintesis
12,31	12,39	12,40
8,70	8,74	8,74
7,11	7,13	7,13
5,50	5,51	5,52
4,10	4,51	4,11
3,71	3,71	3,71
3,41	3,41	3,41
3,29	3,29	3,29
2,98	2,98	2,98
2,62	2,62	2,62

Berdasarkan interpretasi FTIR menunjukkan bahwa zeolit A hasil sintesis memiliki vibrasi regangan dan ulur O-H, regangan simetris dan asimetris T-O, serta vibrasi ikatan cincin ganda. Hasil XRD yang diperoleh memperkuat bahwa zeolit A standar teridentifikasi pada zeolit A hasil sintesis dengan ditandai terdapat puncak-puncak yang tajam serta nilai 2θ dan *basal spacing* yang hampir mirip dengan JCPDS 39-0222. Kedua data tersebut mengindikasikan bahwa produk hasil sintesis sepenuhnya murni zeolit A.

C. Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbahan Urea-Zeolit A-Alginat

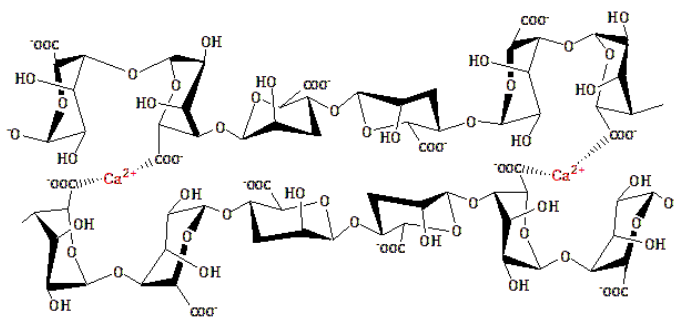
Sintesis pupuk lepas lambat nitrogen berbahan urea-zeolit A-alginat dalam bentuk *beads* dibuat dengan cara membuat dua sampel yaitu 0,75 g alginat (kode sampel UA)

dan 0,75 g alginat : 2,25 g zeolit A (kode sampel UZA). Metode yang digunakan dalam sintesis pupuk lepas lambat adalah teknik ekstrusi karena tekniknya yang mudah dan sederhana. Teknik ekstrusi dilakukan dengan meneteskan larutan campuran berupa urea-alginat (UA) dan urea-zeolit A-alginat ke dalam larutan pengeras (CaCl_2) menggunakan *syringe* atau jarum suntik.

Pembuatan pupuk lepas lambat kode sampel UZA diawali dengan mencampurkan 2,25 g zeolit A dan 0,6 g urea ke dalam 25 mL akuades. Penggunaan zeolit A dalam sintesis pupuk lepas lambat dikarenakan kemampuannya dalam mengikat urea sementara sehingga dapat mengontrol pelepasan, sedangkan urea komersial dijadikan sebagai sumber nitrogen. Campuran zeolit A dan urea diaduk hingga homogen. Suspensi tersebut dilarutkan dalam larutan alginat yang terbuat dari pencampuran 0,75 natrium alginat dalam 25 mL akuades. Penggunaan alginat dalam sintesis pupuk lepas lambat adalah sebagai material yang dapat menguatkan struktur matriks.

Campuran urea, zeolit A, dan alginat dihomogenkan dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu kamar. Campuran tersebut diekstrusi menggunakan *syringe* 10 mL ke dalam larutan CaCl_2 6% sambil diaduk perlahan. Penggunaan larutan kalsium

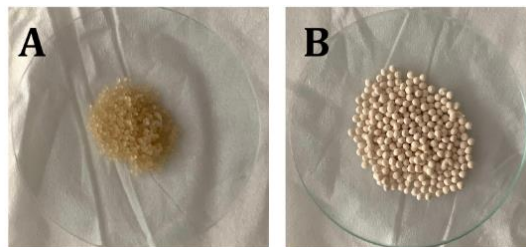
klorida (CaCl_2) pada sintesis *beads* berfungsi sebagai *crosslinker* agar struktur polimer yang terbentuk lebih kaku sehingga dapat mengontrol pelepasan molekul yang semakin lama (Annisa et al., 2021; Wathoniyyah, 2016). Konsentrasi CaCl_2 yang digunakan adalah 6% dikarenakan semakin besar konsentrasi CaCl_2 yang digunakan maka semakin kuat juga matriks *beads* yang terbentuk sehingga pelepasan unsur hara akan semakin lambat. Ketika natrium alginat direaksikan dengan CaCl_2 akan membentuk hidrogel dengan model *egg box*, hal ini dikarenakan ion Na^+ dari natrium alginat akan bertukar dengan Ca^{2+} dari larutan kalsium klorida.



Gambar 4.7 Reaksi Antara Alginat dan CaCl_2 (Lestari et al., 2022)

Larutan campuran sampel UZA yang telah diekstrusi ke dalam larutan CaCl_2 akan membentuk bulatan atau yang dikenal dengan sebutan *beads*. *Beads* yang telah terbentuk kemudian direndam selama 24 jam untuk mengoptimalkan

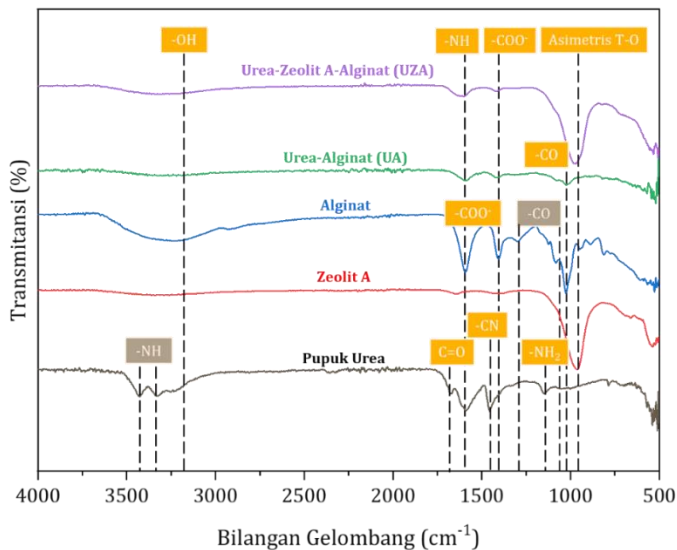
pembentukan ikatan silang. Setelah itu, *beads* dibilas dengan akuades guna menghilangkan sisa kalsium klorida yang ada di permukaan *beads*. Tahap akhir dalam sintesis adalah pengeringan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 24 jam untuk mengeringkan *beads* yang telah terbentuk. Prosedur sintesis serupa juga dilakukan untuk pupuk lepas lambat dengan kode sampel UA, menggunakan 0,25 g alginat dan 0,6 g urea.



Gambar 4.8 *Beads* Pupuk Lepas Lambat Nitrogen (A) Urea-Alginat (UA) dan (B) Urea-Zeolit A-Alginat (UZA)

Hasil sintesis pupuk lepas lambat nitrogen menunjukkan perbedaan warna seperti yang ditampilkan pada gambar 4.8. Berdasarkan gambar, *beads* UA terlihat berwarna kuning sedangkan *beads* UZA menunjukkan warna semu merah muda. Perbedaan warna tersebut dipengaruhi oleh komposisi material penyusun pupuk lepas lambat. Warna semu merah muda pada *beads* UZA berasal dari zeolit A.

Beads pupuk lepas lambat yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dengan tujuan untuk mengetahui gugus fungsi pada *beads* dan interaksi kimia yang mungkin terjadi antar komponen penyusun. Selain *beads* UA dan *beads* UZA, material penyusun pupuk lepas lambat seperti pupuk urea, natrium alginat, dan zeolit A juga dilakukan karakterisasi FTIR yang bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan spektrum material dengan *beads* UA dan UZA. Spektrum FTIR material penyusun dan *beads* pupuk lepas lambat disajikan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Spektrum FTIR Urea Komersial, Zeolit A, Alginat, Urea-Alginat (UA), dan Urea-Zeolit A-Alginat (UZA)

-
- (b) (Timon et al., 2021)
 - (c) (Adu et al., 2022)
 - (d) (Wardani et al., 2022)
 - (e) (Fuzlin & Samsudin, 2021)
 - (f) (Ginting, 2020)
-

Spektrum FTIR yang disajikan pada gambar 4.9 menunjukkan puncak-puncak karakteristik dari urea komersial, natrium alginat, zeolit A, serta *beads* pupuk lepas lambat berbahan urea+alginat (UA) dan *beads* urea+zeolit A+alginat (UZA). Pada spektrum urea, terlihat serapan khas dari gugus fungsi N-H *stretching* ($3425,8\text{ cm}^{-1}$ dan $3326,65\text{ cm}^{-1}$) dan N-H *bending* ($1591,3\text{ cm}^{-1}$), C=O (amida I) pada $1673,44\text{ cm}^{-1}$, C-N *stretching* pada $1456,27\text{ cm}^{-1}$, dan NH_2 *bending* pada bilangan gelombang $1147,64\text{ cm}^{-1}$. Serapan pupuk urea komersial memiliki kemiripan dengan serapan urea pro analis yang telah dikarakterisasi dalam penelitian Azizati (2021).

Sementara itu, natrium alginat menunjukkan beberapa serapan khas seperti pada bilangan gelombang $3223,86\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak karakteristik dari gugus O-H *stretching*. Gugus karboksilat (COO^-) natrium alginat ditandai dengan serapan asimetris dan simetris yang terdapat pada bilangan gelombang $1592,57\text{ cm}^{-1}$ dan $1406,12\text{ cm}^{-1}$. Selain kedua gugus tersebut, spektrum juga menunjukkan serapan pada bilangan gelombang $1289,95$

cm^{-1} ; $1123,94 \text{ cm}^{-1}$; $1081,8 \text{ cm}^{-1}$; dan $1025,75 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak karakteristik dari C-O kelompok eter. Keseluruhan puncak yang ditunjukkan spektrum telah sesuai dengan karakteristik natrium alginat komersial yang telah dilaporkan oleh Herlina *et al.* (2021).

Pada spektrum *beads* UA dan *beads* UZA menunjukkan pola serapan yang serupa yaitu dengan kehadiran gugus O-H, COO-, C-O, dan C-N pada kedua spektrum. Namun, perbedaan yang sangat jelas diantara kedua *beads* adalah pada *beads* UA tidak terdeteksi serapan pada rentang bilangan gelombang $950\text{-}1250 \text{ cm}^{-1}$ dan $500\text{-}650 \text{ cm}^{-1}$. Rentang bilangan gelombang tersebut berkaitan dengan regangan asimetris T-O dan vibrasi ikatan cincin ganda yang mengindikasikan keberadaan zeolit A dalam *beads*. Ketidakhadiran serapan direntang tersebut menunjukkan bahwa *beads* UA tidak ada penambahan zeolit A dalam formulasi.

Pada spektrum *beads* UA dan UZA terdapat serapan pada kisaran bilangan gelombang $3200\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$ yaitu $3220,67 \text{ cm}^{-1}$ dan $3303,03 \text{ cm}^{-1}$, kedua serapan merupakan serapan gugus hidroksil (O-H) yang berasal dari natrium alginat. Terdeteksinya gugus O-H dalam komposisi menunjukkan adanya interaksi ikatan hidrogen (Azizati, 2021; Rahmawati et al., 2018). Pita serapan gugus O-H pada

beads UZA terlihat bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi dibandingkan *beads* UA, hal ini menunjukkan bahwa penambahan zeolit A dapat melemahkan ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen antara gugus O-H yang telah terbentuk dalam *beads* UA dapat digantikan dengan interaksi lain yang dihasilkan oleh gugus silanol (Si-OH) dan situs polar lainnya yang terdapat pada permukaan zeolit A, sehingga menyebabkan terjadinya pergeseran ke bilangan gelombang yang lebih tinggi dan vibrasi O-H menjadi lebih bebas (Dalena et al., 2024; Schroeder et al., 2020).

Selain gugus O-H, keberadaan natrium alginat dalam *beads* UA dan *beads* UZA teridentifikasi melalui serapan pada bilangan gelombang $1418,74\text{ cm}^{-1}$ dan $1417,05\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan karakteristik dari COO^- simetris. Pada *beads* UA juga terdeteksi serapan pada bilangan gelombang $1023,08\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya ikatan C-O dari gugus eter. Akan tetapi, serapan C-O tidak tampak pada spektrum *beads* UZA. Hal ini dapat disebabkan oleh rendahnya jumlah natrium alginat yang ditambahkan. Selain itu, ketidakhadiran serapan C-O juga disebabkan oleh tumpang tindih antara ikatan C-O dari alginat dan regangan asimetris T-O dari zeolit A. Regangan T-O dari zeolit memiliki intensitas serapan yang kuat sehingga dapat

menutupi serapan C-O dan menyebabkan pita serapan C-O tidak terlihat jelas (Kragović et al., 2018). Perubahan dalam spektrum alginat pada *beads* UA dan UZA menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara alginat dan urea adalah ikatan hidrogen.

Penambahan urea dalam *beads* terkonfirmasi oleh spektrum FTIR yang terlihat pada rentang bilangan gelombang 1550-1640 cm^{-1} yang mengindikasikan terdapatnya vibrasi N-H *bending* (Sastrohamidjojo, 2013), yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 1591,91 cm^{-1} untuk *beads* UA dan 1601,06 cm^{-1} untuk *beads* UZA. Bilangan gelombang dari vibrasi N-H *bending* menunjukkan pergeseran ke arah lebih tinggi pada *beads* UZA, hal ini disebabkan adanya penambahan zeolit A sehingga terbentuk interaksi baru antara gugus N-H dengan gugus polar pada permukaan zeolit A yang menyebabkan vibrasi N-H menjadi kuat.

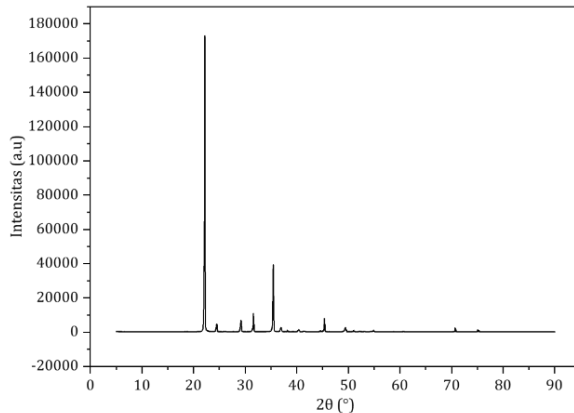
Keberadaan zeolit A pada *beads* UZA ditandai dengan munculnya vibrasi cincin ganda pada rentang bilangan gelombang 500-600 cm^{-1} (Ginting, 2020; Ginting & Nurfiqih, 2018). Pada spektrum *beads* UZA, vibrasi ikatan cincin ganda terlihat pada bilangan gelombang 555,30 cm^{-1} . Selain itu, keberadaan zeolit A juga ditunjukkan oleh adanya regangan asimetris T-O yang ditandai dengan kehadiran

puncak pada bilangan gelombang $974,3\text{ cm}^{-1}$. Pada *beads* UZA terdapat serapan yang menghilang yaitu pada rentang $650\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan daerah vibrasi simetris T-O, hal ini mengindikasikan adanya interaksi ikatan hidrogen antara zeolit dan alginat pada permukaan gugus Si-O. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sunardi, et al., (2021) yang menunjukkan bahwa hilangnya serapan pada 694 cm^{-1} (vibrasi Si-O dari kaolin) sebagai indikasi terbentuknya interaksi antara kaolin dan alginat melalui ikatan hidrogen.

Pada *beads* UA dan *beads* UZA menunjukkan hasil interpretasi yang tidak jauh berbeda yang diperlihatkan dengan pergeseran bilangan gelombang yang tidak signifikan. Keberhasilan sintesis pupuk lepas lambat *beads* UA dan *beads* UZA ditandai dengan kemunculan serapan material penyusun yaitu pupuk urea yang memiliki gugus fungsi C-N, natrium alginat yang ditandai terdapatnya gugus karboksilat (COO^-), gugus hidroksil (O-H), dan C-O kelompok eter, sedangkan pada *beads* UZA juga terdapat serapan yang mengindikasikan terdapatnya zeolit A dengan ditandai adanya ikatan T-O asimetris dan ikatan cincin ganda.

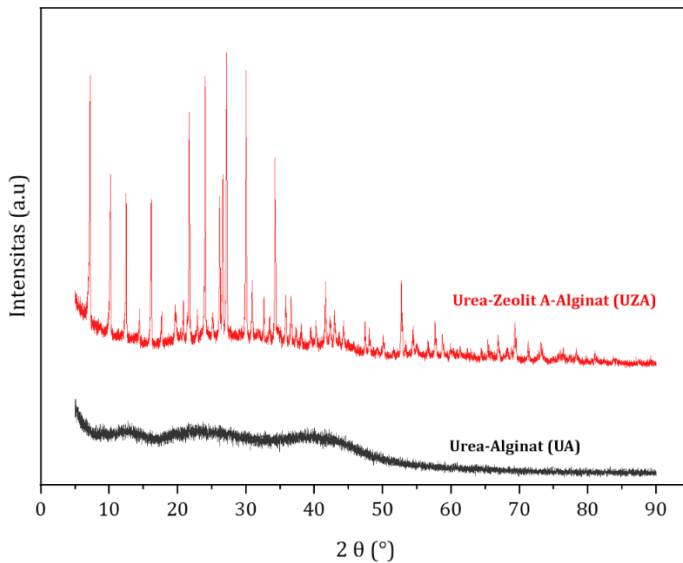
Indikasi keberhasilan sintesis pupuk lepas lambat nitrogen juga dapat diperkuat dengan data XRD. Seperti halnya karakterisasi FTIR, karakterisasi XRD tidak hanya

dilakukan pada *beads* UA dan UZA, tetapi juga material penyusunnya yaitu pupuk urea dan zeolit A (ditampilkan pada gambar 4.6). Difraktogram hasil analisis XRD pupuk urea disajikan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Difraktogram Urea Komersial

Difraktogram sinar-X pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa pupuk urea memiliki fase kristalin, yang ditandai dengan intensitas puncak-puncak difraksi yang tajam. Puncak-puncak yang muncul sesuai dengan kartu *Joint Committee Powder Diffraction standard* (JCPDS) kode PDF 01-072-0118. Puncak tertinggi pupuk urea terdapat pada sudut difraksi $22,186^\circ$ (d_{110}) dan $35,421^\circ$ (d_{210}). Puncak lain dari pupuk urea juga terlihat pada $2\theta = 24,547^\circ$ (d_{101}); $29,209^\circ$ (d_{111}); dan $31,578^\circ$ (d_{200}).



Gambar 4.11 Difraktogram *Beads* UA dan *Beads* UZA

Berdasarkan gambar 4.11, terdapat perbedaan yang sangat jelas antara difraktogram *beads* UA dan UZA. *Beads* UA menunjukkan fasa amorf yang ditandai oleh munculnya puncak-puncak melebar dengan intensitas rendah pada sudut 2θ 12,93°; 24,57°; dan 40,67°, sedangkan *beads* UZA menunjukkan fasa kristalin yang didominasi oleh puncak karakteristik dari zeolit A. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan komponen zeolit A dalam jumlah besar dalam komposisi pupuk. Pada *beads* UZA puncak kristalinitas zeolit A muncul pada 2θ 7,2°; 10,2°; 12,51°; 16,17°; 21,73°; 27,2°; 30,04°; dan 34,3°, dengan intensitas tertingginya terdapat pada 27,2°.

Pada kedua difraktogram, puncak khas urea tidak terdeteksi secara tajam. Temuan ini tidak sejalan dengan penelitian Fan *et al.*, (2019) yang menyatakan bahwa puncak khas urea akan terdeteksi pada sudut difraksi $22,12^\circ$ sebagai indikasi terbentuknya ikatan hidrogen antara alginat dan urea. Ketidaksesuaian hasil dengan penelitian terdahulu diduga disebabkan oleh urea yang telah terdistribusi secara amorf di dalam matriks polimer alginat sehingga urea tidak lagi dalam bentuk kristal bebas. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Sangjan dan Thongsamer (2021) yang menemukan bahwa alginat memiliki pola difraksi amorf sedangkan talkum bersifat kristalin. Namun, ketika talkum dicampur dengan alginat, pola difraksi komposit talkum-alginat menjadi amorf, hal ini mengindikasikan bahwa kristal talk tertutup oleh natrium alginat.

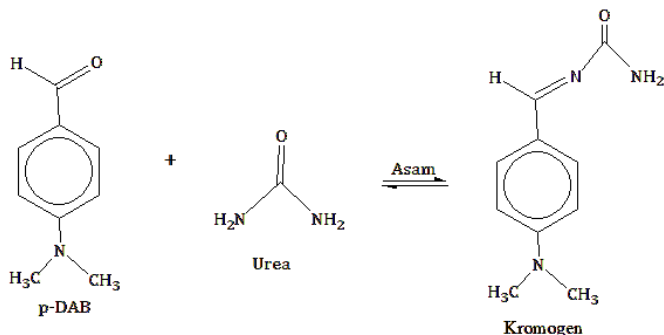
Selain itu, tidak terdeteksinya puncak urea juga disebabkan oleh komposisi urea yang lebih rendah dibandingkan material penyusun lainnya. Temuan ini diperkuat oleh data FTIR yang menunjukkan pergeseran dan perubahan intensitas pada pita serapan dari gugus fungsi urea, seperti N-H dan C=O.

Berdasarkan data XRD, dapat disimpulkan bahwa urea telah terdistribusi secara merata di dalam komposit

yang ditunjukkan dengan tidak terdeteksinya puncak khas urea. Selain itu, dominasi puncak zeolit A pada *beads* UZA semakin menegaskan keberadaan zeolit dalam jumlah signifikan.

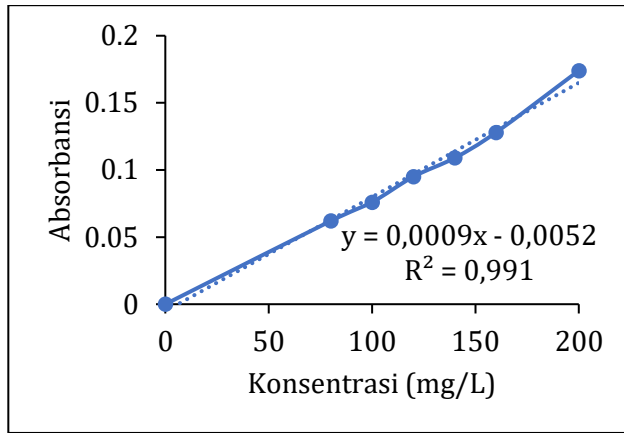
D. Analisis Kadar Urea *Terloading* dalam Sampel

Penentuan kadar urea dalam pupuk lepas lambat nitrogen diawali dengan pengukuran panjang gelombang maksimum urea menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Akan tetapi, karena urea tidak memiliki gugus kromofor sehingga ketika pengujian perlu adanya penambahan larutan pengompleks p-DAB atau dikenal dengan reagen ehrlich untuk menghasilkan senyawa kromogen (Giraldo & Rivas, 2017) berwarna lemon kelly (*yellow-green color*) yang dapat terserap di daerah *visible* yaitu 400-500 nm. Warna yang dihasilkan terjadi karena adanya reaksi antara ehrlich dengan amina pada urea (Hasibuan et al., 2023). Menurut Giraldo dan Rivas (2017), reaksi yang terjadi antara reagen ehrlich diawali dengan protonasi gugus dimetilamino yang menyebabkan kekurangan muatan pada karbon karbonil sehingga rentan terhadap serangan nukleofilik. Reaksi yang terjadi antara urea dan reagen ehrlich seperti pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Reaksi p-DAB dengan Urea

Kadar urea dalam *beads* urea-alginat (UA) dan *beads* urea-zeolit A-alginat (UZA) dapat diketahui jumlahnya dengan mencari persamaan regresi linear dari kurva standar menggunakan larutan standar urea dengan variasi konsentrasi 80, 100, 120, 140, 160, dan 200 mg/L yang telah ditambahkan reagen ehrlich. Kurva standar digunakan sebagai acuan dalam menentukan konsentrasi dari sampel tertentu. Absorbansi dari setiap variasi konsentrasi diukur pada panjang gelombang maksimum 420 nm, kurva standar disajikan dalam kurva pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kurva Standar Pupuk Urea

Kurva standar yang diperoleh memiliki nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,991 dengan persamaan garis $y = 0,0009x - 0,0052$. Nilai koefisien korelasi yang diperoleh telah memenuhi persyaratan yaitu $0,9 < r < 1$ (Selpiana et al., 2016) sehingga dapat dijadikan acuan dalam menentukan konsentrasi nitrogen dari sampel *beads* yang dihasilkan.

Beads yang telah terbentuk dilakukan uji kadar urea dengan cara melarutkan 0,25 g masing-masing variasi ke dalam 50 mL akuades dan dihomogenkan. Larutan *beads* dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum yang telah diperoleh yaitu 420 nm. Sebelum analisis dilakukan, larutan ditambahkan dengan 6 mL reagen p-DAB. Kadar urea *terloading* pada *beads* UA dan UZA dapat diketahui dengan memasukkan

nilai absorbansi yang diperoleh ke dalam persamaan regresi linear. Jumlah urea *terloading* disajikan pada tabel 4.6.

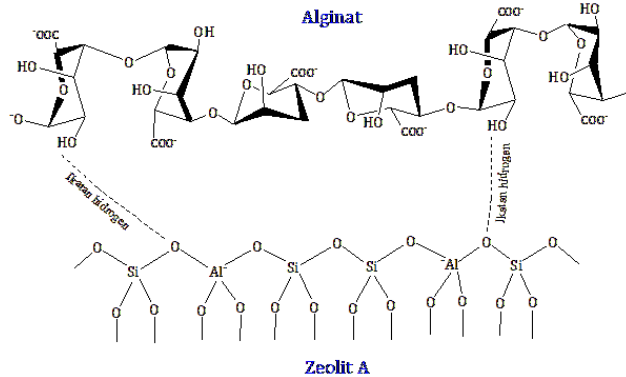
Tabel 4.6 Jumlah urea *terloading* pada *beads*

No.	Kode Sampel	Kadar Urea (mg)	Kadar Urea (%)
1.	UA	31,28	12,51
2.	UZA	33,63	13,45

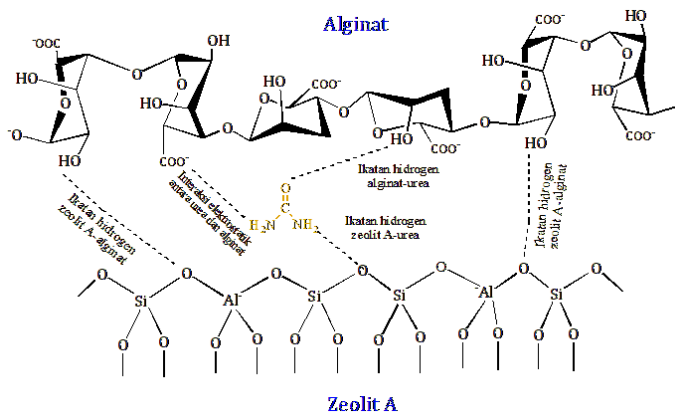
Berdasarkan tabel 4.6, kadar urea *terloading* pada *beads* UA relatif rendah. Hal ini dapat dikaitkan dengan perbedaan komposisi, yaitu tidak adanya penambahan zeolit A pada *beads* UA. Sebaliknya, penambahan zeolit A pada *beads* UZA akan mempengaruhi peningkatan kadar urea yang *terloading*. Hal ini ditunjukkan oleh persentase kadar urea yang lebih tinggi, yaitu 33,63 mg (13,45%) dibandingkan *beads* UA yang hanya 31,28 (12,51%).

Peningkatan jumlah urea yang *terloading* dalam *beads* UZA dipengaruhi oleh kemampuan zeolit A dalam mengikat urea. Menurut Byler et al., (1991), molekul urea dapat berinteraksi melalui ikatan hidrogen antara gugus amino molekul urea dengan oksida aluminosilikat pada zeolit. Selain itu, zeolit A dan alginat dapat berinteraksi melalui ikatan hidrogen dari gugus hidroksil sebagai sisi aktif alginat dengan aluminol dan silanol dari zeolit (Athailah et al., 2018; Suratman et al., 2020). Ilustrasi ikatan hidrogen

antara zeolit A dan alginat dapat dilihat pada gambar 4.14 sedangkan interaksi yang terjadi antara urea dengan zeolit dan alginat dengan zeolit ditunjukkan pada gambar 4.15.



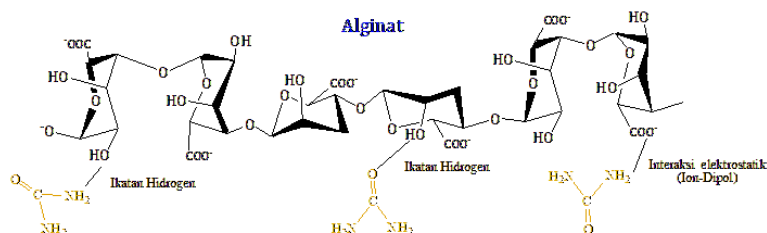
Gambar 4.14 Ikatan Hidrogen Zeolit A-Alginat (Athaillah et al., 2018; Suratman et al., 2020)



Gambar 4.15 Interaksi Antara Zeolit A-Alginat-Urea

Selain interaksi antara urea-zeolit dan alginat-zeolit, pada dasarnya alginat dan urea juga membentuk interaksi

berupa ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik (ion-dipol). Hal ini dijelaskan secara tersirat pada pergeseran spektrum alginat pada setiap *beads*. Ikatan hidrogen antara alginat dan urea terjadi ketika gugus hidroksil (-OH) dari alginat berinteraksi dengan gugus amina (-NH₂) dari urea, sedangkan interaksi elektrostatik terjadi melalui tarikan gugus karboksilat (COO⁻) dengan gugus amina (-NH₂) dari urea. Ilustrasi ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik antara urea dan alginat dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Ikatan antara Urea dan Alginat

Beads UZA memiliki kandungan urea yang lebih tinggi dibandingkan *beads* UA, hal ini karena komposisi zeolit A menyebabkan interaksi penjerapan urea ke dalam kisi-kisi zeolit semakin tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya kandungan zeolit A maka urea yang terloading dalam *beads* akan tinggi sehingga sampel yang dapat mengikat urea lebih banyak terdapat pada kode sampel *beads* UZA.

E. Uji Pelepasan Urea dalam Sampel

Penentuan kemampuan alginat dan zeolit A sebagai matriks dalam mengontrol pelepasan urea secara bertahap dapat diketahui dengan pengujian lepas lambat. Mekanisme pelepasan pupuk lepas lambat dari material alginat terbagi menjadi tiga tahap: pertama, air akan berdifusi ke dalam *beads*; kedua, polimer alginat mengalami oksidasi sehingga rantai molekulnya terputus; dan ketiga, ion amonium dilepaskan ke medium (Sangjan & Thongsamer, 2021).

Uji lepas lambat terhadap urea komersial juga dilakukan untuk membandingkan tingkat pelepasan urea antara *beads* urea-alginat (UA) dan urea-zeolit A-alginat (UZA) dengan urea komersial (PU). Media yang digunakan dalam pengujian lepas lambat *beads* adalah air. Hal ini dikarenakan air merupakan salah satu faktor utama penyebab hilangnya kadar urea pada pupuk konvensional melalui proses *leaching*.

Pengujian dilakukan dengan merendam 0,25 g PU, *beads* UA, dan *beads* UZA ke dalam 50 mL akuades. Penggunaan takaran massa tersebut bertujuan agar nilai absorbansi yang diperoleh tetap berada dalam rentang kurva standar. Sampel air rendaman diaduk terlebih dahulu, kemudian diambil sebanyak 4 mL pada menit ke-5, 10, 15, 20, 30, 60, dan 90 untuk setiap sampel *beads* menggunakan

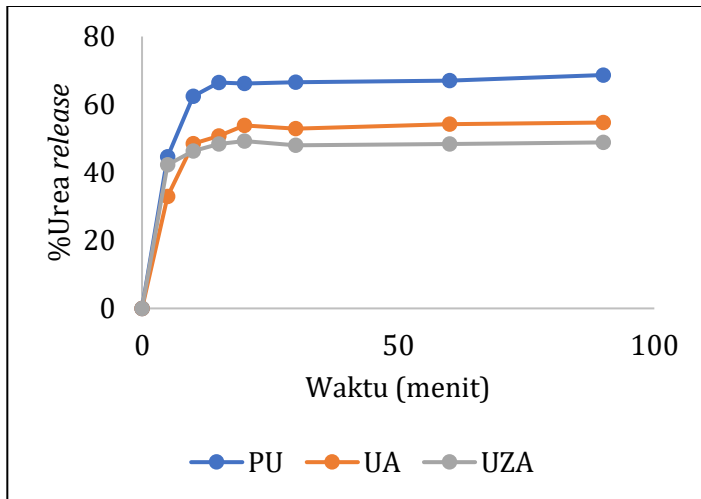
pipet volume. Tujuan dari pengadukan adalah agar kadar urea yang terlepas dapat tercampur merata dalam media, sehingga dapat meminimalkan perbedaan absorbansi yang signifikan. Rentang waktu pengambilan sampel yang digunakan hanya sampai menit ke-90, karena pada menit awal merupakan waktu penentu yang sangat krusial untuk mengetahui pola lepas lambat dari suatu sampel. Kadar urea yang terlepas dianalisis menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis (*UV-Visible*) pada panjang gelombang 420 nm setelah penambahan 6 mL reagen pDAB. Nilai kadar urea dapat diketahui dengan memasukkan nilai absorbansi setiap sampel ke dalam persamaan regresi linear yang telah diperoleh dari kurva standar.

Tabel 4.7 %Urea Release PU, UA, dan UZA

Waktu (menit)	%Urea release		
	PU	UA	UZA
0	0	0	0
5	44,58	32,92	42,22
10	62,4	48,49	46,32
15	66,46	50,7	48,4
20	66,2	53,81	49,24
30	66,53	52,94	47,96
60	67,02	54,25	48,4
90	68,67	54,69	48,8

Tabel 4.7 menunjukkan persentase pelepasan urea (%urea release) dari urea komersial (PU), *beads* urea-

alginat dan *beads* urea-zeolit A-alginat (UZA), sedangkan profil *release beads* dan urea komersial disajikan pada gambar 4.16.



Gambar 4.17 Profil Lepas Lambat Urea Komersial, *Beads* UA, dan *Beads* UZA

Berdasarkan gambar 4.17, urea komersial memiliki kelarutan yang lebih cepat dibandingkan *beads* UA maupun UZA yang ditandai dengan nilai persentase *release* yang tinggi. Pada menit ke-5, urea telah melepaskan sebesar 44,58%. Seiring dengan bertambah waktu perendaman, kadar urea yang terlepas akan meningkat dan mencapai kondisi stabil mulai di menit ke-20, yang mengindikasikan bahwa urea telah larut seutuhnya. Pelepasan urea komersial

yang cepat dipengaruhi oleh tidak terdapatnya agen lepas lambat yang dapat mengontrol kadar urea yang terlepas .

Tren profil pelepasan kadar urea pada gambar 4.17 menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman maka kadar urea yang terlepas semakin besar. Akan tetapi, pada waktu tertentu, urea yang terlepas mengalami penurunan dan akan meningkat kembali. Fenomena ini ditunjukkan pada sampel *beads* UA dan UZA di menit ke-30, hal tersebut dikarenakan kondisi urea yang terkandung di dalam *beads*, pelepasan akan teratur jika tercampur rata tetapi jika tidak sempurna maka akan mengalami pelepasan yang tidak konstan (Ramadhani et al., 2016). Selain itu, teknik pengambilan sampel juga akan berpengaruh pada nilai persentase urea *release* yang diperoleh.

Beads UA maupun UZA menunjukkan tren pelepasan urea yang tidak jauh berbeda. Namun, *beads* UZA menunjukkan pelepasan yang lebih landai dengan nilai persentase urea *release* yang lebih kecil dibandingkan UA. Pada 5 menit pertama, *beads* UA terlihat memiliki pelepasan yang lebih kecil dibandingkan *beads* UZA, yaitu sebesar 32,92%, sedangkan *beads* UZA menunjukkan pelepasan yang hampir mendekati urea komersial yaitu sekitar 44,22%. Akan tetapi, pada menit-menit berikutnya, pelepasan urea dari *beads* UZA cenderung lebih stabil. Hal

ini terlihat dari perbedaan persentase *release* antara menit ke-5 dan menit ke-10, pelepasan urea pada beads UZA hanya berbeda 4,1% sedangkan beads UA 15,57%. Selanjutnya, antara menit ke-60 menuju menit ke-90, perbedaan *release* urea pada UZA semakin kecil yaitu 0,4%, sedangkan beads UA yaitu 0,44%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *beads* UZA memiliki profil pelepasan urea yang lebih terkontrol dibandingkan *beads* UA. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa penggunaan zeolit dapat memperlambat laju pelepasan urea. Hidayat et al., (2014) melaporkan bahwa penggunaan zeolit alam yang dikombinasikan dengan aminopropiltrimetoksisilan (APTMS) dapat mengontrol laju pelepasan menjadi dua kali lebih lambat yaitu dari 30-35% menjadi 70%. Pelepasan urea yang semakin lambat juga dapat dikaitkan dengan kesesuaian komposisi antara alginat dan zeolit A. Terdapatnya alginat dapat membentuk struktur *beads* yang kuat, sehingga menghambat masuknya air ke dalam *beads*. Sementara itu, penambahan zeolit A menyebabkan urea berikatan dengan permukaan zeolit, sehingga pelepasan urea akan semakin lambat.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Zeolit A yang dihasilkan menunjukkan karakteristik khas, ditandai dengan pita serapan vibrasi rentang O-H dari gugus silanol, vibrasi ulur O-H, vibrasi regangan asimetris dan simetris T-O, serta cincin ganda sebagai *secondary building unit* dari zeolit A. Pola difraksi zeolit A menunjukkan puncak pada sudut $2\theta = 7,12^\circ; 10,10^\circ; 12,39^\circ; 16,04^\circ; 21,06^\circ; 23,92^\circ; 26,04^\circ; 27,04^\circ; 29,87^\circ;$ dan $34,10^\circ$.
2. *Beads* pupuk lepas lambat yang dihasilkan memiliki karakteristik FTIR yang mengindikasikan terdapatnya urea, zeolit A, dan alginat. Zeolit A ditandai dengan terbentuknya ikatan cincin ganda dan ikatan T-O simetris. Urea ditunjukkan dengan adanya gugus fungsi C-N, sedangkan alginat dalam *beads* teridentifikasi dengan munculnya gugus fungsi COO^- , O-H, dan C-O kelompok eter. Hasil XRD menunjukkan urea telah terdistribusi merata dalam matriks alginat dan pada *beads* UZA puncak karakteristik dari zeolit A sangat

mendominasi yang mengindikasikan kandungan zeolit yang tinggi.

3. Profil pelepasan urea dari pupuk lepas lambat nitrogen berbahan urea-alginat (UA) dan urea-zeolit A-alginat (UZA) menunjukkan pelepasan yang terkontrol. Pelepasan urea secara lambat dan bertahap terlihat lebih menonjol pada *beads* UZA, yang ditandai dengan grafik pelepasan yang paling landai. Pada interval menit ke-5 hingga menit ke-10, perbedaan persentase pelepasan urea pada *beads* UZA hanya sebesar 4,1% sedangkan *beads* UA mencapai 15,57%. Sementara itu, pada interval menit ke-60 hingga menit ke-90, perbedaan pelepasan urea pada UZA semakin kecil yaitu 0,4%, sedangkan *beads* UA yaitu 0,44%.

B. Saran

Penelitian ini masih memerlukan riset lebih lanjut terutama terkait pengenceran sampel dan urea komersial agar absorbansi yang diperoleh berada dalam rentang kurva standar, khususnya pada uji kadar urea *terloading* dan uji lepas lambat urea komersial. Selain itu, diperlukan konfirmasi lebih lanjut terkait laju kinetika pelepasan pupuk serta pengujian aplikasi *beads* pupuk lepas lambat nitrogen berbahan urea-zeolit A-alginat pada tanaman

tertentu untuk mengetahui tingkat efektivitas dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, R. E. Y., Gelyaman, G., & Kabosu, M. (2022). Pemanfaatan Ekstrak Antosianin dari Limbah Kulit Bawang Merah (*Allium cepa*) sebagai Zat Pemeka (Sensitizer) pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 18(1), 103–111. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.1.56104.103-111>
- Adzmi, F., Meon, S., Musa, M. H., & Yusuf, N. A. (2012). Preparation, Characterisation and Viability of Encapsulated *Trichoderma Harzianum* UPM40 in Alginate-Montmorillonite Clay. *Journal of Microencapsulation*, 29(3), 205–210. <https://doi.org/10.3109/02652048.2012.659286>
- Ahmad, A., Ijaz, S. S., & He, Z. (2021). Effects of zeolitic urea on nitrogen leaching ($\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$) and volatilization (NH_3) in spodosols and alfisols. *Water (Switzerland)*, 13(14), 1–11. <https://doi.org/10.3390/w13141921>
- Al-Samarrai, M. N., Hamzah, R., Sam, S. T., Noriman, N. Z., Dahham, O. S., Syed Idrus, S. Z., & Adam, T. (2018). Slow Release Material from Epoxidized Natural Rubber and Rice Husk Composites for Agriculture Applications. *Journal of Physics: Conference Series*, 1019(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1019/1/012063>
- An Nisa, N. R., Syahbanu, I., Rahmalia, W., & Nurlina, N. (2023). Sintesis Geopolimer dengan Bahan Dasar Kaolin Capkala Sebagai Adsorben Ion Pb(II) dalam Larutan. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(2), 52–60. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v6i2.62731>
- Anawati, F., & Suseno, A. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Limbah Padat Industri Kertas (Dregs) dengan Penambahan Abu Sekam Padi. *Jurnal*

Kimia Sains Dan Aplikasi, 15(1), 18–23.

- Andriani, P. (2017). *Respon Pemupukan Urea Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi pada Vertisol*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- 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), 436–461. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v6i5.35935>
- Astar, I., & Suci, A. (2022). Enkapsulasi Urea Pada Lumpur PDAM-Alginat sebagai Pupuk Lepas Lambat. *Al-Kimia*, 10(1), 23–31. <https://doi.org/10.24252/al-kimiav10i1.23740>
- Athaillah, Suratman, A., & Suyanta. (2018). Sintesis Membran Matriks Tercampur Alginat/Zeolit Alam/Kaolin untuk Pemisahan Gas CO₂ dan CH₄. *Berkala MIPA*, 25(1), 42–52.
- Aulia, K. (2022). *Sintesis Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer) dengan Biochar sebagai Matriks Untuk Tanaman Bawang Merah (Allium ascalonium)*.
- Aviantri, F., & Maharani, K. D. (2017). Pelepasan Nitrogen pada Pupuk Slow Release Urea dengan Menggunakan Matriks Kitosan-Bentonit. *Unesa Journal of Chemistry*, 6(1), 68–72.
- Ayele, L., Pérez-Pariente, J., Chebude, Y., & Díaz, I. (2016). Conventional Versus Alkali Fusion Synthesis of Zeolite A from Low Grade Kaolin. *Applied Clay Science*, 485–490. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.07.019>
- Azeem, B., Kushaari, K., Man, Z. B., Basit, A., & Thanh, T. H. (2014). Review on Materials & Methods to Produce Controlled Release Coated Urea Fertilizer. *Journal of Controlled Release*, 181(1), 11–21.

<https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>

- Aziz, H., Matematika, J., Pengetahuan, D., Sains, A. F., & Teknologi, D. (2022). *Pembuatan Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer) Npk Berbasis Abu Tempurung Kelapa Yang Dienkapsulasi Dengan Asam Humat F1C118032 Program Studi Kimia*.
- Azizati, Z. (2021). *Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Nitrogen*. CV.Alinea Media Dipantara.
- Azmi, M. I. (2023). *Pembuatan Pupuk Lepas Lambat Nitrogen Berbasis Silika Sekam Padi-Kitosan-Asam Fulvat-Urea*. Skripsi. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Byler, D. M., Gerasimowicz, W. V., Stockette, V. M., & Eberl, D. D. (1991). Infrared spectroscopic examination of the interaction of urea with the naturally occurring zeolite clinoptilolite. *Microchemical Journal*, 44(2), 130–139. [https://doi.org/10.1016/0026-265X\(91\)90090-C](https://doi.org/10.1016/0026-265X(91)90090-C)
- Cheng, H., Liu, Q., Yang, J., Ma, S., & Frost, R. L. (2012). The Thermal Behavior of Kaolinite Intercalation Complexes-A Review. *Thermochimica Acta*, 545, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.04.005>
- Dalena, F., Dib, E., Onida, B., Ferrarelli, G., Daturi, M., Giordano, G., Migliori, M., & Mintova, S. (2024). Evaluation of Zeolite Composites by IR and NMR Spectroscopy. *Molecules*, 29(18). <https://doi.org/10.3390/molecules29184450>
- Deju, R., Mazilu, C., Stanculescu, I., & Tuca, C. (2020). Fourier Transform Infrared Spectroscopic Characterization of Thermal Treated Kaolin. *Romanian Reports in Physics*, 72(3), 1–11.
- Dharmawan, E. A., Wibowo, & Mediyanto, A. (2017). Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Sendiri dan Kuat Tekan Beton

- Mutu Tinggi. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1094–1101.
- Duan, T. C., Nakano, T., & Nozue, Y. (2007). Magnetic and Optical Properties of Rb and Cs Clusters Incorporated Into Zeolite A. *E-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, 5, 6–11. <https://doi.org/10.1380/ejsnt.2007.6>
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K., & Duhan, S. (2017). Nanotechnology: The new Perspective in Precision Agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>
- Duro, J. A., Lauk, C., Kastner, T., Erb, K. H., & Haberl, H. (2020). Global Inequalities in Food Consumption, Cropland Demand and Land-Use Efficiency: A Decomposition Analysis. *Global Environmental Change*, 64, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102124>
- Elimbi, A., Tchakoute, H. K., & Njopwouo, D. (2011). Effects of Calcination Temperature of Kaolinite Clays on The Properties of Geopolymer Cements. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2805–2812. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.055>
- 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(January 2018), 108545. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108545>
- Fuzlin, A. F., & Samsudin, A. S. (2021). Studies on favorable ionic conduction and structural properties of biopolymer electrolytes system-based alginate. *Polymer Bulletin*, 78(4), 2155–2175. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03207-2>
- Ginting, S. B. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit LTA Dari Coal Bottom Ash Teraktivasi Dengan Aging System. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri (JTII)*, 1(1), 15–27.

<https://doi.org/10.23960/jtii.v1i1.10>

- Ginting, S. B., & Nurfiqih, M. Y. (2018). Sintesis Zeolit A Dari Coal Bottom Ash Dengan Metode Step Change Of Synthesis Temperature Dengan Variasi Suhu Kalsinasi Diaplikasikan Untuk Dehidrasi Etanol. *Mechanical*, 9(1), 7–15. <https://doi.org/10.23960/mech.v9.i1.201802>
- Giraldo, J. D., & Rivas, B. L. (2017). Determination of Urea Using p-N,N-Dimethylaminobenzaldehyde: Solvent Effect and Interference of Chitosan. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 62(2), 3538–3542. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072017000200023>
- Gougazeh, M., & Buhl, J. C. (2014). Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformation of natural Jordanian kaolin. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2013.03.007>
- Gultom, F. (2015). Preparation Ofsarulla Natural Nanozeolite as A Filler for Polyuratane Foam Polymer. *Agrium*, 19(3), 10–17.
- Gusnedi, R. (2013). Analisis Nilai Absorbansi dalam Penentuan Kadar Flavonoid untuk Berbagai Jenis Daun Tanaman Obat. *Pillar of Physics*, 2, 76–83.
- Haditya, B. E., Jumaeri, & Sulistyaningsih, T. (2019). Penggunaan Zeolit A Termodifikasi HDTMA sebagai Slow Release Urea Fertilizer. *J. Chem. Sci*, 8(1), 31–36. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Haerunnisa. (2008). *Analisa Kualitas dan Formulasi Alginat Hasil Ekstraksi Sarassum filipendula Untuk Pembuatan Minuman Suplemen Serat dalam Bentuk Effervescent*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

- Han, X., Chen, S., & Hu, X. (2009). Controlled-Release Fertilizer Encapsulated by Starch/Polyvinyl Alcohol Coating. *Desalination*, 240(1-3), 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.01.047>
- Hardiyanti, R. A., Hamzah, H., & Andriani, A. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk NPK Terhadap Pertambahan Bibit Merbabu Darat (*Intsia palembanica*) di Pembibitan. *Jurnal Silva Tropika*, 6(1), 15-22. <https://doi.org/10.22437/jsilvtrop.v6i1.20845>
- Hartati, H., Widati, A. A., Purwaningsih, A., Kristanti, A. N., & Rohmah, A. F. (2018). Suhu dan Waktu Hidrotermal Dalam Sintesis Zsm-5 Dari Metakaolin. *Jurnal Kimia Riset*, 3(1), 38-46. <https://doi.org/10.20473/jkr.v3i1.7800>
- Hartati, Prasetyoko, D., Santoso, M., Qoniah, I., Leaw, W. L., Firda, P. B. D., & Nur, H. (2020). A Review on Synthesis of Kaolin-Based Zeolite and The Effect of Impurities. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 67(6), 911-936. <https://doi.org/10.1002/jccs.201900047>
- Hasibuan, E. S., Djamaan, A., & Suardi, M. (2023). Pembuatan Dan Karakterisasi Tablet Urea Dengan Metode Kempa Langsung. *Jurnal Education and Development*, 11(1), 511-516. <https://doi.org/10.37081/ed.v11i1.4525>
- Hebo Shi, Dunsheng Liang, Henghui Deng, Fei Xie, Zhihao Chen, Yu Chen, Q. L. (2022). Bio-based superhydrophobic polymer coatings for slow-release fertilizers via a UV-curing encapsulation method. *Industrial Crops and Products*, Volume 188. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115580>
- Heenan, D. P., & P.E., B. (1987). *Efficiency of Nitrogen Fertilizer Timing on Crop Growth and Nitrogen Use Efficiency by Different Tice varieties in Southeastern Australia*.
- Helwandi, I. (2016). Validasi Metode Spektrofotometri UV-Vis

Analisis Tiga Panjang Gelombang Untuk Penetapan Kadar Tablet Prednison Yang Mengandung Zat Pewarna. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga.

Herlina, H., Falahudin, A., Gustian, I., H. Putranto, A. M., Adfa, M., & Yudha S, S. (2021). Membran Alginat Padina sp. - Polietilen Glikol (AP-PEG): Preparasi, Karakterisasi dan Aplikasinya sebagai Enkapsulan. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 63–73. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.41713.63-73>

Hermida, L., & Agustian, J. (2019). Slow Release Urea Fertilizer Synthesized Through Recrystallization of Urea Incorporating Natural Bentonite Using Various Binders. *Enviromental Teknologi and Innovation*, 13, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.11.005>

Hidayat, R., Fadillah, G., Wahyuningsih, S., Alam, P., Maret, U. S., Material, K. A., Matematika, F., & Sebelas, U. (2014). Peranan Zeolit Nanopori Termodifikasi Sebagai Material Pengontrol Pelepasan Pupuk Urea. *Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional PKM - Penelitian*, 1–8.

Ivanky, K., & Wahyudi, R. T. (2012). Pembuatan Urea Pelepasan Terk Endali Melalui Pelapisan dengan Amilum Menggunakan Teknologi Fluidized Bed Spray. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 1(1), 64–68.

Jarosiewicz, A., & Tomaszewska, M. (2003). Controlled-Release NPK Fertilizer Encapsulated by Polymeric Membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(2), 413–417. <https://doi.org/10.1021/jf020800o>

Jayanudin, & Lestari, R. S. D. (2020). Fertilizer Encapsulation to Improve the Nutrients Use Efficiency of Plant Through Slow/Controlled Release to Ensure Food Security. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(2), 1074–1082. <https://doi.org/10.31788/RJC.2020.1325572>

- Jumaeri, Sumarni, W., Ningrum, L. W., & Rahayu, E. F. (2020). Using of Low Grade Zeolite Based Fly Ash as Slow Release Agent for Zea mays Growth. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022036>
- Khasanah, M., Widati, A. A., Fadillah, T., Ummah, N. W., Puspitasari, E., Zuhriyyah, V. A., & Budiastanti, T. A. (2025). Modification of Carbon Paste Electrode with Imprinted Zeolite A as a Sensor for Potentiometric and Voltammetric Amitriptyline Analysis. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 26(1), 15–26. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2025.06.02>
- Kragović, M., Pašalić, S., Marković, M., Petrović, M., Nedeljković, B., Momčilović, M., & Stojmenović, M. (2018). Natural and modified zeolite—alginate composites. Application for removal of heavy metal cations from contaminated water solutions. *Minerals*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/min8010011>
- Kurniawan, R. Y. (2017). *Adsorpsi Gas CH4 pada Zeolit-A dan Zeolit A-Karbon dari Abu Dasar*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kwakye, R., Aniagyei, A., Vigbedor, B. Y., Osei-Owusu, J., Antwi, B. Y., Amable, A. S. K., Edusei, G., & Kwakye-Awuah, B. (2022). Characterization of Metakaolin from Wassa Kaolin and Its Potential as Adsorbent for the Regeneration of Used Engine Lubrication Oil. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022(3), 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/4805410>
- Lestari, S., Yuningsih, L. M., & Muharam, S. (2022). Hidrogel Superabsorben Berbasis Natrium Alginat-Bentonit sebagai Pelapis Pupuk Lepas Lambat. *Jurnal Riset Kimia*, 13(1), 58–67. <https://doi.org/10.25077/jrk.v13i1.464>
- Maarif, H. (2009). *Reaksi Kompetisi antara Perengkakan dan*

Polimerisasi Tir Karet dari Ban Bekas dengan Katalis Mo-Ni/Zeolit Y. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Manurung, T. W., Sunardi, & Irawati, U. (2011). The Effect of NaOH Concentration towards Characteristic of Zeolite Synthesized from from Kaolin of South Borneo. *Sains Dan Terapan Kimia*, 5(1), 76–83.
- Mardikasari, S. A., Suryani, S., Akib, N. I., Sahumena, M. H., Hastuti, S., & Putri, S. A. (2020). Mikroenkapsulasi Asam Mefenamat Menggunakan Polimer Hidroksi Propil Metil Selulosa Dan Natrium Alginat Dengan Metode Gelas Ionik. *Majalah Farmasi Dan Farmakologi*, 23(3), 71–74. <https://doi.org/10.20956/mff.v23i3.9395>
- Masoudian, S. K., Sadighi, S., & Abbasi, A. (2013). Synthesis and characterization of high aluminum zeolite X from technical grade materials. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 8(1), 54–60. <https://doi.org/10.9767/bcrec.8.1.4321.54-60>
- Masruroh, Manggara, A. B., Lapailaka, T., & Triandi, R. (2013). Penentuan Ukuran Kristal (Crystallite Size) Lapisan Tipis Pzt Dengan Metode Xrd Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*, 1(2), 24–29. <https://doi.org/10.18551/erudio.1-2.4>
- Merabtene, M., Kacimi, L., & Clastres, P. (2019). Elaboration of Geopolymer Binders from Poor Kaolin and Dam Sludge Waste. *Heliyon*, 5(6), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01938>
- Miskiyah, M., Juniawati, J., & Widaningrum, W. (2020). Optimasi Pati-Alginat sebagai Bahan Pengkapsul Bakteri Probiotik terhadap Karakteristik Beads. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 9(1), 9–13. <https://doi.org/10.17728/jatp.4569>
- Nadzifah. (2011). *Sinergisme Multi Isolat Rhizobium dan*

Bakteri Pelarut Fosfat pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (Glicyne max (L.) Merrill) di Tanah Masam. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

- Notario del Pino, J. S., Arteaga Padrón, I. J., González Martin, M. M., & Garcia Hernández, J. E. (1995). Phosphorus and Potassium Release From Phillipsite-Based Slow-Release Fertilizers. *Journal of Controlled Release*, 34(1), 25–29. [https://doi.org/10.1016/0168-3659\(94\)00116-C](https://doi.org/10.1016/0168-3659(94)00116-C)
- Novan, A., & Maharani, D. K. (2017). Kajian Daya Serap Air (Swelling) Pupuk Urea Slow Release Fertilizer (SRF) Menggunakan Matriks Kitosan-Zeolit. *Unesa Journal of Chemistry*, 6(2), 91–93.
- Nurlaela, S., Aryani, R., & Hidayat, A. F. (2020). Studi Literatur Penggunaan Kitosan dan Natrium Alginat pada Nanoenkapsulasi Senyawa Antioksidan. *Prosiding Farmasi*, 6(2), 388–393.
- Oktavi, R. A., Cahyono, B., & Suzery, M. (2020). Enkapsulasi Ekstrak Antosianin dari Bunga Rosela (Hibiscus sabdariffa L.) dengan Variasi Penyalut. *Akta Kimia Indonesia*, 5(2), 86–101. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v5i2.7841>
- Pamungkas, R. B., & Ridho, R. A. (2022). Kinetika Pelepasan Nitrogen Dari Pupuk Urea Lepas Lambat (Urea Slow Release, Sru) Matriks Zeolit Teraktivasi. *Techno*, 23(1), 55–60. <https://doi.org/10.30595/techno.v23i1.11716>
- Pamungkas, T. A., & Ridlo, A. (2013). Pengaruh Suhu Ekstraksi Terhadap Kualitas Natrium Alginat Rumput Laut Pendahuluan Struktur kimia pada alginat (Winarno , 1990). *Journal of Marine Research*, 2(3), 78–84.
- Pangestu, K. R., Suarya, P., & Widihati, I. A. G. (2023). Synthesis and Characterization of SRF Fertilizer using a Mixture of

- Urea and Bentonite Clays. *Jurnal Kimia*, 17(1), 1–7.
<https://doi.org/10.24843/jchem.2023.v17.i01.p01>
- Pérez-Botella, E., Valencia, S., & Rey, F. (2022). Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects. *Chemical Reviews*, 122(24), 17647–17695.
<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140>
- Purbasari, A., & Samadhi, T. W. (2021). Kajian Dehidroksilasi Termal Kaolin menjadi Metakaolin menggunakan Analisis Termogravimetri. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 17(1), 105–112.
<https://doi.org/10.20961/alchemy.17.1.47337.105-112>
- Rahmawati, N., Marwati, S., Padmaningrum, R. T., Fillaeli, A., & Syl, I. (2018). Pengembangan Molecularly Imprinted polymer (MIP) sebagai Adsorben Selektif Ion Logam Kadmium (Cd^{2+}). *Jurnal Kimia Dasar*, 7(4), 156–162.
- Rahmayani, R. F. I., Arryanto, Y., & Kartini, I. (2019). The Effect of Mixing Method on Preparing Chitosan-Zeolite-Fe Composites on Fe(III) Release. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 4(3), 205–215.
<https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i3.32066>
- Ramadhani, D. G., Setyoko, H., & Masykuri, M. (2016). Sintesis Slow Release Fertilizer Berbasis Polimer. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*, 421–428.
<https://media.neliti.com/media/publications/173083-ID-sintesis-slow-release-fertilizer-berbasi.pdf>
- Ríos, C. A., Williams, C. D., & Fullen, M. A. (2009). Nucleation and Growth History of Zeolite LTA Synthesized from Kaolinite by Two Different Methods. *Applied Clay Science*, 42, 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.05.006>
- Ronaldo, A. (2018). *Pembuatan Pupuk Urea Lepas Lambat Berlapis Sulfur dalam Spouted Bed*. Skripsi. Surabyata: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Sangjan, S., & Thongsamer, W. (2021). Facile Fabrication of N-Slow Release Fertilizer Hydrogel Beads by Alginate-Based Composites. *Key Engineering Materials*, 889, 91–97. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.889.91>
- Sastrohamidjojo, H. (2013). *Dasar Dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sathisaran, I., & Balasubramanian, M. (2020). Physical Characterization of Chitosan/Gelatin-Alginate Composite Beads for Controlled Release of Urea. *He*, 6, 1–11.
- Schroeder, C., Siozios, V., Hunger, M., Hansen, M. R., & Koller, H. (2020). Disentangling Brønsted Acid Sites and Hydrogen-Bonded Silanol Groups in High-Silica Zeolite H-ZSM-5. *Journal of Physical Chemistry C*, 124(42), 23380–23386. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06113>
- Selpiana, E., Destiarti, L., & Nurlina. (2016). Perbandingan Metode Penentuan Pb(II) di Sungai Kapuas Secara Spektrofotometri UV-Vis Cara Kalibrasi Terpisah dan Adisi Standar. *JKK*, 5(1), 17–23.
- Setiawati, D., Destiarti, L., & Wahyuni, N. (2015). Pemanfaatan Zeolit A Termodifikasi Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) sebagai Adsorben Fosfat. *Jkk*, 4(2), 14–20.
- Singh, J., & Sengar, R. . (2020). Nanotechnology in Agriculture and Food. *Annals of Horticulture*, 13(1), 414–419. <https://doi.org/10.5958/0976-4623.2020.00015.8>
- Skorupka, M., & Nosalewicz, A. (2021). Ammonia Volatilization from Fertilizer Urea—A New Challenge for Agriculture and Industry in View of Growing Global Demand for Food and Energy Crops. *Agriculture (Switzerland)*, 11(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090822>
- Sofia, Hala, Y., Makkulawu, A. ., Hiola, S. ., Karim, H., Iriany, R. .,

- Sjahril, R., & Jumadi, O. (2017). *Influence of urea fertilizer applied with polyacrylate polymer, zeolite and Mimba on growth maize*. 299(2019), 1–6.
- Styana, Ucik Fenti, R. S. (2010). *Penggunaan metode coating campuran zeolit dan pati untuk meningkatkan ketertarikan nitrogen dan kekuatan pada pupuk granul*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Subagjo, S., Rahayu, E. S., Samadhi, T. W., & Gunawan, M. L. (2015). Synthesis of NaY zeolite using mixed Calcined Kaolins. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(6), 633–639. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2015.47.6.4>
- 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(1), 1–11. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v10i1.23739>
- Sugiarti, S., Charlena, C., & Aflakhah, N. A. (2017). Zeolit Sintetis Terfungsionalisasi 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol sebagai Adsorben Kation Cu(II) dan Biru Metilena. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 11–19. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.5144>
- Suharti, T. (2017). *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Senyawa Organik*. Aura.
- Sumardi, Cahyono, K., Nurcahyani, E., Wahyuningsih, S., & Irawan, B. (2021). Imobilisasi Bakteri Asam Laktat dengan Menggunakan Alginat. *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, 4(1), 33–40.
- Sunardi, Faramitha, G. N., & Santoso, U. T. (2021). Characterization of Alginate-Cellulose-Kaolin Composites for Slow-Release Urea Fertilizer. *Indo. J Chem. Res.*, 8(3),

- 219–227. <https://doi.org/10.30598//ijcr.2021.8-sun>
- Sunardi, Mayori, E., & Santoso, U. T. (2021). Alginate-Starch Micro Beads as a Slow Release Urea Fertilizer. *AIP Conference Proceedings*, 1–7. <https://doi.org/10.1063/5.0062226>
- Suratman, A., Pramita, N., Agasta, P. N., Purwaningsih, D. R., Kuncaka, A., Kunarti, E. S., & Wibowo, A. H. (2020). The Effect of Zeolite Addition and Freeze-Drying Method on Alginat Beads for Controlled Release Fertilizer. *AIP Conference Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1063/5.0005798>
- Suwardi. (2002). Prospek Pemanfaatan Mineral Zeolit di Bidang Pertanian. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 1(1), 5–12.
- Suwardi. (2009). Teknik Aplikasi Zeolit di Bidang Pertanian Sebagai Bahan Pembenah Tanah. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 8(1), 33–39.
- Timon, V., Mate, B., Herrero, V., & Tanarro, I. (2021). *Infrared Spectra of Amorphous and Crystalline Urea Ices*. 2, 22344–22351. <https://doi.org/10.1039/D1CP03503G>
- Trivanaa, L., Sugiartib, S., & Rohaetib, E. (2015). Sintesis Zeolit dan Komposit Zeolit/TiO₂ Dari Kaolin Serta Uji Adsorpsi-Fotodegradasi Biru Metilena. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, 11(2), 147–162.
- Triyati, E. (1985). Spektrofotometer Ultra-Violet dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya Dalam Oseanologi. *Jurnal Oseana*, 10(1), 39–47.
- Ubaydillah, M. I., & Faqihuddin. (2021). Pengaplikasian Alignat Dalam Sistem Mikrosfer Pada Industri Farmasi: Review. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset Dan Pengabdian Ke-III (SNHRP-III-2021)*, 72–79.
- Wancuh. (2019). *Aktivasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Sebagai*

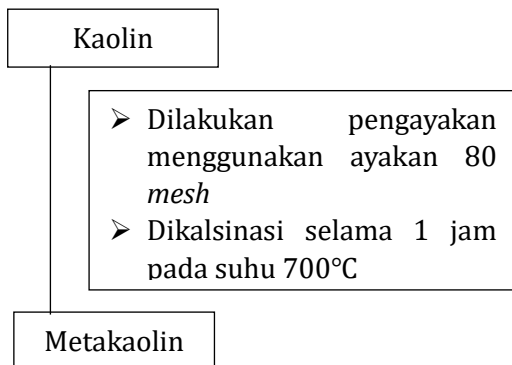
- Adsorben Urea*. Skripsi. Purwokerto : Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Wang, D. et al. (2010). Hierarchical Structured ZSM-5 Zeolite of Oriented Nanorods and Its Performance in the Alkylation of Phenol With Isopropanol. *Journal of Colloid and Interface Science*, 350(1), 290–294. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.05.065>
- Wardani, F., Khamidinal, K., Sedyadi, E., & Krisdiyanto, D. (2022). Pengaruh Waktu Refluks Terhadap Hasil Sintesis Zeolit Dari Bahan Abu Dasar Batubara Dengan Metode Hidrotermal. *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 3(1), 9–14. <https://doi.org/10.14421/ijmc.v3i1.3874>
- Wathoniyah, M. (2016). *Pembuatan dan Karakterisasi Komposit Sodium Alginat-Karaginan dengan Crosslinker CaCl_2 dan Plasticizer Gliserol sebagai Material Drug Release*. Universitas Airlangga.
- Widayat, Hadiyanto, Satriadi, H., Cahyono, B., Setyo Tri Astuti, W. I., & Febrianti, P. (2019). Synthesis of Zeolite X Molecular Sieve From Geothermal Solid Waste. *Materials Today: Proceedings*, 13(2019), 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.203>
- Wulan Sari, N., & Fajri, M. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa acminata* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1), 30–34.
- 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>

- Yani, A., Destiarti, L., Wahyuni, N., Kimia, P. S., & Tanjungpura, U. (2013). Sintesis Zeolit A Dengan Variasi Sumber Silika dan Alumina. *Jurnal.Untan.Ac.Id*, 2(1), 2–7. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/1744>
- Yulianto, K. (2007). Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida Terhadap Viskositas Natrium Alginat yang Diekstrak Dari *Sargassum duplicatum* J. G, Agardh (Phaeophyta). *Jurnal Nasional*, 33 (2), 295–306.
- Zhang, Y., Zou, H., Ling, Y., Dang, X., Yu, N., Zhang, Y., & Dong, J. (2015). Solubility Characteristics and Slow-Release Mechanism of Nitrogen From Organic-Inorganic Compound Coated Urea. *International Journal of Photoenergy*, 2015, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2015/705471>
- Zhao, C., Xu, J., Bi, H., Shang, Y., & Shao, Q. (2023). A Slow-Release Fertilizer of Urea Prepared Via Biochar-Coating With Nano-SiO₂-Starch-Polyvinyl Alcohol: Formulation and Release Simulation. *Environmental Technology and Innovation*, 32, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103264>
- Zuhaida, A., & Kurniawan, W. (2018). Deskripsi Sainstifik Pengaruh Tanah pada Pertumbuhan Tanaman: Studi Terhadap QS. Al A'raf Ayat 58. *Journal of Natural Science Teaching*, 01(02), 61–69.

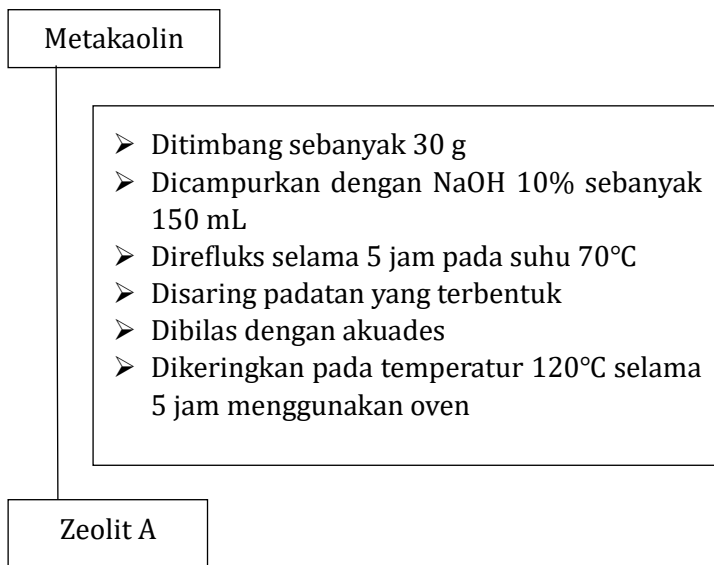
LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Kerja Penelitian

A. Preparasi Metakaolin



B. Sintesis Zeolit A



C. Pembuatan pupuk lepas lambat urea-alginat (UA)

Alginat dan urea

- Diambil masing-masing sebanyak 0,75 g dan 0,6 g dilarutkan dalam 50 mL akuades
- Diaduk dengan *magnetic stirer* hingga homogen
- Diekstrusi campuran tersebut menggunakan *syringe* 10 mL ke dalam larutan CaCl_2 6%
- Didiamkan selama 24 jam, ketika *beads* telah terbentuk
- Disaring *beads* yang terbentuk
- Dibilas akuades
- Dikeringkan pada temperatur 40°C selama 24 jam menggunakan oven
- Dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD

Hasil

D. Pembuatan pupuk lepas lambat urea-zeolit A-alginat (UZA)

Zeolit A

- Diambil sebanyak 2,25 g dan ditambahkan dengan 0,6 g pupuk urea
- Dimasukkan ke dalam 25 mL akuades
- Diaduk dengan *magnetic stirer* hingga homogen
- Disuspensikan campuran tersebut ke dalam campuran 0,75 g alginat dalam 25 mL akuades
- Diaduk kembali selama 2 jam
- Diekstrusi campuran tersebut menggunakan *syringe* 10 mL ke dalam larutan CaCl_2 6%
- Didiamkan selama 24 jam, ketika *beads* telah terbentuk
- Disaring *beads* yang terbentuk
- Dibilas akuades
- Dikeringkan pada temperatur 40°C selama 24 jam menggunakan oven
- Dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD

Hasil

E. Uji lepas lambat *beads* zeolit A-alginat-urea**Pembuatan larutan pengompleks**

p-DAB (*para-dimetil amino benzaldehid*)

- Ditimbang sebanyak 1,00 g
- Dilarutkan dalam 10 mL HCl 0,1M dan 50 mL etanol pa
- Diaduk sampai homogen

Larutan pengompleks

Pembuatan larutan induk urea 500 mg/L

Pupuk urea

- Ditimbang 0,06 g
- Dilarutkan dalam 100 mL akuades

Larutan induk urea 500 mg/L

Penentuan bilangan gelombang maksimum

Larutan induk urea 500 mg/L

- Diambil sebanyak 4 mL
- Dicampurkan dengan 6 mL larutan pengompleks dalam labu ukur 10 mL
- Disiapkan larutan blanko dengan mencampurkan 4 mL akuades dengan 6 mL larutan pengompleks dalam labu ukur 10 mL
- Didiamkan kedua larutan selama 1 jam
- Dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400-500 nm interval 1 nm

Panjang gelombang maksimum

Pembuatan kurva standar urea

Larutan induk 500 mg/L

- Diencerkan menjadi 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 mg/L
- Diambil 4 mL untuk masing-masing larutan baku 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 mg/L
- Ditambahkan dengan 6 mL larutan pengompleks
- Didiamkan selama 1 jam
- Dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum

Kurva standar urea

Penentuan kadar urea dalam sampel

Pupuk lepas lambat dengan semua variasi

- Ditimbang sebanyak 0,25 g dan digerus
- Dimasukkan ke dalam 50 mL akuades
- Diaduk selama 2 jam sampai pupuk lepas lambat larut
- Diambil 4 mL larutan tersebut dan ditambahkan 6 mL larutan pengompleks
- Dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum

Nilai absorbansi

Uji lepas lambat *beads* urea-alginat (UA) dan *beads* urea-zeolit A-alginat (UZA)

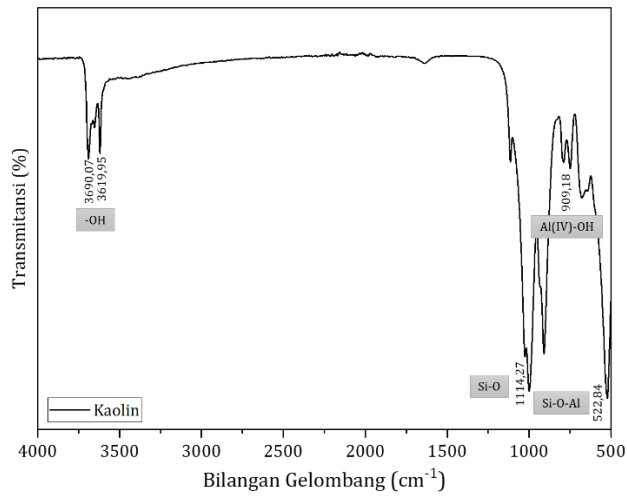
Pupuk lepas lambat dengan semua variasi

- Ditimbang sebanyak 0,25 g
- Dicampurkan ke dalam 50 mL akuades dalam erlenmeyer
- Diambil 4 mL larutan pada jarak 5 menit, 10 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, dan 90 menit
- Ditambahkan 6 mL larutan pengompleks
- Dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum

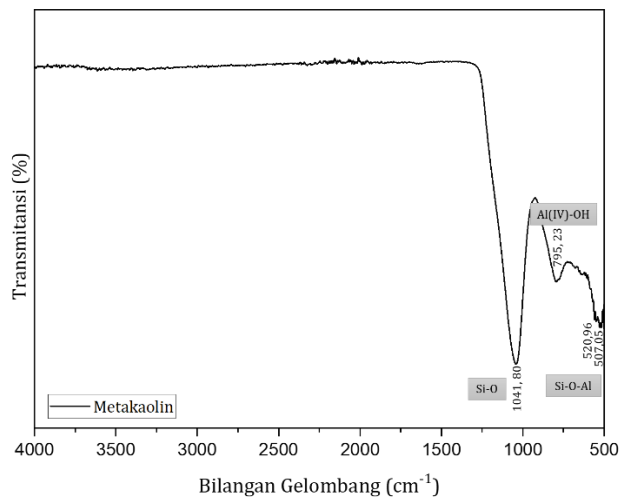
Lepas lambat *beads* zeolit A-alginat-urea

Lampiran 2. Data FTIR

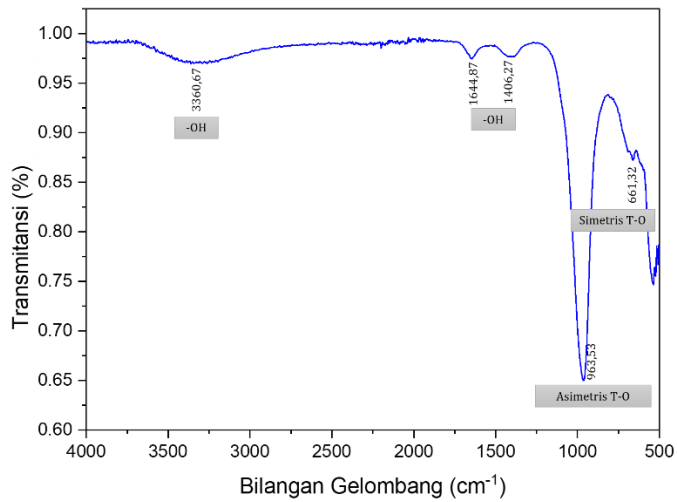
A. FTIR Kaolin



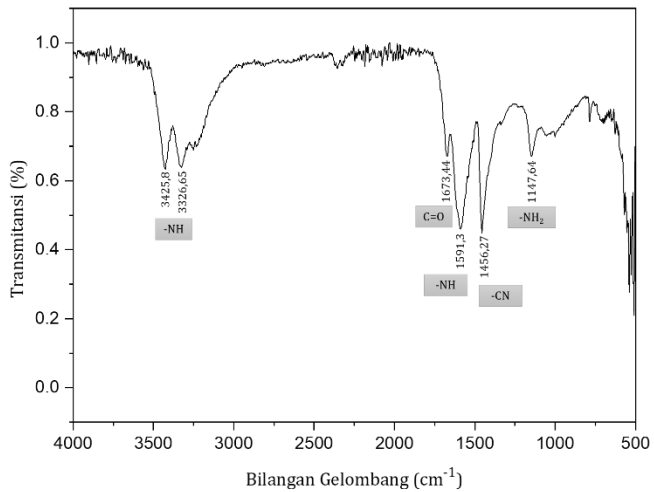
B. FTIR Metakaolin



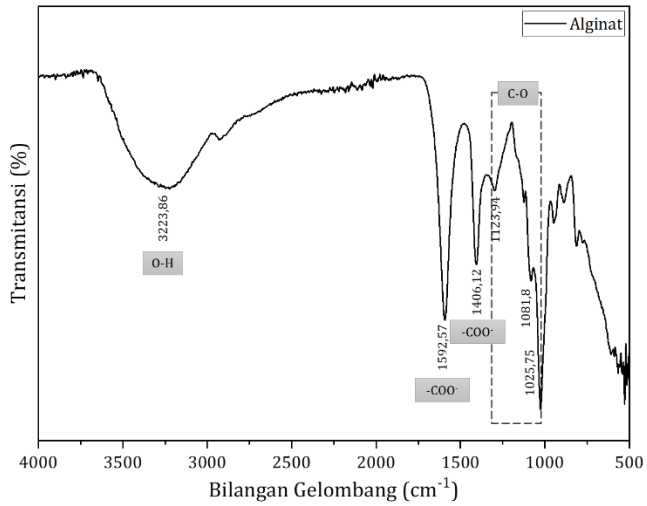
C. FTIR Zeolit A



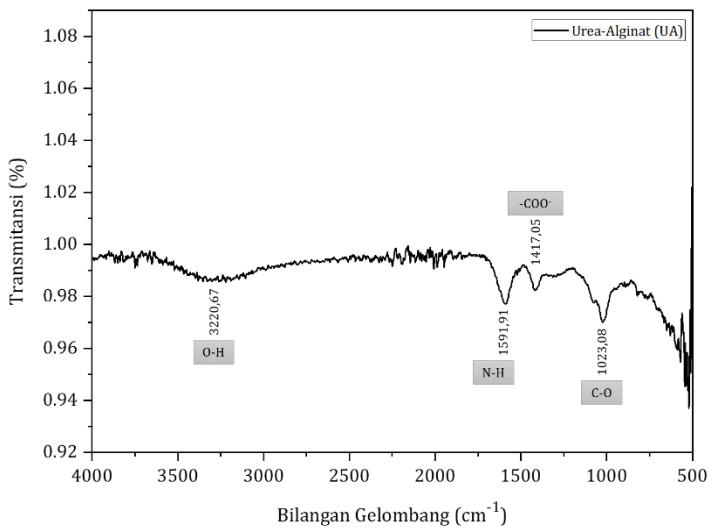
D. FTIR Pupuk Urea



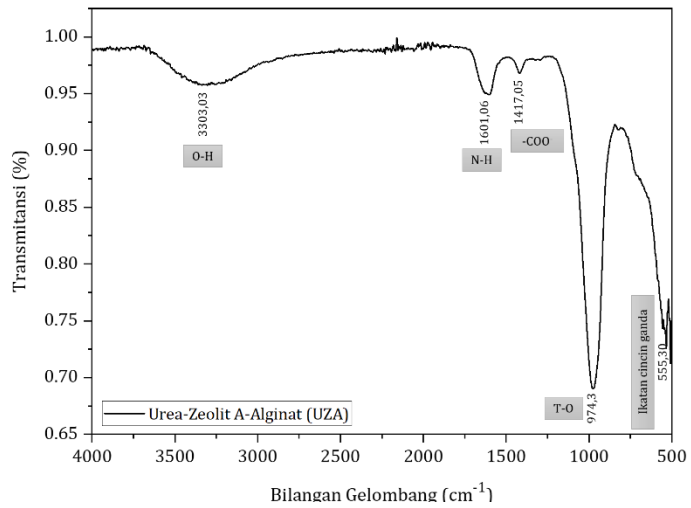
E. FTIR Alginat



F. FTIR Beads Urea-Alginat (UA)

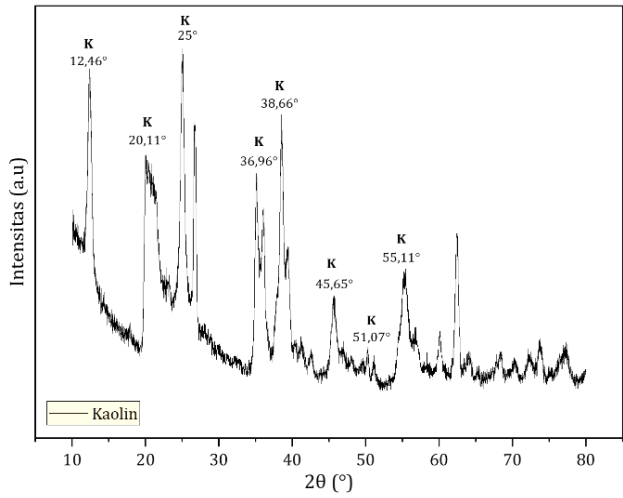


G. FTIR *Beads* Urea-Zeolit A-Alginat (UZA)

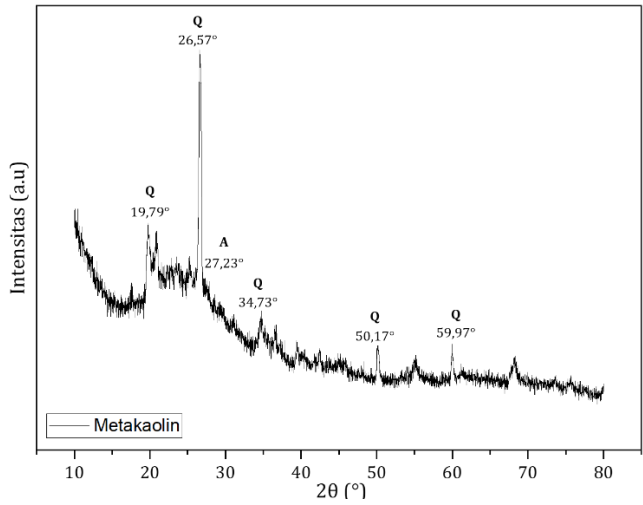


Lampiran 3. Data XRD

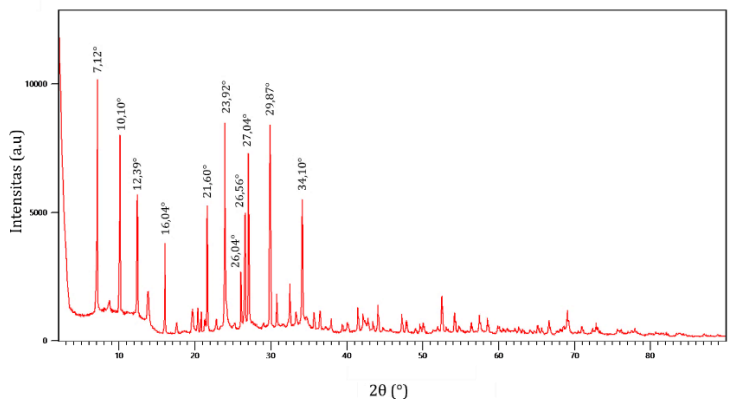
A. XRD Kaolin



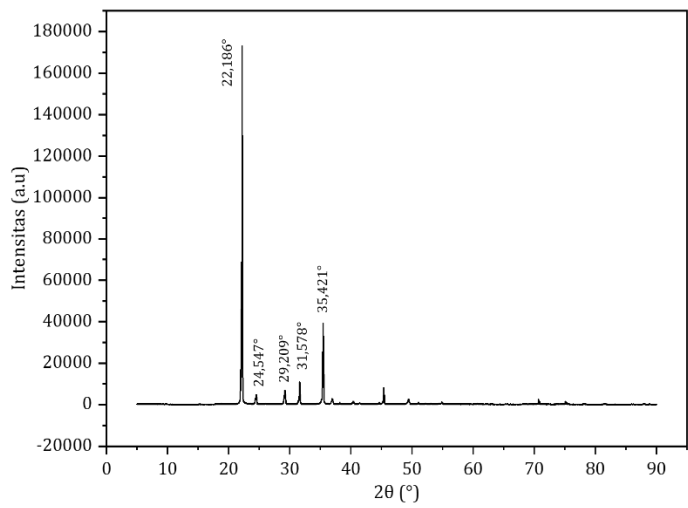
B. XRD Metakaolin



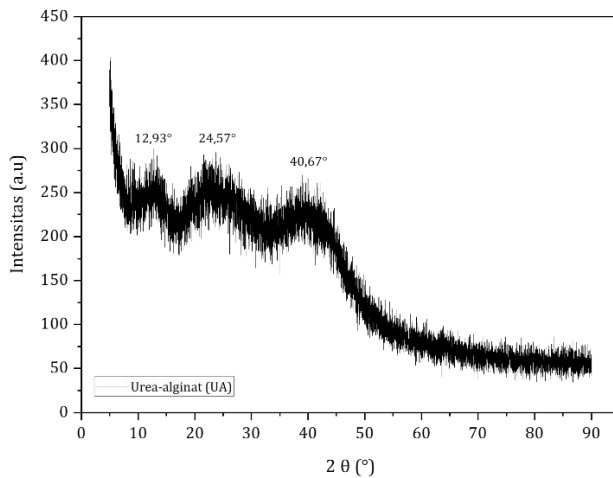
C. XRD Zeolit A



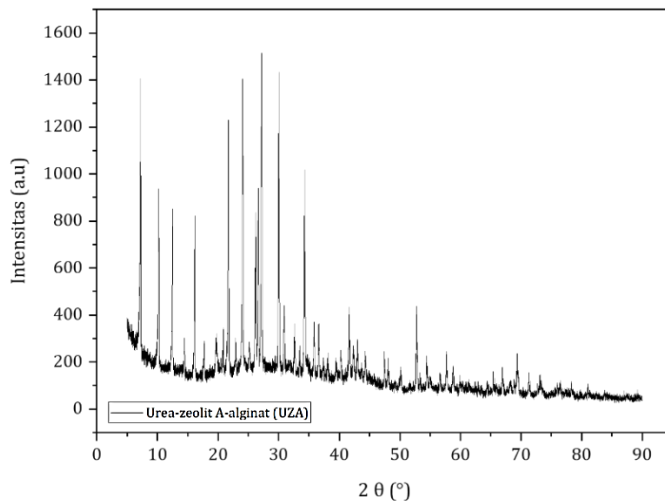
D. XRD Pupuk Urea



E. XRD Beads Urea-Alginat (UA)



F. XRD Beads Urea-Zeolit A-Alginat (UZA)



Lampiran 4. Analisis Data**A. Pembuatan larutan urea konsentrasi 200, 250, 300, 350, 400, dan 500 ppm**

1. Larutan urea 200 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

2. Larutan urea 250 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

3. Larutan urea 300 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$V_1 = 30 \text{ mL}$$

4. Larutan urea 350 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$V_1 = 35 \text{ mL}$$

5. Larutan urea 400 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$V_1 = 40 \text{ mL}$$

B. Perhitungan kadar urea dan lepas lambat *beads*

Absorbansi variasi konsentrasi dari larutan standar disajikan pada tabel dan persamaan garis yang diperoleh dari kurva standar urea yaitu sebagai berikut :

$$y = 0,0009x - 0,0052 \text{ dan nilai } R^2 = 0,991 \quad (3)$$

Tabel Absorbansi Larutan Standar

Larutan	Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
Blanko	0	0,000
Standar 1	80	0,062
Standar 2	100	0,076
Standar 3	120	0,095
Standar 4	140	0,109
Standar 5	160	0,128
Standar 6	200	0,174

Analisis kadar urea dalam *beads* zeolit A-alginat-urea

Beads urea-alginat (UA) dan *beads* urea-zeolit A-alginat (UZA) sebanyak 0,25 g dilarutkan dalam 50 mL akuades. Sebanyak 4 mL dari 50 mL diambil dan diencerkan menjadi 10 mL dengan penambahan 6 mL larutan pengompleks p-DAB.

$$V_{\text{larutan}} = 50 \text{ mL} = 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Faktor pengenceran} = 2,5$$

$$\text{Persamaan garis, } y = 0,0009x - 0,0052$$

Kode Sampel	Absorbansi	Kadar Urea (mg)	Kadar Urea (%)
PU	1,211	168,91	67,56
UA	0,22	31,28	12,51
UZA	0,237	33,63	13,45

1. Urea komersial (PU)

$$\text{Absorbansi} = 1,211$$

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

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

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

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 1.351,33 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 3.378,32 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 3.378,32 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 168,91 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea} = \frac{\text{kadar nitrogen}}{\text{massa pupuk yang digunakan}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = \frac{168,91 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = 67,56 \%$$

2. Kode sampel urea-alginat (UA)

$$\text{Absorbansi} = 0,22$$

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

$$0,22 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,22 + 0,0052}{0,0009}$$

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 250,22 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 625,55 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 625,55 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 31,28 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea} = \frac{\text{kadar nitrogen}}{\text{massa pupuk yang digunakan}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = \frac{31,28 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = 12,51\%$$

3. Kode sampel urea-zeolit A-alginat (UZA)

$$\text{Absorbansi} = 0,237$$

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

$$0,237 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,237 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 269,11 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 269,11 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 672,78 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 672,78 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 33,63 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea} = \frac{\text{kadar nitrogen}}{\text{massa pupuk yang digunakan}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = \frac{33,63 \text{ mg}}{250 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea} = 13,45\%$$

Analisis lepas lambat *beads* menggunakan media air

Urea komersial, *beads* urea-alginat (UA), dan *beads* urea-zeolit A-alginat (UZA) sebanyak 0,25 g dimasukkan ke dalam 50 mL akuades. Pada rentang waktu tertentu sebanyak 4 mL dari 50 mL diambil dan diencerkan menjadi 10 mL dengan penambahan 6 mL larutan pengompleks p-DAB.

$$V_{\text{larutan}} = 50 \text{ mL} = 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Faktor pengenceran} = 2,5$$

$$\text{Persamaan garis, } y = 0,0009x - 0,0052$$

1. Urea komersial (PU)

Waktu (menit)	Absorbansi	Kadar Urea <i>Release</i> (mg)	Kadar Urea <i>Release</i> (%)
5	0,537	75,3	44,58
10	0,754	105,44	62,42
15	0,803	112,25	66,46
20	0,800	111,83	66,2
30	0,804	112,39	66,53
60	0,810	113,22	67,02
90	0,830	116	68,67

a. 5 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,537$$

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

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

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

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 602,44 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 1.506,1 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 1.506,1 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 75,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{75,3 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

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

b. 10 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,754$$

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

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

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

$$x = 843,56 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 843,56 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.108,9 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.108,9 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 105,44 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{105,44 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 62,42\%$$

c. 15 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,803$$

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

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

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

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 898 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.245 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.245 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 112,25 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{112,25 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 66,46\%$$

d. 20 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,8$$

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

$$0,8 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,8 + 0,0052}{0,0009}$$

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 894,67 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.236,68 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.236,68 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 111,83 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{111,83 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 66,2\%$$

e. 30 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,804$$

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

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

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

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 899,11 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.247,78 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.247,78 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 112,39 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{112,39 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 66,53\%$$

f. 60 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,810$$

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

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

$$x = \frac{0,81 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 905,78 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 905,78 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.264 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.264 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 113,22 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{113,22 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

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

g. 90 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,83$$

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

$$0,83 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,83 + 0,0052}{0,0009}$$

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

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 928 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 2.320 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 2.320 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 116 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{116 \text{ mg}}{168,91 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 68,67\%$$

2. Kode sampel urea-alginat (UA)

Waktu (menit)	Absorbansi	Kadar Urea <i>Release</i> (mg)	Kadar Urea <i>Release</i> (%)
5	0,069	10,3	32,92
10	0,104	15,17	48,49
15	0,109	15,86	50,7
20	0,116	16,83	53,81
30	0,114	16,56	52,94
60	0,117	16,97	54,25
90	0,118	17,11	54,69
120	0,121	17,52	56,01
180	0,124	17,94	57,35

a. 5 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,069$$

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

$$0,069 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,069 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 82,44 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 82,44 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 206,1 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 206,1 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 10,3 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{10,3 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 32,92\%$$

b. 10 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,104$$

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

$$0,104 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,104 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 121,33 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 121,33 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 303,33 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 303,33 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 15,17 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{15,17 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 48,49\%$$

c. 15 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,109$$

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

$$0,109 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,109 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 126,89 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 126,89 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 317,23 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 317,23 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 15,86 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{15,86 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 50,7\%$$

d. 20 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,116$$

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

$$0,116 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,116 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 134,67 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 134,67 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 336,68 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 336,68 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,83 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,83 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 53,81\%$$

e. 30 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,114$$

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

$$0,114 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,114 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 132,44 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 132,44 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 331,1 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 331,1 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,56 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,56 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 52,94\%$$

f. 60 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,117$$

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

$$0,117 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,117 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 135,78 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 135,78 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 339,45 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 339,45 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,97 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,97 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 54,25\%$$

g. 90 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,118$$

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

$$0,118 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,118 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 136,89 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 136,89 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 342,22 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 342,22 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 17,11 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{17,11 \text{ mg}}{31,28 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 54,69\%$$

3. Kode sampel urea-zeolit A-alginat (UZA)

Waktu (menit)	Absorbansi	Kadar Urea <i>Release</i> (mg)	Kadar Urea <i>Release</i> (%)
5	0,097	14,2	42,22
10	0,107	15,58	46,32
15	0,112	16,28	48,4
20	0,114	16,56	49,24
30	0,111	16,13	47,96
60	0,112	16,28	48,4
90	0,113	16,41	48,8

a. 5 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,097$$

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

$$0,097 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,097 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 113,56 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 113,56 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 283,9 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 283,9 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 14,2 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{14,2 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 42,22\%$$

b. 10 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,107$$

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

$$0,107 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,107 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 124,67 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 124,67 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 311,68 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 311,68 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 15,58 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{15,58 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 46,32\%$$

c. 15 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,112$$

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

$$0,112 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,112 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 130,22 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 130,22 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 325,55 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 325,55 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,28 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,28 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 48,4\%$$

d. 20 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,114$$

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

$$0,114 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,114 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 132,44 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 132,44 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 331,1 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 331,1 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,56 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,56 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 49,24\%$$

e. 30 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,111$$

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

$$0,111 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,111 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 129,11 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 129,11 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 322,78 \text{ ppm}$$

$$\text{Kadar urea dalam } 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 322,78 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,13 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,13 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 47,96\%$$

f. 60 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,112$$

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

$$0,112 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,112 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 130,22 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 130,22 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 325,55 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 325,55 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,28 \text{ mg}$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,28 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 48,4\%$$

g. 90 menit

$$\text{Absorbansi} = 0,113$$

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

$$0,113 = 0,0009x - 0,0052$$

$$x = \frac{0,113 + 0,0052}{0,0009}$$

$$x = 131,33 \text{ ppm}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = (x) \times \text{faktor pengenceran}$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 131,33 \text{ ppm} \times 2,5$$

$$[\text{Urea}]_{\text{awal}} = 328,32 \text{ ppm}$$

Kadar urea dalam 0,05 L

$$\text{Kadar urea} = [\text{Urea}]_{\text{awal}} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 328,32 \text{ ppm} \times 0,05 \text{ L}$$

$$\text{Kadar urea} = 16,41 \text{ mg}$$

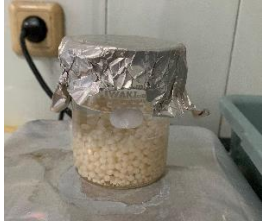
$$\% \text{Urea release} = \frac{\text{Kadar urea akhir}}{\text{Kadar urea awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = \frac{16,41 \text{ mg}}{33,63 \text{ mg}} \times 100\%$$

$$\% \text{Urea release} = 48,8\%$$

Lampiran 5. Dokumentasi

No.	Keterangan	Gambar
1.	Hasil kalsinasi kaolin menjadi metakaolin	
2.	Sintesis zeolit A	
3.	Hasil sintesis zeolit A	
4.	Sintesis pupuk lepas lambat nitrogen	
	Pencampuran dan pengadukan material penyusun	

	Perendaman <i>beads</i> selama 24 jam	
	Pengeringan selama 24 jam	
5.	<i>Beads</i> urea-alginat (UA)	
6.	<i>Beads</i> urea-zeolit A-alginat (UZA)	

7.	Pendiaman variasi konsentrasi urea untuk kurva standar	
8.	Pelarutan <i>beads</i> untuk pengukuran kadar urea terloading	
9.	Uji lepas lambat nitrogen	

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Natalia Nada Maharani
2. Tempat & Tgl lahir : Cilacap, 24 Desember 2002
3. Alamat Rumah : Jl. Irigasi II No.04 RT 01 RW
06 Sampang, Cilacap, Jawa
Tengah
4. Nomor HP : 081227934158
5. E-mail : natalianadaa24@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. TK Nusa Indah lulus 2009
 - b. SDN Sampang 01 lulus 2015
 - c. SMP Negeri 1 Sampang lulus 2018
 - d. SMA Negeri 1 Sampang lulus 2021