

Respon Pemberian Asap Cair dan Zeolit Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi

Response of Wood Vinegar and Zeolite to Rice Plant Growth and Yield

Victor Bintang Panunggul¹, Suwali²

^{1,2} Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Perwira Purbalingga, Jl. Letjen S Parman No.53, Kedung Menjangan, Kec. Purbalingga, Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah 53316

E-mail: victorbintang92@gmail.com

Article Submitted: 05 Desember 2022

Article Accepted: 29 Desember 2022

ABSTRACT

Natural fertilizer is one of the alternatives to support environmentally friendly food security programs and is expected to increase rice crop production. The purpose of this study is to determine the effect of liquid smoke and zeolite on the growth and yield of rice plants. The research was conducted in Pegalongan Village, Patikraja District, Banyumas Regency. The study has been carried out in April - July 2022. The study was studied using a Randomized Design Kelopok (RAK) factorial pattern consisting of two factors. The first factor consists of D_0 = control (no treatment), D_1 =10mL/L water per polybag, D_2 =20 mL/L water per polybag. While the second factor consists of Z_0 = 0kg / ha per polybag (without application), Z_1 = 25 kg / ha, Z_2 = 50 kg / ha. The results of liquid smoke on the growth variable had a marked-effect effect on the number of leaves at a dose of 20 mL of 20,21 clumps. Meanwhile, the variable observation of results has no real effect. The application of zeolite to plant growth had a significant effect on the observation of plant height and the number of saplings with a treatment of 50 kg / ha of 49,7 cm² and 21,22 clumps. The application of zeolite has a noticeable effect on seed weight per plant and per effective with a treatment of 50 kg / ha of 7,16 g and 26,88 g.

Key words:: Rice, wood vinegar, zeolite

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) telah menjadi tanaman pangan lebih dari populasi dunia. Padi sebagai pangan nabati dikonsumsi oleh sekitar 90% (Donggulo et al., 2017) dari total populasi Indonesia untuk pangan pokok sehari-hari. Sektor pertanian bertanggung jawab untuk menyediakan ketahanan pangan berbasis produksi dalam negeri dengan penggunaan air, tanah, dan lainnya secara ilmiah dan efisien sumber daya dan perlindungan sumber daya alam (Ahmadvandi et al., 2021).

Peningkatan hasil produktivitas padi dengan 0,25 ton/ha atau 0,30 ton/ha gabah kering panen (GKP) (Setiyanto & Pabuayon, 2020). Provinsi Jawa Tengah tahun 2017 memiliki produksi gabah sebesar 11.396.253. Sedangkan 2018 memiliki potensi hasil padi sebesar 9.512,43 ton (BPS Jawa Tengah, 2018). Produksi padi nasional tahun 2020 sebesar 54,65 juta ton gabah kering giling (GKG), meningkat 45,17 ribu ton atau 0,08 persen dibandingkan tahun 2019 yang sebesar 54,60 juta ton GKG (Badan Pusat Statistik 2021).

Salah satu potensi lahan kering yang belum dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan, dengan luas lahan kering di Indonesia yang memungkinkan untuk pengembangan tanaman pangan. Ada beberapa kendala yang dihadapi dalam meningkatkan hasil tanaman padi, termasuk kesuburan tanah rendah, kerentanan terhadap erosi, kekeringan, keasaman tinggi, tinggi fiksasi fosfat, bahan organik yang buruk dan kerentanan terhadap penyakit blas (Fitriatin et al., 2021). Hasil penggunaan pupuk sintetis tidak sebanding dengan hasil panen padi yang optimal. Penggunaan pupuk

sintetis yang berlebihan tidak efektif untuk tanaman. Hal ini menyebabkan tanah rusak oleh residu kimia.

Salah satu upaya meningkatkan hasil padi di lahan kering adalah menggunakan pupuk organik (Alua & Tuhuteru, 2022), pupuk organik cair (Jumriani et al., 2014). Salah satu teknologi budidaya untuk pemupukan adalah dapat menggunakan tempurung kelapa cuka kayu (asap cair), dan zeolit. Asap cair dibentuk oleh kondensasi asap yang dihasilkan selama produksi cangkang kelapa. Asap cair mengandung 10-20% senyawa organik dan memiliki lebih dari 200 jenis senyawa organik (Bilehal et al., 2012) dan turunan fenoliknya pada asap cair (Montazeri et al., 2013). Cuka kayu dapat dianggap sebagai pengatur pertumbuhan tanaman (Lashari et al., 2013). Penerapan cuka kayu juga meningkatkan komponen hasil panen pada padi (Berahim et al., 2014), pengendali serangga (Wititsiri, 2011), serta jamur dan bakteri patogen tanaman (Chalermisan & Peerapan, 2009). Asap cair dapat digunakan untuk memperbaiki pH tanah (Hua et al., 2020). Dalam beberapa tahun terakhir, asap cair sering dikombinasikan dengan biochar untuk memperbaiki sifat tanah (Sun et al., 2018), seperti diaplikasikan bersama dengan biochar untuk meningkatkan produksi buah blueberry di tanah pertanian (Zhang et al., 2020), menekan volatilisasi amoniak dari tanah sawah (Sun et al., 2020), memproses pertumbuhan dan perkembangan tanaman kenaf yang belum matang (Zheng et al., 2018).

Efisiensi penggunaan nutrisi dan pertumbuhan tanaman yang lebih baik, amandemen tanah, lebih khususnya amandemen alami atau organik. Zeolit secara alami terjadi, aluminosilikat alkali-terhidrasi (Jha & Singh, 2016). Zeolit dapat digunakan sebagai pupuk dan agen chelating (Perez-Caballero et al., 2008). Zeolit membantu meningkatkan agregat stabil air di tanah (Mondal et al., 2021). Komposisi kimiawi zeolit alami terdiri dari 55,80% silikon, 3,90% natrium, 2,35% kalium, 5,75% ion kalsium dan 0,70% mangan (Ćurković et al., 1997). Zeolit merupakan bahan organik dan alternatif untuk produksi padi dataran tinggi organik (Nokkoul & Wichitparp, 2015).

Rendahnya produktivitas padi dapat disebabkan oleh faktor budidaya seperti petani belum menerapkan teknologi budidaya padi dataran tinggi di lahan tadah hujan secara tepat, termasuk dengan menggunakan zat pengatur tumbuh dan pemupukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon asap cair dan zeolit terhadap pertumbuhan dan hasil padi terhadap padi.

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian terdiri atas cangkul, sabit, timbangan analitik, oven, *seed counter*, *thermohyrometer*, dan alat tulis. Bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian adalah asap cair, benih padi inpari 32, zeolit, polibag ukuran 35 x 35 cm, gembor, *hands sprayer*. Penelitian dilaksanakan di Desa Pegalongan Kecamatan Patikraja Kabupaten Banyumas pada bulan April 2022 sampai Juli 2022.

Penelitian dikaji menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial yang terdiri dari dua faktor. Faktor Pertama adalah dosis asap cair dan faktor kedua adalah dosis zeolit. Faktor pertama terdiri D_0 = kontrol (tanpa perlakuan), D_1 =10mL/L air per polibag, D_2 =20 mL / L air per polibag. Sedangkan faktor kedua terdiri dari Z_0 =0 /polibag (tanpa aplikasi), Z_1 = 25 kg/ha, Z_2 =50 kg/ha. Setiap unit perlakuan diulang tiga kali untuk mendapatkan 27 unit percobaan, dimana setiap satuan percobaan terdapat 2 tanaman, sehingga total tanaman percobaan sebanyak 54 tanaman. Tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian terlebih dahulu menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam pelaksanaan penelitian diantaranya tanah yang akan digunakan untuk media tanam, pupuk kandang kandang kambing untuk media dasar tanaman, serta benih padi varietas inpari 32. Benih direndam terlebih dahulu selama 24 jam dalam ember yang berisi air. Setelah 24 jam benih diangkat lalu ditiriskan dalam saringan lalu diperamkan selama enam jam. Saat benih direndam, dilakukan pengolahan media tanam dari tanah dan pupuk kandang dicampur kemudian diaduk secara merata. Setelah media tanam dicampur secara merata lalu diisikan kedalam polibag ukuran 35 x 35 cm. Setelah itu, benih yang sudah berumur sekitar 12 hari setelah semai (HSS)

dan sudah berdaun 2 maka benih dipindah tanam ke polibag (masing-masing polibag terdiri dari dua tanaman). Variabel yang diamati pada penelitian adalah variabel pertumbuhan dan variabel hasil. Variabel pertumbuhan terdiri atas tinggi tanaman (cm), jumlah anakan (rumpun). Sedangkan pada variabel hasil adalah jumlah malai (rumpun), berat biji pertanaman (g), dan berat petak efektif (g).

Aplikasi asap cair dilakukan dalam satu kali dalam 14 hari sesuai perlakuan yang di uji coba. Sedangkan pemberian dosis zeolit dilakukan sekali sebanyak dosis perlakuan pada awal tanam. Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini meliputi pemeliharaan tanaman. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiangan gulma. Penyiangan dilakukan setiap saat. Penyiangan ini mencabut gulma yang tumbuh disekitar tanaman. Penyiangan bertujuan untuk menghindari kompetisi antara tanaman utama dan kompetisi unsur hara serta kompetisi cahaya sehingga apabila gulm atelah tersiangi maka akan tanaman tumbuh dan berkembang optimal. Penelitian ini menggunakan uji F untuk mengetahui tingkat signifikansi dari setiap faktor perlakuan terhadap variabel yang diamati. Analisis ragam yang dilakukan pada taraf nyata 5%, apabila berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf nyata 5%. Alat olah data yang digunakan dalam penelitian menggunakan software DSAASTAT 1.1 (Onofri & Pannacci, 2014).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa ragam pemberian asap cair berbeda takaran memberikan pengaruh terhadap variabel pertumbuhan yaitu jumlah anakan. Namun, pemberian asap cair pada variabel tinggi tanaman tidak memberikan pengaruh. Sedangkan pada pengamatan hasil asap cair tidak memberikan pengaruh nyata. Pemberian zeolit berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan padi. Sedangkan pada pengamatan variabel hasil zeolit berpengaruh nyata terhadap berat biji isi pertanaman dan berat petak efektif. Namun, zeolit tidak berpengaruh terhadap jumlah malai. Hasil analisis ragam Tabel . Interaksi antara asap cair dan zeolit tidak berpengaruh terhadap variabel pertumbuhan dan hasil tanaman padi.

Tabel 1. Hasil sidik ragam respon asap cair dan zeolit terhadap pertumbuhan dan hasil padi.

No	Variabel pengamatan	Perlakuan		
		A	Z	A x Z
1	Tinggi tanaman (cm)	tn	n	tn
2	Jumlah anakan (rumpun)	n	sn	tn
3	Jumlah malai (rumpun)	tn	tn	tn
4	Berat biji isi per tanaman (g)	tn	n	tn
5	Berat per efektif (g)	tn	Sn	tn

Keterangan: tn: tidak nyata ; n: nyata ; sn: sangat nyata.

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian asap cair tidak berpengaruh terhadap tinggi tanaman. Hasil penelitian pemberian asap cair terhadap tinggi tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada D₂ (20 mL) sebesar 49,33 cm². Sedangkan yang terendah sebesar 48,38 cm². Hal ini diduga asap cair yang diaplikasikan ke tanaman tidak diserap oleh akar tanaman sehingga tidak mempengaruhi tinggi tanaman. Pertumbuhan tinggi tanaman dipengaruhi oleh sifat genetik dan kemampuan tanaman beradaptasi dengan lingkungan. Pengamatan tinggi tanaman dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti serapan air dan nutrisi, penambahan ameliorant, aplikasi pupuk kandang. Tinggi tanaman meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman (Sutriadi et al., 2021).

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian zeolit berpengaruh terhadap tinggi

tanaman. Hasil penelitian pemberian zeolit terhadap tinggi tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada dosis Z₂ (50 kg/ha) sebesar 49,97 cm. Sedangkan yang terendah sebesar Z₁ (25 kg/ha) 47,23 cm². Hal ini diduga pemberian zeolit dalam tanah dapat diserap oleh akar tanaman. Tanah berperan untuk meningkatkan retensi nutrisi. Oleh karena itu, penambahan zeolit ke tanah akan mempertahankan nutrisi yang bermanfaat di zona akar (Polat et al., 2004). Pengaruh zeolit pada sifat tanah sering digunakan untuk penjelasan efek positifnya pada hasil tanaman, dan pertumbuhan bunga matahari, kedelai, tomat, lobak, kacang-kacangan, kentang, semanggi, jagung, gandum (Moore et al., 2011). Efek pemberian zeolit pada dosis mineral yang berbeda kurang lebih 10 t/ha (Sepaskhah & Barzegar, 2010) hingga 120 t/ha (Ozbahce et al., 2015).

Tabel 2. pertumbuhan dan hasil tanaman padi pada pemberian asap cair dan zeolit

Perlakuan	Variabel pengamatan				
	TT (cm ²)	JA (rumpun)	JM (rumpun)	BjP (g)	BPE (g)
Asap cair (mL/L)					
D ₀ (Kontrol)	48,38 a	19,24 a	8,24 a	6,92 a	24,57 a
D ₁ (10 mL)	49,27 a	19,78 b	8,83 a	6,87 a	25,07 b
D ₂ (20 mL)	49,33 a	20,21 c	9,15 a	7,33 a	25,62 c
KK (%)	3,78	4,63	11,80	5,44	7,46
Zeolit (kg/ha)					
Z ₀ (Kontrol)	49,78 b	17,34 a	8,62 a	6,82 a	22,68 a
Z ₁ (25)	47,23 a	20,67 b	8,69 a	7,14 b	25,71 b
Z ₂ (50)	49,97 b	21,22 c	8,91 a	7,16 b	26,88 c
KK (%)	3,78	4,63	11,80	5,44	7,46

Keterangan: KK(%); koefisien keragaman. TT:tinggi tanaman ; JA:jumlah anakan ; JM: jumlah malai ; BjP: berat biji pertanaman ; BPE: berat per petak efektif. Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda dalam satu kolom adalah berbeda nyata dalam uji Duncan 5%.

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian asap cair berpengaruh terhadap jumlah anakan. Hasil penelitian pemberian asap cair terhadap jumlah anakan tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada D₂ (20 mL) sebesar 20,21 rumpun. Sedangkan yang terendah sebesar 19,24 rumpun. Hal ini diduga asap cair dapat berperan sebagai zat pengatur tumbuh tanaman, sehingga pemberian 20 mL/L air dapat mempengaruhi banyaknya jumlah anakan tanaman padi. Asap cair berperan sebagai zat pengatur tumbuh dan meningkatkan kemampuan toleransi kekeringan (Dissatian et al., 2018). Efek pertumbuhan tanaman, asap cair dapat digunakan sebagai zat pengatur tumbuh untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman padi pada kondisi cekaman garam (Theerakulpisut et al., 2021).

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian zeolit berpengaruh terhadap jumlah anakan. Hasil penelitian pemberian zeolit terhadap

jumlah anakan padi menunjukkan hasil yang terbaik pada dosis Z₂ (50 kg/ha) sebesar 21,22 rumpun. Sedangkan yang terendah sebesar Z₀ (0 kg/ha) 17,34 rumpun. Hal ini diduga zeolit dalam tanah dapat menyerap ion amonium yang menyebabkan banyaknya jumlah tanaman pada padi. Penyerapan ion amonium ion amonium dalam tanah bersifat sementara dan akan mudah diberikan kepada tanaman akan dilepaskan secara perlahan ke dalam larutan tanah serta Nitrogen berfungsi mendorong tanaman pertumbuhan cepat (menambah tinggi tanaman dan jumlah anakan) (Wulandari et al., 2019).

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian asap cair tidak berpengaruh terhadap jumlah malai. Hasil penelitian pemberian asap cair terhadap jumlah malai tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada D₂ (20 mL) sebesar 9,15 rumpun. Sedangkan yang terendah sebesar D₂ (0 mL) 8,24 rumpun. Asap cair dapat berperan sebagai zat pengatur tumbuh. Zat pengatur tumbuh apabila

diaplikasikan berlebihan dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Kusriyanto et al., 2019). Aplikasi asap cair pada tanaman padi dapat berperan mendorong perkecambahan biji dan pertumbuhan bibit. Penelitian lebih lanjut bahwa perlakuan dengan asam asetat dapat menjaga tanaman padi tetap tumbuh normal pada kondisi kekeringan (Kim et al., 2017). Zat fenolik dalam asap cair berup fenol dihidrat dan polifenol, juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan merangsang peningkatan auksin, giberelin, dan berbagai aktivitas enzim serta mendorong pertumbuhan tanaman dan penyerapan nitrogen dan efek stimulasi ini terutama disebabkan oleh zat fenolik asap cair (Zhu et al., 2021).

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian zeolit tidak berpengaruh terhadap jumlah malai. Hasil penelitian pemberian zeolit terhadap jumlah malai tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada dosis Z_2 (50 kg/ha) sebesar 8,91 rumpun. Sedangkan yang terendah sebesar Z_1 (25 kg/ha) 8,62 rumpun. Hal ini diduga zeolit berperan sebagai pembenah tanah dan mengakumulasi unsur nitrogen. Zeolit memiliki kapasitas pertukaran kation yang tinggi untuk unsur hara (terutama N) dan air, serta dapat menahan N di zona perakaran tanaman dan melepaskannya sesuai permintaan tanaman (Noori et al., 2006). Karakteristik pelepasan unsur N oleh zeolit meningkatkan ketersediaan N tanah dan akumulasi N tanaman, sehingga meningkatkan hasil gabah (Campisi et al., 2016).

Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan pemberian asap cair tidak berpengaruh terhadap berat biji isi pertanaman. Hasil penelitian pemberian asap cair terhadap berat biji isi pertanaman tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada D_2 (20 mL) sebesar 7,33 g. Sedangkan yang terendah sebesar D_1 (10 mL) 6,87 g. Hal ini diduga asap cair meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam pada tanaman padi dapat meningkatkan hasil (Jeong et al., 2015). Tabel 2. Menunjukkan pemberian zeolit tidak berpengaruh terhadap jumlah malai. Hasil penelitian pemberian zeolit terhadap jumlah malai tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada dosis Z_2 (50 kg) sebesar 7,16 g. Sedangkan yang terendah sebesar Z_0 (0 kg) 6,82 g. Hal ini diduga zeolit di dalam tanah mampu menyimpan air dan nutrisi tanaman, sehingga nutrisi dan air dapat diserap oleh tanaman untuk proses pembungaan dan pembentukan biji. Zeolit mampu meningkatkan kemampuan pertukaran kation, retensi air dan menyimpan nutrisi tanaman padatanah untuk proses pembungaan dan produksi biji (Ayan et al., 2008).

Tabel 2. Hasil pengamatan penelitian menunjukkan pemberian asap cair tidak berpengaruh terhadap berat efektif biji padi. Hasil penelitian pemberian asap cair terhadap berat efektif tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada D_2 (20 mL) sebesar 26,88 g. Sedangkan yang terendah

sebesar D_0 (0 mL) 24,57 g. Hal ini diduga asap cair memiliki kandungan asam asetat. Asam asetat merupakan perkusor auksin yang berperan zat pengatur tumbuhan hormon auksin (Istiqomah & Kusumawati, 2020). Auksin berperan untuk perkembangan akar, pertumbuhan dan proses pelebaran diameter batang (Arimarsetiowati & Ardiyani, 2012).

Tabel 2. Menunjukkan pemberian zeolit tidak berpengaruh terhadap jumlah malai. Hasil penelitian pemberian zeolit terhadap jumlah malai tanaman padi menunjukkan hasil yang terbaik pada dosis Z_2 (50 kg/ha) sebesar 26,88 g. Sedangkan yang terendah sebesar Z_0 (0 kg/ha) 22,68 g. Hal ini diduga zeolit pemberian dosis zeolit kurang optimal, sehingga pengaruh dan peranannya hanya mampu sebagai bahan pembenah tanahda sifat fisik tanah, kiiia dan biologi tanah kurang optimal (Handayani, 2015). Aplikasi zeolit 2 t/ha dapat meningkatkan bobot GKG sebesar 6,52 t/ha (Suwardi, 2000)

KESIMPULAN

Pemberian asap cair terhadap variabel pertumbuhan berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dengan dosis 20 mL sebesar 20,21 rumpun. Sedangkan variabel pengamatan hasil tidak berpengaruh nyata. Pemberian zeolit terhadap pertumbuhan tanaman berpengaruh nyata pada pengamatan tinggi tanaman dan jumlah anakan dengan perlakuan 50 kg/ha sebesar 49,7 cm² dan 21,22 rumpun. Pemberian zeolit berpengaruh nyata terhadap berat biji per tanaman dan per efektif dengan perlakuan 50 kg/ha sebesar 7,16 g dan 26,88 g.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadvandi, H. R., Zeinodini, A., Ghobadi, R., & Gore, M. (2021). Benefits of Adding Camelina to Rainfed Crop Rotation in Iran : A Crop with High Drought Tolerance. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 1(2), 91–96.
<https://doi.org/10.22126/atic.2021.6410.1007>
- Alua, Y., & Tuhuteru, S. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* var. *Agregatum* L.) Lokal Wamena. *J. Agrifarm*, 11(1), 18–23.
- Arimarsetiowati, R., & Ardiyani, F. (2012). Pengaruh penambahan auxin terhadap pertunasan dan perakaran kopi arabika perbanyak somatic embriogenesis. *J Pelita Perkebunan*, 28(2), 82–90.
- Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gerçek, V., & Şahin, A. (2008). Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis*

- L. (link.)) seedlings propagation. *Acta Horticulturae*, 779, 583–590. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.75>.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2018). Data Produksi, Luas Panen dan Produktivitas Padi di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2014-2018. Badan Pusat Statistik, Jawa Tengah.
- Badan Pusat Statistik. (2021). Luas panen padi pada tahun 2020 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2019 sebesar 0,08 persen. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Berahim, Z., Panhwar, Q. A., Ismail, M. R., Saud, H. M., Mondal, M. M. A., Naher, U. A., & Islam, M. R. (2014). Rice yield improvement by foliar application of phytohormone. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12(2), 399–404.
- Bilehal, D., Li, L., & Kim, Y. H. (2012). Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis and Chemical Composition of the Bamboo-Carbonized Liquid. *Food Analytical Methods*, 5(1), 109–112. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9194-4>
- Campisi, T., Abbondanzi, F., Faccini, B., Di Giuseppe, D., Malferrari, D., Coltorti, M., Laurora, A., & Passaglia, E. (2016). Ammonium-charged zeolite effects on crop growth and nutrient leaching: Greenhouse experiments on maize (*Zea mays*). *Catena*, 140(3), 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.019>
- Chalermnan, Y., & Peerapan, S. (2009). Wood vinegar: by-product from rural charcoal kiln and its role in plant protection. *Asian Journal of Food and Agro-Industry, Special Issue*, 189–195. www.ajofai.info
- Ćurković, L., Cerjan-Stefanović, Š., & Filipan, T. (1997). Metal ion exchange by natural and modified zeolites. *Water Research*, 31(6), 1379–1382. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00411-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00411-3)
- Dissatian, A., Sanitchon, J., Pongdontri, P., Jongrunklang, N., & Jothityangkoon, D. (2018). Potential of wood vinegar for enhancing seed germination of three upland rice varieties by suppressing malondialdehyde production. *Agrivita*, 40(2), 371–380. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v40i2.1332>
- Donggulo, C. V., Lapanjang, I. M., & Made, U. (2017). Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) under Different Jajar Legowo System and Planting Space. *J. Agroland*, 24(1), 27–35. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/AGROLAND/article/view/8569>
- Fitriatin, B. N., Febriani, S., & Yuniarti, A. (2021). Application of biofertilizers to increase upland rice growth, soil nitrogen and fertilizer use efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012138>
- Handayani, E. P. (2015). Upaya Peningkatan Hasil Padi (*Oryza sativa* L.) dengan Aplikasi Zeolit Menyertai Pemupukan NPK. *Prosiding Seminar Nasional Swasembada Pangan Politeknik Negeri Lampung 29 April 2015, April*, 111–116.
- Hua, D., Fan, Q., Zhao, Y., Xu, H., Chen, L., & Li, Y. (2020). Comparison of methanogenic potential of wood vinegar with gradient loads in batch and continuous anaerobic digestion and microbial community analysis. *Science of the Total Environment*, 739, 139943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139943>
- Istiqomah, I., & Kusumawati, D. E. (2020). Potensi Asap Cair dari Sekam untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa* L.). *Buana Sains*, 19(2), 23. <https://doi.org/10.33366/bs.v19i2.1745>
- Jeong, K. W., Kim, B. S., Ultra, V. U., & Lee, S. C. (2015). Effects of Rhizosphere Microorganisms and Wood Vinegar Mixtures on Rice Growth and Soil Properties. *The Korean Journal of Crop Science*, 60(3), 355–365. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2015.60.3.355>
- Jha, B., & Singh, D. N. (2016). *Fly Ash Zeolites*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1404-8> ISSN
- Jumriani, Noor, R. B., & Nugrahini, T. (2014). Pengaruh Pemberian Pupuk Cair Biourine Sapi Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Lai (*Durio kutejensis* Hassk. Becc). 3(1), 19–23.
- Kim, J. M., To, T. K., Matsui, A., Tanoi, K., Kobayashi, N. I., Matsuda, F., Habu, Y., Ogawa, D., Sakamoto, T., Matsunaga, S., Bashir, K., Rasheed, S., Ando, M., Takeda, H., Kawaura, K., Kusano, M., Fukushima, A., Endo, T. A., Kuromori, T., ... Seki, M. (2017). Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. *Nature Plants*, 3(June), 4–10.

- Kusriyanto, K., Mahdalena, M., & Hamidah, H. (2019). Uji Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Air Kelapa Dan Pupuk Organik Cair (POC) Urin Kambing Terhadap Pertumbuhan Setek Bibit Tanaman Lada (*Piper Nigrum* L) Varietas Malonan 1. *Agrifarm : Jurnal Ilmu Pertanian*, 8(1), 27–31. <https://doi.org/10.24903/ajip.v8i1.528>
- Lashari, M. S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., & Yu, X. (2013). Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. *Field Crops Research*, 144, 113–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.015>
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
- Montazeri, N., Oliveira, A. C. M., Himelbloom, B. H., Leigh, M. B., & Crapo, C. A. (2013). Chemical characterization of commercial liquid smoke products. *Food Science & Nutrition*, 1(1), 102–115. <https://doi.org/10.1002/fsn3.9>
- Moore, A. D., Olsen, N. L., Carey, A. M., & Leytem, A. B. (2011). Residual Effects of Fresh and Composted Dairy Manure Applications on Potato Production. *American Journal of Potato Research*, 88(4), 324–332. <https://doi.org/10.1007/s12230-011-9197-0>
- Nokkoul, R., & Wichitparp, T. (2015). Effects of Zeolite Application on Seed Yield and Yield Component of Organic Upland Rice. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 11(8), 879–884. <https://doi.org/10.19026/rjaset.11.2099>
- Noori, M., Zendehdel, M., & Ahmadi, A. (2006). Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 88(1), 77–84. <https://doi.org/10.1080/02772240500457928>
- Onofri, A., & Pannacci, E. (2014). Spreadsheet tools for biometry classes in crop science programmes. *Communications in Biometry and Crop Science*, 9(2), 3–13.
- Ozbahce, A., Tari, A. F., Gönülal, E., Simsekli, N., & Padem, H. (2015). The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(5), 615–626. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.946021>
- Perez-Caballero, R., Gil, J., Benitez, C., & Gonzalez, J. L. (2008). The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees. Preliminary results. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 3(1), 321–324. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2008.321.324>
- Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, a N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Reserarch*, 12(December 2004), 183–189.
- Sepaskhah, A. R., & Barzegar, M. (2010). Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 98(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.013>
- Setiyanto, A., & Pabuayon, I. M. (2020). IMPACTS OF UPSUS PROGRAM ON THE COST EFFICIENCY AND COMPETITIVENESS OF RICE PRODUCTION IN INDONESIA Dampak Program Upsus terhadap Efisiensi Biaya dan Daya Saing Produksi Padi di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38(1), 29–52.
- Sun, H., Feng, Y., Ji, Y., Shi, W., Yang, L., & Xing, B. (2018). N₂O and CH₄ emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. *Atmospheric Environment*, 185, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.015>
- Sun, H., Feng, Y., Xue, L., Mandal, S., Wang, H., Shi, W., & Yang, L. (2020). Responses of ammonia volatilization from rice paddy soil to application of wood vinegar alone or combined with biochar. *Chemosphere*, 242, 125247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125247>
- Sutriadi, M. T., Kartikawati, R., & Wahyuni, S. (2021). The use of botanical insecticide based on local resources to increase swamp rice

- yield in South Kalimantan, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012073>.
- Suwardi. 2000. Pemanfaatan Zeolit sebagai Media Tumbuh Tanaman Hortikultura. Departemen Tanah, Fakultas Pertanian IPB, Prosiding. Temu Ilmiah IV PPI ; Tokyo, Jepang ; 1-3 sep1995.
- Theerakulpisut, P., Madee, P., Pamuta, D., & Nounjan, N. (2021). Exogenous application of spermidine (SPD) and wood vinegar improves salt tolerance in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 53(1), 1–9. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-1\(42\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-1(42))
- Wititsiri, S. (2011). Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata*. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(3), 349–354.
- Wulandari, R., Hanum, H., & Hasanah, Y. (2019). The effect of nitrogen fertilizer, zeolite and fresh straw to increase total-N, cation exchange capacity (CEC) of rice crop. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 260(1), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012157>
- Zhang, Y., Wang, X., Liu, B., Liu, Q., Zheng, H., You, X., Sun, K., Luo, X., & Li, F. (2020). Comparative study of individual and Co-Application of biochar and wood vinegar on blueberry fruit yield and nutritional quality. *Chemosphere*, 246, 125699. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125699>
- Zheng, H., Wang, X., Chen, L., Wang, Z., Xia, Y., Zhang, Y., Wang, H., Luo, X., & Xing, B. (2018). Enhanced growth of halophyte plants in biochar-amended coastal soil: roles of nutrient availability and rhizosphere microbial modulation. *Plant Cell and Environment*, 41(3), 517–532. <https://doi.org/10.1111/pce.12944>
- Zhu, K., Gu, S., Liu, J., Luo, T., Khan, Z., Zhang, K., & Hu, L. (2021). Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. *Agronomy*, 11(3), 510. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030510>