

## Respon bibit kelapa sawit terhadap aplikasi urea berlapis zeolit sebagai pupuk slow release nitrogen

Valensi Kautsar <sup>a,1,\*</sup>, Hangger Gahara Mawandha <sup>a,2</sup>, Aldymas Bimantara <sup>a,3</sup>

<sup>a</sup>Institut Pertanian Stiper, Indonesia;

<sup>1</sup> [valkauts@gmail.com](mailto:valkauts@gmail.com); <sup>2</sup> [hangger@instiperjogja.ac.id](mailto:hangger@instiperjogja.ac.id); <sup>3</sup> [aldymasbimantara@gmail.com](mailto:aldymasbimantara@gmail.com)

\*Correspondent Author

Received:

Revised:

Accepted:

### KATAKUNCI

Lepas lambat  
Lepas cepat  
Zeolit  
Pembibitan utama  
Efisiensi pupuk

### KEYWORDS

Slow release  
Fast release  
Zeolites  
Main nursery  
Fertilizer efficiency

### ABSTRAK

Nitrogen merupakan unsur hara esensial, oleh karenanya ketersediaan nitrogen anorganik sangat penting dalam mendukung perkembangan bibit kelapa sawit. Adanya sifat urea yang lepas cepat, menyebabkan urea mudah hilang sebelum diserap oleh tanaman. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengubah sifat urea dari lepas cepat menjadi lepas lambat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas pelapisan urea dengan zeolit dengan metode yang mudah. Urea dengan lapisan zeolit dibandingkan dengan urea tanpa lapisan zeolit selama tiga bulan aplikasi pemupukan bibit sawit main nursery. Penelitian ini menggunakan dua jenis zeolit yaitu zeolit non aktivasi dan zeolit aktivasi, dengan dua persentase yaitu 20% dan 40%. Adanya pelapisan zeolit menyebabkan penurunan higroskopisitas urea dan kelarutan urea pada larutan aquades. Selain itu pelapisan urea pada berbagai persentase dan berbagai tipe zeolit mampu menghasilkan pertumbuhan yang sama baiknya dengan pupuk urea tanpa zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa baik zeolit yang diaktivasi maupun non aktivasi dapat dimanfaatkan dalam pelapisan urea yang berdampak pada penurunan jumlah dosis urea yang digunakan dalam pembibitan.

### Abstract

Since nitrogen is an essential nutrient, the availability of inorganic nitrogen is important to support the development of oil palm seedlings. Due to the nature of urea which is released quickly, it is easily lost before it is absorbed by plants. Various attempts have been made to change the characteristics of urea from fast-release to slow-release. The main objective of this study was to determine the effectiveness of coating urea with zeolite in a convenient method. During the three-month fertilization application of oil palm seeds in the main nursery, urea with zeolite coating was compared with urea without zeolite coating. This study used two types of zeolites, namely non-active zeolite and active zeolite with two percentages, namely 20% and 40%. The presence of zeolite coating causes a decrease in the hygroscopicity and the solubility of urea in distilled water. Moreover, coating of urea at various percentages and various types of zeolites was able to produce growth that was as good as urea fertilizer without zeolite. This shows that both activated and non-activated zeolite can be utilized in coating urea which has an impact on reducing the amount of urea dose.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Pendahuluan

Nitrogen sangat diperlukan tanaman karena nitrogen merupakan unsur hara makro primer yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif seperti akar, batang, dan daun. Sebagai unsur makro primer, nitrogen diperlukan oleh tanaman dalam jumlah sangat besar, akan tetapi umumnya di dalam tanah jumlahnya sangat terbatas bahkan kurang. Di dalam tanaman, nitrogen berperan penting misalnya dalam pembentukan zat hijau (klorofil) yang sangat penting untuk proses fotosintesis [1]–[4].

Unsur N dapat dipenuhi melalui pupuk, salah satunya adalah urea namun urea memiliki beberapa kelemahan yaitu akan merusak tanah jika penggunaan berlebihan, penggunaan urea yang berlebihan akan mengakibatkan pemborosan biaya. Pupuk urea adalah pupuk yang bersifat lepas cepat (*fast-release*), sehingga efektifitasnya rendah dan tidak banyak diserap oleh tanaman. Oleh karenanya urea perlu dimodifikasi menjadi pupuk lepas lambat (*slow-release*), agar penyerapan oleh tanaman lebih efektif dan tidak banyak pupuk yang hilang akibat pencucian oleh air hujan atau mengalami penguapan [3]–[9].

Penelitian terdahulu menunjukkan nitrogen memiliki efisiensi yang sangat rendah. Sebagai contoh, efisiensi nitrogen pada tanaman padi di petani hanya sekitar 20-31% baik pada lahan irigasi maupun tadah hujan. Sementara pada tanaman lain seperti sayuran, tebu, dan jagung menunjukkan efektifitas serapan hanya berkisar 30-37%. Pada tanaman kelapa sawit dan karet efektifitas relatif lebih tinggi mencapai 40-50% [5], [6].

Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk membuat pupuk urea menjadi *slow-release* adalah zeolit [8], [10]–[12], [9]. Zeolit merupakan mineral alumina silikat hidrat yang tersusun atas tetrahedral alumina ( $AlO_4$ ) dan silika ( $SiO_4$ ) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berpori. Zeolit telah banyak digunakan sebagai penukar kation (*cation exchangers*), pelunak air (*water softening*), penyaring molekul (*molecular sieves*), sebagai bahan pengering (*drying agents*), adsorben, dan sebagai katalis atau pengemban katalis pada berbagai reaksi kimia [6], [7], [9], [10], [13], [14].

Zeolit memiliki kapasitas pertukaran kation (KPK) yang tinggi, utamanya setelah dilakukan aktivasi. Aktivasi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, diantaranya secara fisik dan kimia. Secara fisik, aktivasi zeolit dilakukan dengan cara pemanasan, sementara secara kimia, aktivasi dilakukan dengan penambahan asam sulfat dan natrium hidroksida [9], [10], [13], [14]. Penelitian Estiaty et al. [10] menunjukkan aktivasi dapat meningkatkan KPK zeolit sebesar 5%.

Karakteristik zeolit yang mampu mengikat ion dan melepaskannya secara lambat digunakan dalam pembuatan pupuk lepas lambat [9], [10], [14]–[17]. Zeolit merupakan bahan pelapis yang umum digunakan dalam membuat pupuk lepas terkontrol (*controlled release fertilizer*) atau pupuk lepas lambat (*slow-release fertilizer*). Hal ini disebabkan karena biaya yang relatif rendah dan sifat pertukaran kation yang melekat yang secara efektif dapat mengontrol laju pelepasan nutrisi [9], [12], [14], [16]. Zeolit yang dicampur dengan pupuk urea mengikat ammonium yang dilepaskan pupuk urea pada saat penguraian. Pengikatan akan lebih efektif jika jumlah zeolit yang dicampurkan ke dalam pupuk urea semakin banyak, karena kompleks jerapan yang dapat menangkap ammonium semakin banyak. Ammonium yang diserap zeolit tidak segera dilepas ke dalam larutan tanah selama jumlah persediaan ammonium dalam tanah masih tinggi. Setelah ammonium dalam tanah berubah menjadi nitrat, persediaan ammonium dalam rongga-rongga zeolit dilepaskan ke dalam larutan tanah. Sehingga zeolit berfungsi memperlambat proses perubahan ammonium menjadi nitrat [1], [4], [8], [10], [12], [14], [16], [17].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pupuk urea *slow-release* yang ditambahkan oleh zeolit, baik yang telah diaktivasi maupun belum diaktivasi dengan berbagai persentase penambahan zeolit, serta untuk mengetahui pengaruh pupuk urea yang ditambahkan zeolit baik yang sudah diaktivasi maupun yang belum diaktivasi terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit di pembibitan utama. Perakitan pupuk urea *slow-release* ini diharapkan dapat bermanfaat untuk para petani sawit dalam hal pemupukan, dan diharapkan

karena adanya pupuk urea *slow-release* ini dapat membantu tanaman kelapa sawit dalam memenuhi kebutuhan nitrogen yang dibutuhkan oleh kelapa sawit.

## Metode

Penelitian ini dilakukan antara bulan Juli dan September 2022 menggunakan perlakuan acak lengkap yang berupa Urea 100%, Urea 80% + zeolit belum diaktivasi 20%, Urea 60% + zeolit belum diaktivasi 40%, Urea 80% + zeolit sudah diaktivasi 20%, dan Urea 60% + zeolit sudah diaktivasi 40% yang diulang sebanyak 6 kali. Zeolit yang digunakan terlebih dahulu dihaluskan agar dapat secara optimal melapisi pupuk urea. Pelapisan urea dengan zeolit dilakukan dengan cara manual, yakni dengan mencampur urea dan zeolit sesuai dengan persentase yang ditentukan. Selanjutnya diberikan tepung kanji yang dilarutkan dengan air hangat. Jumlah larutan kanji yang ditambahkan disesuaikan dengan kemampuan ikatan antara urea dan zeolit. Pupuk yang terbentuk kemudian disortir yang memiliki ukuran sekitar 1-2 cm. Ukuran yang terlalu kecil dimungkinkan masih memiliki pelepasan hara yang cepat, sementara ukuran yang terlalu besar dimungkinkan memiliki pelepasan hara yang terlalu lama dan sulit untuk diaplikasikan merata di areal. Gambar urea yang terbentuk dapat dilihat pada [Gambar 1](#).



**Gambar 1.** Bentuk pupuk urea yang telah dilapisi dengan zeolit. Urea yang dilapisi zeolit aktif menunjukkan warna yang lebih gelap.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan tanah entisol lapisan atas (0-30 cm) yang diambil dari Kali Kuning Desa Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta. Polibag ukuran 40 x 40 cm yang sudah diisi tanah disiram air hingga mencapai kapasitas lapang. Polybag ditempatkan di dalam rumah kaca berukuran 6 x 6 m yang ditutup dengan plastik UV dan memiliki tinggi depan 2 meter dan tinggi belakang 1,5 meter. Setelah disemai di *pre-nursery* dengan polybag yang lebih kecil selama 3 bulan, bibit kelapa sawit dengan kondisi agronomis yang seragam dipilih untuk ditanam. Bibit kelapa sawit diberi air dua kali sehari, pagi dan sore hari. Proses penyiangan melibatkan pembersihan rutin gulma yang tumbuh di dalam dan sekitar polybag. Pengendalian hama dilakukan secara manual dengan cara dipetik.

Pemupukan urea baik dengan atau tanpa zeolit dilakukan tiap 3 minggu sekali untuk mengetahui pengaruh kemampuan *slow-release*, sementara pupuk P dan K diaplikasikan setiap 2 minggu sekali. Pupuk P yang digunakan adalah SP-36, sementara pupuk K berupa KCl. Pemupukan dilakukan mengikuti [Tabel 1](#), disesuaikan dengan umur bibit kelapa sawit:

**Tabel 1.** Dosis pemupukan urea, SP-36, dan KCl di pembibitan utama

Umur bibit (minggu)	Urea	SP-36	KCl
	g/polibag		

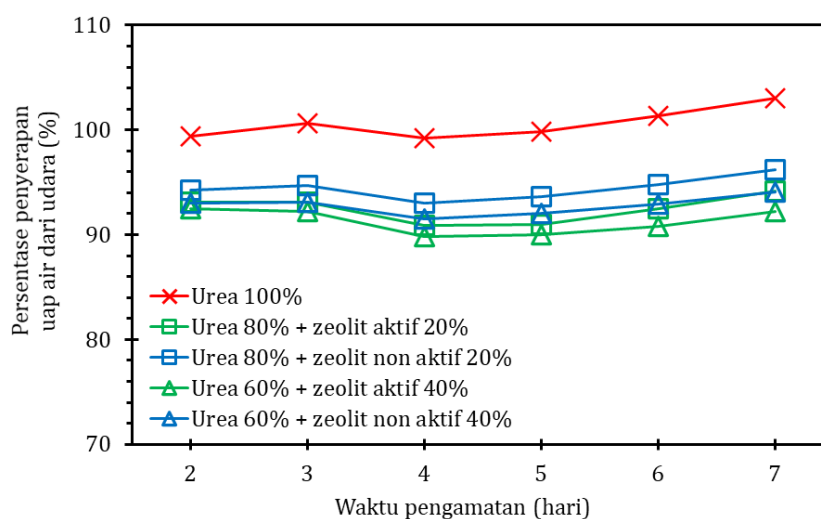
13 - 16 - 19	1,3		
13 - 15 - 17 - 19		1,67	1,42
22 - 25 - 28	1,96		
21 - 23 -25 - 27		2,50	2,13
31	2,61		
29 - 31		3,33	2,83
34 - 37 - 40	3,91		
33 - 35 - 37 - 39		5,00	4,25
43 - 46 - 49	4,70		
41 - 43 - 45 - 47 - 49 - 51		6,00	5,10

Untuk mengetahui perubahan higroskopisitas urea, dilakukan pengamatan daya serap uap air dari udara bebas dengan cara mengamati setiap 2 jam hingga 8 jam pertama. Uji pelarutan pupuk dilakukan dengan cara perendaman di aquades selama 24 jam, selanjutnya disaring untuk mendapatkan residu yang tidak terlarut, kemudian dikeringkan pada suhu 40°C dan ditimbang beratnya. Selain itu parameter tanaman yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, berat segar tajuk, berat kering tajuk, berat segar akar, berat kering akar, dan luas daun.

One-way ANOVA dilakukan untuk menentukan perbedaan antar perlakuan. Sebagai uji post hoc, digunakan uji Tukey HSD 5%. Semua analisis statistik dilakukan dengan menggunakan SPSS versi 26 (IBM Corp., Armonk, New York, USA).

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Daya serap uap air



**Gambar 2.** Daya serap uap air dari udara bebas

Pupuk urea menunjukkan penyerapan uap air paling besar dibandingkan perlakuan yang ditambahkan zeolit, baik yang diaktivasi maupun tidak pada berbagai persentase (Gambar 2). Hal ini menunjukkan sifat urea yang memang higroskopis, atau sangat mudah dalam menyerap uap air dari udara. Sifat ini memiliki kelebihan, yakni nitrogen akan cepat mengalami perubahan menjadi bentuk anorganik, baik dalam bentuk ammonium maupun nitrat yang dapat diambil tanaman. Akan tetapi kekurangan sifat urea yang higroskopis yakni pupuk akan sangat mudah larut, bahkan leaching bersama air, pupuk urea akan mudah membentuk gumpalan sehingga menyulitkan dalam aplikasi, dan akan memerlukan kehati-hatian dalam penyimpanan. Dengan penambahan zeolit non aktif, cenderung akan mampu menurunkan sifat higroskopisitas dari pupuk. Bahkan dengan penambahan zeolit aktif nilai penurunan jauh lebih

besar dibandingkan zeolit non aktif

## 2. Uji pelarutan pupuk

Uji pelarutan pupuk ditujukan untuk mengetahui kemampuan campuran urea dan zeolit dalam larutan air. Semakin sedikit pupuk yang terlarut, maka dimungkinkan semakin banyak urea yang bisa dilepaskan dalam waktu yang lebih lama. Dalam waktu 24 setelah perendaman menggunakan aquades, tanpa penambahan zeolit menyebabkan urea seluruhnya terlarut (Tabel 2). Hal ini disebabkan karena urea yang memiliki karakteristik cepat larut [7], [16]. Penambahan zeolit aktivasi baik 20% maupun 40% mampu menurunkan kelarutan pupuk menjadi hanya 46,7% dan 41,3% (Tabel 2). Nilai terbaik ditunjukkan pada perlakuan penambahan zeolit non aktif sebesar 20% yang menunjukkan kelarutan hanya sebesar 21,3% (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak zeolit yang ditambahkan dimungkinkan akan memperbesar kelarutan urea. Sehingga persentase zeolit yang ideal agar urea tidak mudah larut adalah sebesar 20%. Dibandingkan zeolit yang diaktivasi, zeolit yang belum diaktivasi justru menunjukkan persentase kelarutan yang lebih rendah. Meskipun zeolit yang sudah diaktivasi diketahui memiliki kapasitas pertukaran kation yang lebih tinggi, tetapi dalam penelitian ini ditemukan bahwa pemanfaatan zeolit non aktivasi menurunkan kelarutan urea lebih baik dibandingkan zeolit yang diaktivasi.

**Tabel 2.** Berat pupuk awal, akhir, dan yang terlarut setelah 24 jam pelarutan

Perlakuan	Berat pupuk (g)			Persentase terlarut (%)
	Awal	Akhir	Yang terlarut	
Urea 100%	5,00	0,00 e	5,00 a	100,0
Urea 80% + zeolit aktif 20%	5,00	2,66 d	2,34 b	46,7
Urea 80% + zeolit non aktif 20%	5,00	3,94 a	1,06 e	21,3
Urea 60% + zeolit aktif 40%	5,00	2,93 c	2,07 c	41,3
Urea 60% + zeolit non aktif 40%	5,00	3,17 b	1,83 d	36,6

Keterangan:

Angka yang diikuti notasi yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD 5%

## 3. Pertumbuhan tanaman sawit

Penambahan zeolit baik sudah diaktivasi maupun belum diaktivasi pada berbagai persentase menunjukkan tidak ada perbedaan nyata dibandingkan urea pada parameter tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun (Tabel 3). Hal ini menunjukkan dengan pemanfaatan zeolit, maka dosis aplikasi urea dapat diturunkan 20% atau 40% dari seharusnya dengan tetap menghasilkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun yang sama. Adanya penghematan dosis urea ini merupakan hal yang penting, karena dengan rendahnya dosis dan peningkatan efektifitas serapan bibit kelapa sawit, maka akan menghemat pupuk serta menurunkan potensi cemaran nitrogen ke lingkungan sekitar atau badan air [1], [2].

**Tabel 3.** Pengaruh pelapisan urea dengan zeolit terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan luas daun bibit kelapa sawit di pembibitan utama

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Luas daun (cm <sup>2</sup> )
Urea 100%	48,20 a	9,8 a	156,98 a
Urea 80% + zeolit aktif 20%	52,05 a	10,0 a	151,39 a
Urea 80% + zeolit non aktif 20%	47,33 a	9,7 a	156,42 a



Urea 60% + zeolit aktif 40%	51,18 a	10,0 a	156,28 a
Urea 60% + zeolit non aktif 40%	52,28 a	9,6 a	163,31 a

Keterangan:

Angka yang diikuti notasi yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD 5%

Hal yang sama juga ditunjukkan pada berat segar tajuk dan berat kering tajuk bibit kelapa sawit (Tabel 4). Penambahan zeolit mampu meningkatkan efisiensi dosis urea, hingga mencapai 40%. Sementara itu pada urea+zeolit non aktivasi sebesar 40% menunjukkan berat segar akar yang lebih tinggi dibandingkan urea+zeolit non aktivasi sebesar 20%. Hal ini dimungkinkan selama 3 bulan pengamatan, urea+zeolit non aktivasi 20% memiliki ikatan yang terlalu kuat, sehingga urea tidak mudah terlepas dan diambil tanaman. Hal yang sama juga ditunjukkan pada perlakuan Urea+ zeolit non aktivasi 20% yang memiliki berat kering akar yang lebih rendah dibandingkan Urea+zeolit aktif 40% (Tabel 4).

**Tabel 4.** Pengaruh pelapisan urea dengan zeolit terhadap berat segar dan berat kering bibit kelapa sawit di pembibitan utama

Perlakuan	Berat segar tajuk (g)	Berat kering tajuk (g)	Berat segar akar (g)	Berat kering akar (g)
Urea 100%	54,16 a	12,16 a	26,25 ab	6,22 ab
Urea 80% + zeolit aktif 20%	52,65 a	11,78 a	26,02 ab	7,17 ab
Urea 80% + zeolit non aktif 20%	56,39 a	13,05 a	19,43 b	4,98 b
Urea 60% + zeolit aktif 40%	53,86 a	12,55 a	30,34 ab	8,92 a
Urea 60% + zeolit non aktif 40%	72,86 a	10,64 a	49,75 a	7,53 ab

Keterangan:

Angka yang diikuti notasi yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey HSD 5%

Tachibana [18] dalam penelitiannya meninjau persentase pengurangan pemakaian pupuk nitrogen *slow-release* pada berbagai variasi tanaman untuk menggantikan pupuk nitrogen konvensional. Di sisi lain, untuk tanaman padi, diperoleh hasil peningkatan efisiensi penyerapan nitrogen dari pupuk menuju tanaman dari rata-rata 40% ke 80% yang berefek pada peningkatan hasil tanaman dari 4,45 ke 6,35 ton/ha.

Penelitian Jufri dan Rosjidi [19] menunjukkan bahwa pemanfaatan zeolit dengan dosis 70-80% hara N masih menghasilkan produksi padi yang sama dengan penggunaan pupuk konvensional atau rekomendasi. Dengan demikian pemakaian zeolit dapat menghemat pemakaian pupuk anorganik sebesar 20-50 persen.

## Simpulan

Penambahan zeolit mampu menurunkan higroskopisitas dan kelarutan urea dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit dapat dimanfaatkan dengan cara sederhana untuk melapisi urea dan mengubah urea dari pupuk *fast-release* menjadi *slow-release*. Penambahan zeolit juga mampu meningkatkan efisiensi urea. Dengan pencampuran zeolit, maka dosis urea 60% dan 80% menunjukkan pertumbuhan tanaman yang tidak berbeda nyata dengan penambahan urea 100%. Ke depan, pengembangan penelitian perlu diarahkan pada pemberdayaan petani sehingga petani memiliki kemampuan dalam melakukan pelapisan pupuk urea dengan zeolit dengan metode yang sederhana, tetapi hasil yang diperoleh tetap sama.

## Daftar Pustaka

- [1] C. J. Stevens, "Nitrogen in the environment," *Science*, vol. 363, no. 6427, pp. 578–580, Feb. 2019, doi: 10.1126/science.aav8215.
- [2] D. D. Myrold, "15 - Transformations of nitrogen," in *Principles and Applications of Soil Microbiology (Third Edition)*, T. J. Gentry, J. J. Fuhrmann, and D. A. Zuberer, Eds., Elsevier, 2021, pp. 385–421. doi: 10.1016/B978-0-12-820202-9.00015-0.
- [3] T. Rütting, H. Aronsson, and S. Delin, "Efficient use of nitrogen in agriculture," *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, vol. 110, no. 1, pp. 1–5, Jan. 2018, doi: 10.1007/s10705-017-9900-8.
- [4] M. Tegeder and C. Masclaux-Daubresse, "Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use," *New Phytol.*, vol. 217, no. 1, pp. 35–53, 2018, doi: 10.1111/nph.14876.
- [5] V. Balasubramanian *et al.*, "Crop, environmental and management factors affecting nitrogen use efficiency," *Agric. Nitrogen Cycle Assess. Impacts Fertil. Use Food Prod. Environ.*, pp. 19–33, 2004.
- [6] J. Chen *et al.*, "Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment," *Sci. Total Environ.*, vol. 613–614, pp. 829–839, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.186.
- [7] A. S. Giroto, G. G. Guimarães, L. A. Colnago, A. Klamczynski, G. Glenn, and C. Ribeiro, "Controlled release of nitrogen using urea-melamine-starch composites," *J. Clean. Prod.*, vol. 217, pp. 448–455, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.275.
- [8] P. Vejan, T. Khadiran, R. Abdullah, and N. Ahmad, "Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture," *J. Controlled Release*, vol. 339, pp. 321–334, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jconrel.2021.10.003.
- [9] Y. Zhang *et al.*, "Maize yield and soil fertility with combined use of compost and inorganic fertilizers on a calcareous soil on the North China Plain," *Soil Tillage Res.*, vol. 155, pp. 85–94, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.still.2015.08.006.
- [10] L. M. Estiaty, "Zeolit Alam Cikancra Tasikrnalaya Media Penyimpan Ion Amonium dari Pupuk Amonium Sulfat," *Pros. GEOTEKNOLOGI LIPI*, no. 0, Art. no. 0, 2007, Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: <https://jrisetgeotam.lipi.go.id/index.php/proceedings/article/view/945>
- [11] J. Dixon, "Roles of clays in soils - Google Scholar," in *Applied Clay Science*, 5th ed.1991, pp. 489–503.
- [12] D. Lawrenciana *et al.*, "Controlled Release Fertilizers: A Review on Coating Materials and Mechanism of Release," *Plants*, vol. 10, no. 2, Art. no. 2, Feb. 2021, doi: 10.3390/plants10020238.
- [13] D. Peterson, "Influence of presorbed water on the sorption of nitrogen by zeolites at ambient temperatures," *Zeolites*, vol. 1, no. 2, pp. 105–112, Jul. 1981, doi: 10.1016/S0144-2449(81)80023-1.
- [14] A. Lateef *et al.*, "Synthesis and characterization of zeolite based nano-composite: An environment friendly slow release fertilizer," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 232, pp. 174–183, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.micromeso.2016.06.020.
- [15] C. Sangeetha and P. Baskar, "Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review," *Agric. Rev.*, 2016, Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18805/ar.v0i0of.9627>
- [16] A. Dubey and D. R. Mailapalli, "Zeolite coated urea fertilizer using different binders: Fabrication, material properties and nitrogen release studies," *Environ. Technol. Innov.*, 2019, Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: <https://10.1016/j.eti.2019.100452>
- [17] N. Aina *et al.*, "Response of corn plants (*Zea mays* L.) to application of zeolite coated urea as nitrogen slow release fertilizer," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 484, no. 1, p. 012091, Apr. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/484/1/012091.
- [18] Tachibana, "Chisso Asahi Fertilizer Co., Ltd. Annual Report," Tokyo, 2007.
- [19] A. Jufri and M. Rosjidi, "Pengaruh Zeolit Dalam Pupuk Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Padi Sawah Di Kabupaten Badung Provinsi Bali," *J. Sains Dan Teknol. Indones.*, vol. 14, no. 3, p. 131622, 2012, doi: 10.29122/jsti.v14i3.921.