

Sintesa Pupuk Cair Amonium Silikat dari Sekam Padi dengan Metode Ekstraksi

Muhammad Ali Akbar*, Kharisma Indahsari, Ely Kurniati

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 22031010142@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 8 Agustus 2025

Disetujui: 1 September 2025

Abstract

Rice husk waste, which is rich in silica, has the potential to be utilized as a raw material for liquid ammonium silicate fertilizer to enhance crop resistance against abiotic stress. This study aimed to synthesize liquid ammonium silicate fertilizer through the extraction of silica from rice husk ash using ammonium hydroxide (NH₄OH) solution with varying concentrations (1; 1,25; 1,5; and 2 M) and extraction times (60, 75, 90, and 120 minutes). Silica content was analyzed using the gravimetric method, while nitrogen content was determined using the Kjeldahl method. The results showed that the highest silica content (0,24%) was obtained at a concentration of 2 M and an extraction time of 75 minutes, whereas the highest nitrogen content (4,57%) was achieved at a concentration of 2 M and an extraction time of 60 minutes. FTIR spectra confirmed the presence of Si–O–Si and N–H groups, indicating the formation of ammonium silicate. Overall, the optimum condition was achieved at 2 M NH₄OH concentration with an extraction time of 60–75 minutes. The synthesized liquid ammonium silicate has potential as an eco-friendly, silica-based fertilizer to improve agricultural crop productivity.

Keywords: *rice husk, ammonium silicate, silica extraction, nh₄oh, liquid fertilizer*

Abstrak

Limbah sekam padi yang kaya silika berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk cair ammonium silikat untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik. Penelitian ini bertujuan menyintesis pupuk cair ammonium silikat melalui proses ekstraksi silika dari abu sekam padi menggunakan larutan ammonium hidroksida (NH₄OH) dengan variasi konsentrasi (1; 1,25; 1,5; dan 2 M) dan waktu ekstraksi (60, 75, 90, dan 120 menit). Analisis kadar silika dilakukan dengan metode gravimetri, sedangkan kadar nitrogen dianalisis menggunakan metode Kjeldahl. Hasil penelitian menunjukkan kadar silika tertinggi (0,24 %) diperoleh pada konsentrasi 2 M dan waktu ekstraksi 75 menit, sedangkan kadar nitrogen tertinggi (4,57 %) diperoleh pada konsentrasi 2 M dan waktu ekstraksi 60 menit. Spektrum FTIR mengonfirmasi adanya gugus Si–O–Si dan N–H yang mengindikasikan terbentuknya ammonium silikat. Secara keseluruhan, kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi NH₄OH 2 M dengan waktu ekstraksi 60–75 menit. Pupuk cair ammonium silikat yang dihasilkan berpotensi sebagai pupuk berbasis silikat ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas tanaman pertanian.

Kata Kunci: *sekam padi, amonium silikat, ekstraksi silika, nh₄oh, pupuk cair*

1. Pendahuluan

Industri pertanian global menghasilkan sekitar 150 juta ton sekam padi setiap tahun [1]. Salah satu negara yang mayoritas penduduknya bertani yaitu Indonesia. Hasil penggilingan padi di Indonesia menghasilkan limbah yang cukup banyak berkisar antara 20 % - 30 % [2]. Namun, pemanfaatan limbah ini masih belum optimal. Banyak orang memanfaatkan limbah sekam padi menjadi briket arang sekam [3]. Jika dilakukan dengan cara yang salah, pembuatan briket arang sekam ini berpotensi mencemari udara, sehingga perlu dilakukan alternatif pengolahan yang lain agar tidak mencemari lingkungan. Pada limbah sekam padi terdapat kandungan silika yang dapat mengatasi tanaman yang mengalami gagal panen. Salah satu metode paling efektif untuk mengurangi stres abiotik penyebab gagal panen pada tanaman pertanian yaitu dengan pemberian nutrisi yaitu silika. Stres abiotik pada tanaman yaitu kondisi dimana pertumbuhan tanaman terhambat yang disebabkan oleh faktor lingkungan seperti kekeringan, sinar matahari, dan kadar garam yang meningkat atau berkurang [4]. Limbah sekam padi dapat mendukung banyak tanaman yang masih kekurangan nutrisi, terutama di wilayah tertentu [5]. Silikat yang terlarut dalam organ tanaman dapat meningkatkan ketahanan terhadap penyakit yang menyerang tanaman. Setelah terinfeksi penyakit, silikat membantu banyak tanaman menjadi lebih tahan terhadap patogen [6].

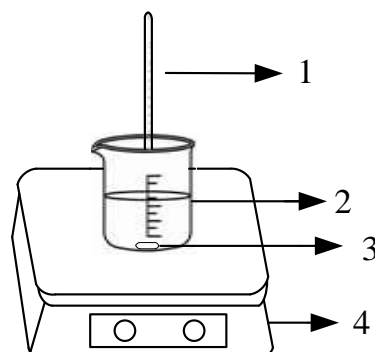
Industri pupuk di dunia mengalami kemajuan yang signifikan. Banyak negara maju seperti Inggris, Amerika Serikat, Prancis, Italia, Jerman, dan Jepang mengalami kemajuan yang pesat dalam memproduksi pupuk [7]. PT. Pupuk Indonesia menduduki peringkat 71 dalam peringkat perusahaan yang paling berpengaruh di Asia Tenggara, yang menunjukkan bahwa industri pupuk Indonesia juga mengalami kemajuan seperti negara lain. Salah satu pupuk yang banyak diproduksi di Indonesia yaitu pupuk NPK. Pupuk NPK adalah pupuk majemuk yang mengandung unsur nitrogen, fosfor, dan kalium [8]. Pupuk ini tidak dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit karena tidak adanya unsur silika. Namun, salah satu unsur dalam pupuk NPK, yaitu nitrogen, berperan penting dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman [9]. Nitrogen sangat berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman karena memiliki fungsi penting dalam proses fotosintesis dan pembentukan protein [10]. Oleh karena itu, kombinasi unsur nitrogen dan silikat sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman sekaligus meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Penelitian mengenai pupuk silikat sudah banyak dilakukan [11]. Silikat biasanya diekstraksi menggunakan pelarut basa yaitu larutan natrium hidroksida [12] [13]. Selain menggunakan pelarut natrium hidroksida, banyak juga yang menggunakan pelarut basa lainnya seperti larutan kalium hidroksida [14]. Meskipun telah banyak penelitian mengenai pembuatan pupuk silikat, belum ada yang mengembangkan pupuk dengan kombinasi unsur hara nitrogen dan silikat. Padahal, kombinasi kedua unsur ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan pertumbuhan dan kualitas tanaman. Silika amorf dapat ditemukan dalam berbagai sumber, salah satunya adalah abu sekam padi [15]. Penelitian ekstraksi silika telah banyak dilakukan [16]. Namun, penelitian ini memiliki keunikan berupa penggabungan kandungan silika untuk meningkatkan hasil panen dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit, serta nitrogen sebagai bahan pembentuk asam amino, klorofil, dan protein pada tanaman [17].

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah beaker glass, termometer, magnetic stirrer hotplate, magnetic stirrer bar, neraca analitik, furnace, cawan porselen, kertas saring Whatman No.41, gelas ukur, corong kaca, batang pengaduk, dan labu ukur. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi yang berasal dari Kecamatan Driyorejo di Kabupaten Gresik, NH_4OH 25 % (T&T Chemical), dan aquadest.



Gambar 1: Rangkaian Alat Ekstraksi

Keterangan :

1. Termometer
2. Beaker Glass
3. Magnetic Stirrer Bar
4. Magnetic Stirrer Hotplate

Preparasi Abu Sekam Padi

Sekam padi yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam cawan porselen, kemudian cawan diletakkan di dalam furnace. Suhu furnace diatur hingga mencapai $900\text{ }^\circ\text{C}$ dan dipertahankan selama proses pengabuan. Setelah suhu furnace mencapai $900\text{ }^\circ\text{C}$, pembakaran dilanjutkan selama 3 jam untuk memastikan dekomposisi sempurna material organik dalam sekam padi. Setelah proses pengabuan selesai, furnace dibiarkan mendingin secara alami sebelum abu dikeluarkan dan disimpan untuk tahap selanjutnya.

Analisis Kandungan Bahan Baku Sekam Padi Dengan Uji X-Ray Fluorescence (XRF)

Proses pengujian ini dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang. Uji X-Ray Fluorescence (XRF) ini digunakan untuk mengetahui kadar unsur-unsur dan senyawa kimia yang terkandung dalam sampel abu sekam padi dalam satuan persentase (%).

Preparasi Larutan NH₄OH

Larutan amonium hidroksida (NH₄OH) disiapkan dengan cara mengencerkan NH₄OH 25 % menggunakan aquadest hingga diperoleh konsentrasi (1; 1,25; 1,5; dan 2) M. Proses dimulai dengan memasukkan volume NH₄OH 25 % sesuai hasil perhitungan ke dalam labu ukur. Selanjutnya, aquadest ditambahkan hingga mencapai tanda batas volume pada labu ukur. Setelah itu, larutan dikocok secara perlahan untuk memastikan tercapainya homogenitas.

Proses Ekstraksi Silika

Abu sekam padi yang sudah siap ditimbang sebanyak 24 gram menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker. Selanjutnya, larutan NH₄OH sebanyak 300 ml dengan konsentrasi (1; 1,25; 1,5; dan 2) M yang telah disiapkan ditambahkan ke dalam gelas beaker yang berisi abu. Kemudian, magnetic stirrer bar dimasukkan, lalu beaker ditutup untuk mencegah penguapan, dan termometer dipasang untuk memantau suhu. Beaker kemudian diletakkan di atas magnetic stirrer hotplate dan dilakukan proses ekstraksi dengan suhu 90 °C dan kecepatan pengadukan sebesar 200 rpm selama (60, 75, 90, dan 120) menit. Setelah proses ekstraksi selesai, larutan disaring untuk memperoleh filtrat sebagai hasil ekstraksi silika.

Analisis Kandungan Silika (Si) dan Nitrogen (N)

Proses pengujian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi, Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Surabaya. Analisis kandungan unsur silika (Si) dilakukan dengan menggunakan uji gravimetri. Uji gravimetri ini digunakan untuk menentukan kadar unsur silika (Si) dalam sampel melalui pengendapan dan penimbangan massa hasil reaksi yang terbentuk. Sementara itu, analisis kandungan unsur nitrogen (N) dilakukan dengan menggunakan uji kjeldahl. Uji kjeldahl ini digunakan untuk menentukan kadar unsur nitrogen (N) dalam sampel yang umumnya dikonversi menjadi kandungan protein.

Analisis Gugus Fungsi Dengan Uji Fourier Transform Infrared (FTIR)

Proses pengujian ini dilakukan di Unit Layanan Pengujian, Fakultas Farmasi, Universitas Airlangga. Uji Fourier Transform Infrared (FTIR) ini digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia yang terkandung dalam filtrat hasil ekstraksi berdasarkan pola serapan spektrum inframerah pada rentang panjang gelombang tertentu.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi senyawa kimia dalam abu sekam padi dilakukan menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa-senyawa yang terdapat dalam abu sekam padi. Data yang dihasilkan disajikan dalam bentuk persen berat (% wt) yang menunjukkan kadar masing-masing senyawa terhadap total massa sampel. Hasil pengujian XRF ditampilkan pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Pada Abu Sekam Padi

Komponen	% Berat
SiO ₂	83,1
P ₂ O ₅	2,1
SO ₃	1,5
K ₂ O	7,16
CaO	3,21
TiO ₂	0,14
MnO	0,26
Fe ₂ O ₃	0,435
NiO	0,006
CuO	0,038
ZnO	0,037
MoO ₃	1,7
BaO	0,06
Eu ₂ O ₃	0,05
Yb ₂ O ₃	0,02
Re ₂ O ₇	0,06

Hasil analisis menggunakan metode X-Ray Fluorescence (XRF), sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**, menunjukkan bahwa komponen utama dalam abu sekam padi adalah silikon dioksida (SiO_2), dengan kandungan sebesar 83,1 % berat. Tingginya kandungan SiO_2 tersebut mengindikasikan bahwa abu sekam padi memiliki potensi yang signifikan sebagai sumber silika. Oleh karena itu, material ini dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai bahan baku dalam proses ekstraksi silika. Selain itu, kandungan silika yang tinggi menjadikan abu sekam padi berpotensi untuk diaplikasikan dalam sintesis produk berbasis silikat, seperti pupuk cair amonium silikat.

Pengaruh Konsentrasi NH_4OH dan Waktu Ekstraksi terhadap Kandungan Silika (Si)

Karakterisasi kandungan silika dalam abu sekam padi dilakukan menggunakan metode gravimetri. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar silika (Si) berdasarkan hasil pengendapan dan penimbangan massa padatan yang terbentuk. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk persen berat (% wt), yang merepresentasikan kadar silika terhadap total massa sampel. Hasil pengujian gravimetri ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Uji Gravimetri Pada Amonium Silikat

Konsentrasi NH_4OH (M)	Waktu Ekstraksi (menit)	Kadar Silika (%)	Massa Silika yang terekstrak (gr)	Silika terekstrak (%)
1	60	0,16	0,5824	1,46
	75	0,18	0,6552	1,64
	90	0,14	0,5096	1,28
	120	0,096	0,3494	0,88
1,25	60	0,19	0,6916	1,73
	75	0,21	0,7644	1,92
	90	0,099	0,3604	0,90
	120	0,021	0,0764	0,19
1,5	60	0,18	0,6552	1,64
	75	0,19	0,6916	1,73
	90	0,059	0,2148	0,54
	120	0,14	0,5096	1,28
2	60	0,22	0,8008	2,01
	75	0,24	0,8736	2,19
	90	0,044	0,1602	0,40
	120	0,034	0,1238	0,31

Berdasarkan data yang disajikan pada **Tabel 2**, kadar silika hasil ekstraksi selama 60 menit dengan variasi konsentrasi larutan NH_4OH sebesar 1 M, 1,25 M, 1,5 M, dan 2 M masing-masing diperoleh sebesar 0,16 %; 0,19 %; 0,18 %; dan 0,22 %. Terlihat bahwa peningkatan konsentrasi NH_4OH cenderung meningkatkan kadar silika yang berhasil diekstraksi dari abu sekam padi. Pola serupa juga terjadi pada waktu ekstraksi 75 menit, dengan kadar silika masing-masing sebesar 0,18 %; 0,21 %; 0,19 %; dan 0,24 % untuk konsentrasi yang sama. Kadar silika yang lebih tinggi pada waktu ekstraksi 75 menit dibandingkan 60 menit menandakan bahwa waktu ekstraksi turut berperan dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi silika. Hal tersebut juga dapat dilihat dari data persen silika yang terekstrak pada konsentrasi 2 M dengan waktu 60 menit dan 75 menit yaitu sebesar 2,01 % dan 2,19 %. Namun, pada waktu ekstraksi 90 menit dan 120 menit, kadar silika yang diperoleh mengalami penurunan dan menunjukkan tendensi yang fluktuatif. Fenomena tersebut terjadi akibat adanya proses adsorpsi amonia oleh abu sekam padi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [18], peningkatan waktu kontak antara abu sekam padi dengan senyawa amonia dapat memperbesar kapasitas adsorpsi amonia pada material tersebut. Penelitian tersebut juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [19], yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara biokarbon dari sekam padi dengan larutan amonium akan meningkatkan kemampuan biokarbon dalam mengadsorpsi ion amonium. Kondisi tersebut yang menyebabkan menurunnya kadar silika yang diperoleh seiring bertambahnya waktu reaksi, karena berkurangnya jumlah ion amonium yang dapat menghambat proses pemutusan ikatan Si–O pada struktur silika. Rendahnya kadar silika secara

keseluruhan dapat dikaitkan dengan sifat NH_4OH sebagai basa lemah yang tidak terionisasi sempurna [20], sehingga jumlah ion OH^- yang terbentuk terbatas dan kurang efektif dalam memutus ikatan Si–O dalam struktur silika abu sekam padi. Hal ini menyebabkan proses ekstraksi silika menjadi kurang maksimal meskipun konsentrasi NH_4OH ditingkatkan. Jumlah ion OH^- yang terbentuk tidak sebanding dengan kebutuhan reaksi untuk melarutkan silika secara efisien, sehingga reaksi berlangsung secara lambat dan tidak optimal.

Pengaruh Konsentrasi NH_4OH dan Waktu Ekstraksi terhadap Kandungan Nitrogen (N)

Karakterisasi kandungan nitrogen dalam sampel dilakukan menggunakan metode Kjeldahl. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar nitrogen total yang terkandung dalam bahan, yang berperan penting dalam menilai potensi nutrisi dari suatu pupuk seperti pupuk cair. Data hasil analisis disajikan dalam satuan persen berat (% wt), yang merepresentasikan kadar nitrogen terhadap total massa sampel. Hasil pengujian Kjeldahl ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Kjeldahl Pada Amonium Silikat

Konsentrasi NH_4OH (M)	Waktu Ekstraksi (menit)	Kadar Nitrogen (%)
1	60	1,98
	75	1,57
	90	1,94
	120	1,52
1,25	60	2,66
	75	4,51
	90	1,84
	120	1,41
1,5	60	3,81
	75	3,44
	90	2,13
	120	1,82
2	60	4,57
	75	1,6
	90	2,31
	120	1,44

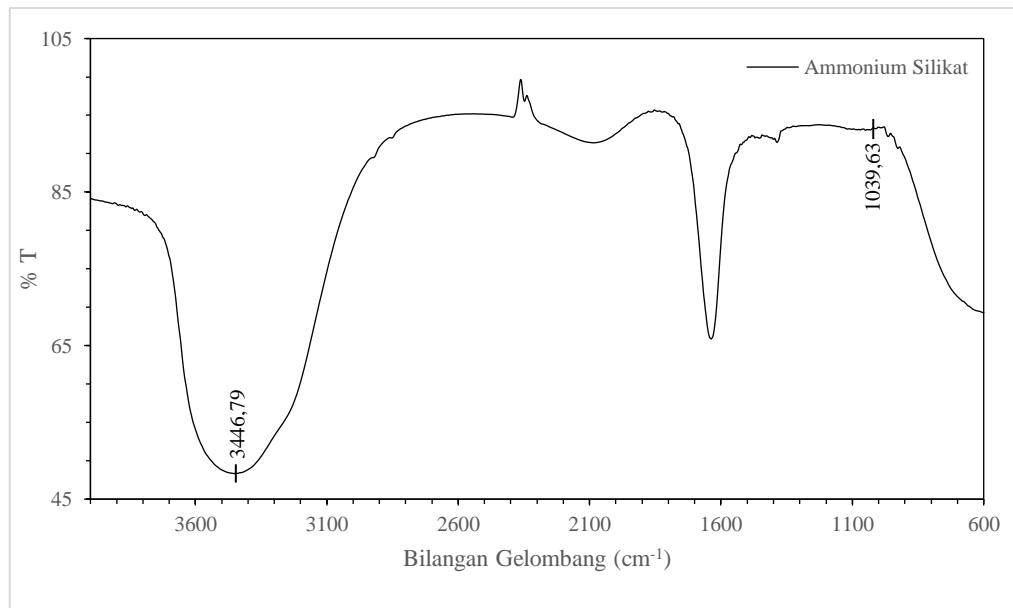
Berdasarkan data yang ditampilkan pada **Tabel 3**, diketahui bahwa semakin lama waktu ekstraksi, kadar nitrogen yang dihasilkan cenderung menurun. Pada konsentrasi NH_4OH 1,5 M, kadar nitrogen menunjukkan penurunan seiring bertambahnya waktu ekstraksi, yaitu sebesar 3,81 %; 3,44 %; 2,13 %; dan 1,82 % masing-masing untuk waktu 60, 75, 90, dan 120 menit. Penurunan ini menandakan bahwa waktu ekstraksi yang terlalu lama dapat menyebabkan teradsorpsinya ion amonium oleh abu sekam padi. Fenomena ini diperkuat oleh penelitian [19] yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara ion amonium dengan biokarbon dari sekam padi maka semakin besar kapasitas adsorpsi ion amonium pada material tersebut. Kondisi ini mengakibatkan kandungan nitrogen dalam amonium silikat menurun, karena sebagian ion amonium yang seharusnya bereaksi justru terikat pada permukaan abu sekam padi. Di sisi lain, peningkatan konsentrasi NH_4OH menunjukkan hubungan positif terhadap kadar nitrogen yang diperoleh.

Pada waktu ekstraksi 60 menit, peningkatan konsentrasi NH_4OH dari 1 M hingga 2 M menghasilkan peningkatan kadar nitrogen secara yaitu 1,98 %; 2,66 %; 3,81 %; dan 4,57 %. Tren serupa juga diamati pada waktu ekstraksi 90 dan 120 menit, yang menandakan bahwa semakin tinggi konsentrasi NH_4OH , maka semakin besar kadar nitrogen yang ada dalam amonium silikat. Namun, fenomena berbeda terjadi pada waktu ekstraksi 75 menit, di mana kadar nitrogen mengalami peningkatan pada konsentrasi 1,25 M, tetapi justru menurun pada konsentrasi 1,5 M dan 2 M. Menurut [21] yang menyebutkan bahwa amonia memiliki sifat volatil yang tinggi, sehingga mudah mengalami perpindahan dari fase cair ke fase gas. Pada konsentrasi NH_4OH yang lebih tinggi, volatilitas amonia terjadi lebih cepat dan intens, sehingga jumlah nitrogen dalam bentuk amonia menguap selama proses ekstraksi berlangsung. Akibatnya, nitrogen yang

tertinggal dalam larutan menurun dan kadar nitrogen yang didapatkan pada amonium silikat menjadi lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun peningkatan konsentrasi NH_4OH dapat meningkatkan reaktivitas awal, namun kehilangan nitrogen akibat penguapan menjadi faktor pembatas dalam proses ekstraksi silika. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian terhadap parameter proses seperti suhu, waktu, dan konsentrasi NH_4OH untuk meminimalkan hilangnya nitrogen akibat volatilitas amonia.

Karakterisasi Amonium Silikat Dengan Fourier Transform Infrared (FTIR)

Ammonium silikat yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR (Fourier transform infrared). Hal ini memungkinkan analisis spektrum getaran molekul tertentu yang ditemukan dalam sampel. Spektrum gelombang ammonium silikat sintesis ditampilkan dalam panjang gelombang (wavenumber) dengan satuan cm^{-1} , dan intensitas pita serapan ditampilkan dalam persentase transmisi (%T). Spektrum gelombang ini ditampilkan dalam gambar berikut.



Gambar 2: Spektrum FTIR pada Ammonium Silikat Hasil Sintesis

Berdasarkan **Gambar 2**, dapat diketahui bahwa senyawa ammonium silikat berhasil disintesis. Hal tersebut dapat dilihat puncak pada titik $3446,79 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya N–H (NH stretch) yang umum ditemukan pada gugus heterocyclic amine atau senyawa yang mengandung gugus amina [22]. Hal tersebut juga menunjukkan kehadiran gugus amonium (NH_4^+) dalam struktur ammonium silikat yang memperkuat bahwa nitrogen dari larutan NH_4OH terikat dalam struktur senyawa ammonium silikat. Selain itu, keberadaan puncak pada spektrum FTIR di sekitar $1039,63 \text{ cm}^{-1}$, meskipun tidak terlalu jelas akibat rendahnya kandungan silika yang berada di bawah 1 %, tetap menunjukkan adanya ikatan Si–O–Si, yang merupakan ciri khas dari gugus siloksan (silicone or organic siloxane). Bilangan gelombang ini berada dalam rentang referensi $1020\text{--}1055 \text{ cm}^{-1}$ [22] yang umum ditemukan pada struktur silikat atau senyawa anorganik berbasis silika. Puncak tersebut juga menunjukkan bahwa silika dari abu sekam padi mengalami pembentukan senyawa berbasis silikat.

4. Kesimpulan

Pupuk cair ammonium silikat berhasil disintesis dengan menunjukkan adanya kandungan nitrogen dan silika dalam larutan hasil ekstraksi. Kandungan nitrogen tertinggi diperoleh pada konsentrasi NH_4OH 2 M dengan waktu ekstraksi 60 menit sebesar 4,57%, yang telah memenuhi standar minimum kandungan nitrogen ($\geq 4\%$) sesuai SNI 02-6681-2002. Sementara itu, kandungan silika tertinggi sebesar 0,24% diperoleh pada konsentrasi NH_4OH 2 M dengan waktu ekstraksi 75 menit, namun masih jauh di bawah batas minimal kandungan silika ($\geq 4\%$) yang ditetapkan dalam SNI. Uji FTIR juga menunjukkan adanya gugus Si–O–Si dan –NH, yang mengindikasikan bahwa senyawa ammonium silikat telah terbentuk dalam larutan. Secara umum, peningkatan konsentrasi NH_4OH berbanding lurus dengan peningkatan kadar nitrogen, sedangkan peningkatan kadar silika hanya terjadi hingga titik optimum sebelum menurun akibat volatilitas amonia. Berdasarkan hasil ini, kondisi optimal diperoleh pada konsentrasi NH_4OH 2 M dengan waktu ekstraksi 60–75 menit.

5. Saran

Penulis menyarankan untuk melakukan variasi terhadap suhu operasi untuk menentukan suhu optimum yang efektif digunakan saat proses ekstraksi silika dengan pelarut ammonium hidroksida. Hal tersebut dikarenakan stabilitas amonium harus dipertahankan karena sifat volatil ammonia yang mempengaruhi kadar nitrogen dan silika. Dengan pengaturan suhu yang tepat, diharapkan kehilangan nitrogen akibat penguapan dapat diminimalkan dan efisiensi ekstraksi silika dapat ditingkatkan. Penyesuaian ini penting dilakukan agar pupuk cair ammonium silikat yang dihasilkan dapat memenuhi standar mutu dan memberikan manfaat maksimal di industri pertanian.

6. Daftar Pustaka

- [1] S. Yan, D. Yin, and F. He, "Characteristics of smoldering on moist rice husk for silica production," *Sustain.*, vol. 14, no. 1, 2022, doi: 10.3390/su14010317.
- [2] N. Rochmah, B. Sutriyono, M. Beatrix, and D. Pertiwi, "Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete," *Axial J. Rekayasa Dan Manaj. Konstr.*, vol. 10, no. 1, p. 019, 2022, doi: 10.30742/axial.v10i1.2172.
- [3] N. A. Sutisna, F. Rahmiati, and G. Amin, "Optimalisasi Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Briket Arang Sekam untuk Menambah Pendapatan Petani di Desa Sukamaju, Jawa Barat," *Agro Bali Agric. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 116–126, 2021, doi: 10.37637/ab.v4i1.691.
- [4] A. Pareek, S. K. Sopory, H. J. Bohnert, and Govindjee, *Abiotic Stress Adaptation In Plants*. Dordrecht: Springer, 2010.
- [5] V. V. Kumari *et al.*, "Plant Nutrition: An Effective Way to Alleviate Abiotic Stress in Agricultural Crops," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 15, 2022, doi: 10.3390/ijms23158519.
- [6] K. K. Verma *et al.*, "Influence of silicon on biocontrol strategies to manage biotic stress for crop protection, performance, and improvement," *Plants*, vol. 10, no. 10, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/plants10102163.
- [7] D. Xu *et al.*, "The development road of ammonium phosphate fertilizer in China," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 41, no. 1, pp. 170–175, 2022, doi: 10.1016/j.cjche.2021.08.015.
- [8] M. Arief and Nursangadji, "Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica Juncea L.*) Pada Berbagai Dosis Pupuk NPK," *J. Agrotekbis*, vol. 10, no. 5, pp. 727–733, 2022.
- [9] R. Kumar *et al.*, "Coupling Effects of Nitrogen and Irrigation Levels on Growth Attributes, Nitrogen Use Efficiency, and Economics of Cotton," *Front. Plant Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–12, 2022, doi: 10.3389/fpls.2022.890181.
- [10] Q. Xiong, J. Hu, H. Wei, H. Zhang, and J. Zhu, "Relationship between plant roots, rhizosphere microorganisms, and nitrogen and its special focus on rice," *Agric.*, vol. 11, no. 3, pp. 1–18, 2021, doi: 10.3390/agriculture11030234.
- [11] S. Zainal, R. H. Tajuddin, and N. F. M. Yusof, "Synthesis and Characterization of Liquid-Silicate Fertilizer From Treated and Untreated Ash Rice Husk," *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 28, no. 1, pp. 1–9, 2024.
- [12] M. Riza, Fachraniah, and Syafruddin, "Pembuatan Silika Gel dari Abu Sekam Padi dengan Pereaksi Asam Kuat dan Asam Lemah dengan Menggunakan Variasi Jumlah Abu Silikat," *J. Teknol.*, vol. 22, no. 2, pp. 55–62, 2022, doi: 10.30811/teknologi.v22i2.3116.
- [13] E. A. P. Putra, A. Makmur, Rahmayanti, and A. Malau, "Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi NaOH Pada Ekstraksi Silika (SiO₂) Dari Limbah Fly Ash Batubara," *J. Teknol. Kim. Miner.*, vol. 1, no. 2, pp. 56–59, 2022.
- [14] R. Putri, R. Mulyawan, N. ZA, Suryati, and R. Nurlaila, "Karakteristik Silika Dari Sekam Padi Berdasarkan Variasi Waktu Dan Suhu Pembakaran," *Semin. Nas. Fak. Tek. Univ. Malikussaleh*, vol. 1, no. 1, pp. 906–911, 2022.
- [15] P. U. Nzereogu, A. D. Omah, F. I. Ezema, E. I. Iwuoha, and A. C. Nwanya, "Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications," *Hybrid Adv.*, vol. 4, no. October, p. 100111, 2023, doi: 10.1016/j.hybadv.2023.100111.
- [16] B. S. Todkar, O. A. Deorukhkar, and S. M. Deshmukh, "Extraction of Silica from Rice Husk," *Int. J. Eng. Res. Dev.*, vol. 12, no. 3, pp. 69–74, 2016, doi: 10.1042/cs0840231.
- [17] D. R. Nurhayati, *Pengantar Nutrisi Tanaman*. Solo: UNISRI PRESS, 2021.
- [18] W. Bai *et al.*, "Rice husk-based adsorbents for removing ammonia: Kinetics, thermodynamics and adsorption mechanism," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 4, p. 105793, 2021, doi: 10.1016/j.jece.2021.105793.

- [19] K. S. A. Sohaimi, N. I. Iberahim, A. A. Ghani, Z. Zamrud, and C. W. Heng, "Ammonium Adsorption - Desorption Using Rice Husk Biochar," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 765, no. 1, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/765/1/012061.
- [20] D. W. Ball and J. A. Key, *Introductory Chemistry*. Victoria: Pressbooks, 2014.
- [21] A. A. Amini, I. Purnamasari, and E. Dewi, "Pengurangan Kadar Ammonia dalam Limbah Cair Pupuk pada Jet Bubble Column Menggunakan NaOH," *J. Serambi Eng.*, vol. X, no. 2, pp. 12766–12775, 2025.
- [22] J. Coates, "Interpretation Of Infrared Spectra, A Practical Approach," *Encyclopedia Of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 10815–10837, 2000.