

## **KARAKTERISTIK DAN ANALISIS KORELASI KARAKTER FISILOGIS TANAMAN JAGUNG HIBRIDA (*Zea mays* L.) PADA TANAH BERTEKSTUR LIAT DIPERKAYA PUPUK SLOWRELEASE BERBASIS BIOCHAR**

*Characteristics and Correlation Analysis of Physiological Characters of Hybrid Corn Plants (*Zea mays* L.) on Clay-Textured Soil Enriched with Biochar-Based Slowrelease Fertilizer*

**Mila Astiani<sup>1</sup>, Sukmawati<sup>2\*</sup>, Iradhatullah Rahim<sup>3</sup>, Mayasari Yamin<sup>4</sup>, Suherman<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,5</sup>*Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan  
Universitas Muhammadiyah Parepare*

<sup>4</sup>*Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo*

<sup>2\*</sup>*sukmakuuh76@gmail.com*

### **ABSTRAK**

Peningkatan produktivitas jagung sangat dipengaruhi oleh karakter fisiologi seperti klorofil dan stomata daun. Hal ini sangat berkaitan dengan proses fotosintesis yang dipengaruhi oleh kandungan nitrogen dan air dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pupuk *slowrelase* dari biochar tongkol jagung berbasis NPK terhadap karakter dan kolerasi fisiologi tanaman jagung. Metode penelitian merupakan percobaan lapangan menggunakan Rancangan Acak Kelompok untuk menguji empat jenis perlakuan, yakni Pupuk kimia (P0), pupuk *slowrelase* berbasis NPK (P1), pupuk *slowrelase* diperkaya urin sapi (P2) dan pupuk *slowrelase* diperkaya urin sapi dan bakteri (*azotobacter* dan *basillus*)(P3). Parameter yang diamati terhadap karakter fisiologi tanaman jagung, yakni *Chlorofil content Indeks* (CCI), kehijauan daun, jumlah stomata dan ukuran stomata serta korelasi antar karakter fisiologi. Hasil penelitian menemukan bahwa pemberian pupuk *slowrelase* diperkaya urin sapi dan bakteri memberikan hasil terbaik pada CCI dan kehijauan daun yakni 44,64 dan 3,77 berbeda nyata hingga sangat nyata dengan pemberian pupuk kimia (16,27; 2,77). Untuk tindak adaptasi pemberian pupuk *slowrelase* diperkaya urin sapi dan bakteri mengurangi jumlah ukuran stomata dengan hasil yang lebih kecil (78,33) berbeda nyata dengan pemberian pupuk *slowrelase* pengkayaan bakteri (P0,P1 dan P2). Terdapat korelasi yang nyata antara CCI dan jumlah stomata terhadap kehijauan daun. Berdasarkan hal tersebut, maka penggunaan pupuk *slowrelase* yang diperkaya urin sapi dan bakteri menjadi strategi adaptif usaha tani jagung menghadapi perubahan iklim.

**Kata kunci:** *biochar, jagung hibrida, karakter fisiologi, korelasi, pupuk slow release*

### **ABSTRACT**

*Increasing corn productivity is strongly influenced by physiological characters such as chlorophyll and leaf stomata. This is closely related to the photosynthesis process which is influenced by the nitrogen and water content in the soil. This research aims to use slow-release fertilizer from NPK-based corn cob biochar on the characteristics and physiological correlation of corn plants. The research method was a field experiment using a Randomized Block Design to test four types of treatment, namely chemical fertilizer (P0), NPK-based slowrelase fertilizer (P1), slowrelase fertilizer enriched with cow urine (P2) and slowrelase fertilizer enriched with cow urine and bacteria (azotobacter and bacillus )(P3). Observation parameters on the physiological characteristics of corn plants, namely Chlorophyll content Index (CCI), leaf greenness, number of stomata and stomata size as well as correlation between physiological characteristics. The results of the research found that the application of slowrelase fertilizer enriched with cow urine and bacteria gave the best results in CCI and leaf greenness, namely 44.64 and 3.77, significantly to very significantly different from the application of chemical fertilizer (16.27; 2.77). For adaptation, giving slow-release fertilizer enriched with cow urine and bacteria reduced the number of stomata sizes with smaller results (78.33), significantly different from giving slow-release fertilizer enriched with bacteria (P0, P1 and P2). There is a real correlation between CCI and the number of stomata on leaf greenness. Based on this, the use of slowrelase fertilizer enriched with cow urine and bacteria is an adaptive strategy for corn farming to face climate change.*

**Keywords:** *biochar, correlation, hybrid corn, physiological character, slow release fertilizer*

### **PENDAHULUAN**

Karakter fisiologis berkontribusi sangat penting terhadap peningkatan

produktivitas jagung (Akmalia & Suharyanto, 2017; (Guo *et al.*, 2021). Laju fotosintesis merupakan karakter fisiologi yang

berhubungan erat dengan kandungan klorofil daun, dimana berkorelasi positif dengan indeks klorofil content (CCI) (Liu *et al.*, 2019). Salah satu indikator untuk pemupukan tanaman untuk peningkatan produksi adalah indeks klorofil konten (Cerovic & Masdoumier, 2012), yang dipengaruhi oleh pemberian pupuk nitrogen (Hokmalipour & Darbandi, 2011). Salah satu strategi peningkatan produksi jagung adalah pengelolaan air dan nitrogen (Simkin *et al.*, 2019).

Biochar merupakan teknologi pengelolaan air dan mampu meretensi nitrogen di lahan pertanian (Sukmawati, 2020a). Biochar dapat digunakan untuk memodifikasi pupuk kimia menjadi pupuk slowrelease yang sangat cocok untuk tanaman. (Jumaeri *et al.*, 2019) karena mengendalikan pelepasan unsur sesuai dengan waktu dan jumlah (Adawiah *et al.*, 2020) dan lebih baik dari penggunaan urea (Jumaeri *et al.*, (2019). Pupuk NPK pelepasan lambat berbasis biochar diformulasikan dan dikembangkan untuk mengurangi pencucian unsur hara dan emisi gas rumah kaca (Murti *et al.*, 2020). Selain itu, biochar yang diperkaya dengan bakteri pengikat nitrogen meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung terutama jumlah dan luas daun pada tanah bertekstur

liat Sukmawati *et al.*, (2020), karena biochar meningkatkan retensi nitrogen dan mengurangi pencucian didalam tanah (Hossain *et al.*, 2020).

Salah satu bakteri penambat nitrogen adalah *Azotobacter. Bacillus* sp. yang berasosiasi dengan tanaman dapat memberikan efek stimulasi pertumbuhan karena metabolit yang dihasilkan mampu memicu sensitivitas sistem perakaran untuk absorpsi nutrisi serta merangsang regulasi zat pengatur tumbuh seperti sintesis auksin, giberelin, dan sitokinin (Setiaji *et al.*, 2023). Penggunaan biochar tongkol jagung yang diaktivasi dengan bakteri Gram negatif dan Gram positif telah diteliti oleh (Sukmawati *et al.*, 2020b), namun masih dilakukan dalam skala greenhouse. Sehingga kajian yang dilakukan di lahan pertanian dapat mengkaji efektivitas penggunaan pupuk slowrelase untuk adaptasi tanaman jagung pada lingkungan yang ekstrim.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Bahan dan Alat**

Bahan yang digunakan dalam pembuatan pupuk slowrelase berbasis NPK adalah biochar dari tongkol jagung yang dibakar, pupuk NPK, urin sapi, bakteri *Bacillus* dan *Azotobacter*. Pupuk slowrelase dibuat dari biochar tongkol jagung yang dibakar menggunakan TLUD (teknologi dari

Wharm heart pondation). Formulasi pupuk slowrelase terdiri dari biochar 900 g ditambah 3,5 g pupuk NPK dan diinkubasi selama 1 malam. Dosis formula merujuk pada penelitian (Sukmawati, 2020b). Metode pembuatan pupuk slowrelase merujuk pada (Schmidt *et al.*, 2017). Selanjutnya formulasi pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi terdiri dari 900 g biochar, 3,5 g pupuk NPK, 25 ml urin sapi yang dilarutkan dalam 500 ml air. Adapun pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi dan bakteri terdiri dari 900 g biochar, 3,5 g pupuk NPK, 25 ml urin sapi yang dilarutkan dalam 500 ml air, *Azotobacter* dan *bacillus* masing-masing 5 ml dalam bentuk larutan.

### **Rancangan Percobaan**

Penelitian dalam bentuk percobaan lapangan menggunakan Rancangan Acak Kelompok yang terdiri dari tiga kelompok dengan empat pelakuan (P0= kontrol; P1= pupuk *Slowrelease*; P2 Pupuk *Slowrelease* +Urin sapi; P3 = Pupuk *slowrelase* +Urin sapi+bakteri). Ukuran bedengan 450cm x 400 cm. Jarak tanam jagung digunakan 70 cm x 20 cm sehingga total populasi jagung 128 tanaman/bedengan atau setara dengan 72.000 tanaman/ha.

### **Tahapan Penelitian**

Persiapan demplot percobaan dan metode aplikasi pupuk slowrelase

Tanah digemburkan menggunakan kultivator mini. Biochar yang telah dimodifikasi menjadi pupuk *slowrelease* dimasukkan dalam tanah tanah dalam bentuk alur mengikuti jarak tanaman jagung, satu minggu sebelum penanaman jagung.

### **Parameter Penelitian**

Karakter yang diukur antara lain: 1) pengukuran *Chlorophyll Content Index* dilakukan pada tanaman jagung 56 HST pada daun yang berada di atas tongkol menggunakan alat -200; Opti-Sciences Inc., Hudson, NH, USA. Sebanyak 10 tanaman diukur secara acak di setiap plot, dan tiga pembacaan CCI per daun, termasuk satu pembacaan di sekitar titik tengah helaian daun dan dua pembacaan pada jarak tiga cm dari titik tengah. Nilai-nilai ini dirata-ratakan untuk rata-rata pembacaan CCI setiap daun merujuk pada (Peng *et al.*, 2017); 2) panjang daun (cm), 3) kehijauan daun, 4) Pengukuran stomata merujuk pada metode Tambaru *et al.*, (2018) dengan cara daun jagung diolesi aseton dan dibiarkan selama 3 menit, hasil cetakan stomata selanjutnya dilekatkan di atas objek glass dan diamati pada mikroskop binokuler, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah stomata dan ukuran stomata.

### **Analisis Data**

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan program SAS (*Statistical*

*Analysis System*) dan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. *Chlorophyll Content Index*, Kehijauan Daun dan Panjang Daun Jagung

Tabel 1 menunjukkan bahwa pupuk *slow release* yang diperkaya urin sapi dan bakteri *azotobacter* dan *bacillus* sp, menghasilkan *CCI* tertinggi yakni 44,64 cm. Hasil ini berbeda nyata pada pemberian pupuk *slowrelase* dan pupuk *slowrelase* yang diperkaya urin sapi. Disisi lain kehijauan daun jagung yang dihasilkan tidak berbeda nyata antara perlakuan pupuk *slowrelease* (P1,P2 dan P3) akan tetapi berbeda nyata dengan kontrol (P0).

Pada perlakuan ini, tanaman jagung mendapatkan sumber nitrogen dari pupuk NPK, Urea dan urin sapi. Pupuk *slowrelease* dibuat dari biochar tongkol jagung dengan kandungan karbon yang sangat tinggi (70%) (Sukmawati, 2020a), sehingga mampu mengikat unsur hara dari NPK, urea dan urin

sapi dipermukaannya. Hendriyatno *et al.*, (2019) melaporkan urine sapi mengandung nitrogen sebesar 1,00%, fospor sebesar 0,50% dan kalium sebesar 1,50%. Selain itu penambahan biochar pada wilayah rhizosfer tanaman jagung merangsang pertumbuhan akar dalam penyerapan air dan nutrisi (Sukmawati, 2020b). Dengan adanya pengkayaan bakteri jenis *azotobacter*, maka fiksasi nitrogen meningkat dan tersedia bagi tanaman jagung. Disisi lain *Bacillus* sp dapat menghasilkan senyawa enzim siderofor yang dapat meningkatkan kandungan klorofil pada daun (Kalay *et al.*, 2020).

*Chlorophyll Content Index* dan kehijauan daun merupakan karakter fisiologi yang menunjukkan laju fotosintesis tanaman dan dapat digunakan untuk memantau status nitrogen pada tanaman (Padilla *et al.*, 2018), dimana defisiensi hara pada daun dapat diselidiki menggunakan klorofil daun (Ali *et al.*, 2016). Kandungan klorofil berkorelasi secara signifikan dengan nitrogen

**Tabel 1.** Rerata *Chlorophyll Content Index* dan kehijauan daun yang diberi pupuk *slow release* berbasis biochar NPK

Kombinasi Pupuk	<i>Chlorophyll Content Index</i>	Kehijauan Daun
Kontrol (P0)	16.27 <sup>d</sup>	2.77 <sup>b</sup>
Pupuk <i>slow release</i>	40.20 <sup>b</sup>	3.88 <sup>a</sup>
Pupuk <i>slow release</i> diperkaya urin sapi	37.12 <sup>c</sup>	3.89 <sup>a</sup>
Pupuk <i>slow release</i> diperkaya urin sapi dan bakteri ( <i>Azotobacter</i> dan <i>Bacillus</i> sp.)	44.64 <sup>a</sup>	3.77 <sup>a</sup>

Sumber: Data primer setelah diolah (2023).

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha$  5%. *CCI* =; *JS* = Jumlah Stomata; *PD* = Panjang Daun

(Wang *et al.*, 2014; Santana, Puja *et al.*, (2020), dimana dipengaruhi secara positif oleh pemberian pupuk nitrogen (Hokmalipour & Darbandi, 2011). Oleh karena itu dalam penelitian ini terkonfirmasi bahwa penggunaan pupuk *slowrelease* lebih efisien dalam penyerapan unsur nitrogen dibandingkan dengan penggunaan pupuk kimia secara langsung. Nilai CCI, panjang daun jagung dan nilai kehijauan yang tertinggi mengkonfirmasi bahwa pemberian pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi dan bakteri lebih efisien dalam penyerapan nitrogen. Hal ini didukung oleh penelitian Anies *et al.*, (2019) yang melaporkan bahwa unsur nitrogen merangsang pertumbuhan daun yang menunjukkan pertumbuhan

tanaman yang sehat warna daun yang lebih hijau (Gambar 1).

## 2. Stomata daun

Tabel 2 menunjukkan bahwa pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi menghasilkan ukuran stomata tertinggi yakni 108,11. Hasil ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan pupuk *slowrelease*, akan tetapi berbeda nyata dengan pemberian pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi dan bakteri. Disisi lain jumlah stomata terendah dihasilkan pada perlakuan kontrol yang tidak berbeda nyata dengan pemberian pupuk *slowrelease* dan pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi. Namun hasil ini berbeda nyata dengan pemberian pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi dan bakteri.



**Gambar 1.** Visualisasi kehijauan daun jagung pada pemberian pupuk *slowrelease*

**Tabel 2.** Rerata ukuran stomata dan jumlah stomata daun jagung yang diberi pupuk *slow release* berbasis biochar NPK

Kombinasi Pupuk	Ukuran Stomata	Jumlah Stomata
Kontrol (P0)	93.33 <sup>ab</sup>	13.66 <sup>b</sup>
Pupuk <i>slow release</i>	105.67 <sup>a</sup>	13.44 <sup>b</sup>
Pupuk <i>slow release</i> diperkaya urin sapi	108.11 <sup>a</sup>	14.33 <sup>ab</sup>
Pupuk <i>slow release</i> diperkaya urin sapi dan bakteri ( <i>Azotobacter</i> dan <i>Bacillus</i> sp.)	78.33 <sup>b</sup>	15.00 <sup>a</sup>

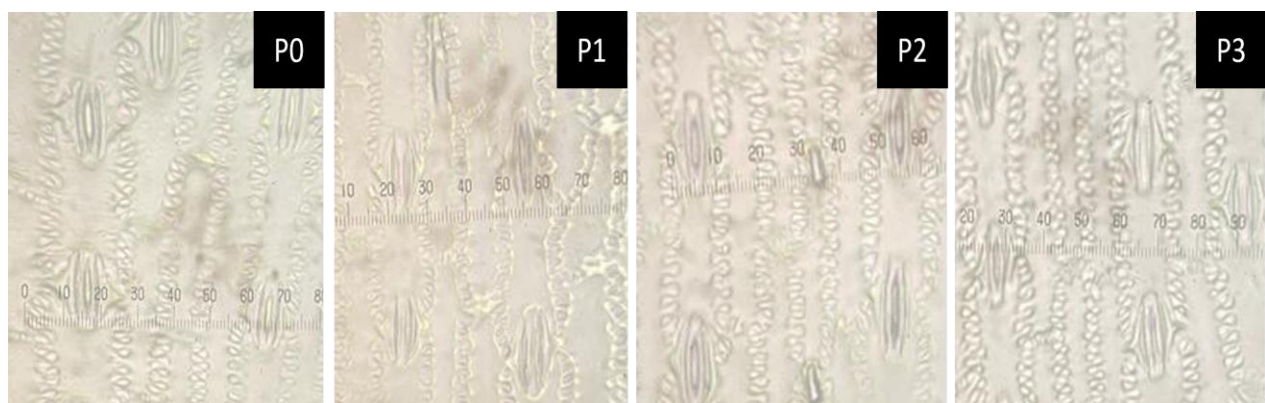
Sumber: Data primer setelah diolah (2023)

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha$  5%.

Pada saat penelitian, terjadi kondisi ekstrim akibat el nino yang berkepanjangan, sehingga kondisi ini mempengaruhi karakter fisiologi tanaman jagung. Hal ini terkonfirmasi dari pengamatan stomata dan jumlah stomata. Tanaman jagung pada pemberian pupuk *slowrelease* yang diperkaya urin sapi dan bakteri cenderung mengurangi ukuran stomata sebagai tindak adaptasi. Berbeda dengan pemberian pupuk kimia (P0) dan pupuk *slowrelease* tanpa pengkayaan bakteri (P1 dan P2) cenderung mengurangi jumlah stomata sebagai tindak adaptasi.

Stomata berperan penting sebagai alat untuk adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Menurut Lestari, (2006), tanaman beradaptasi terhadap cekaman kekeringan dengan cara mengurangi ukuran stomata dan jumlah stomata. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diasumsikan bahwa pemberian pupuk slowarelese dengan

pengkayaan urin sapi dan bakteri dapat meningkatkan toleransi tanaman jagung terhadap kekeringan dibandingkan dengan pemupukan kimia dan penggunaan pupuk *slowrelease* tanpa pengkayaan bakteri (P1 dan P2). *Azotobakter* yang memperkaya pupuk slowrelase merupakan bakteri Gram negatif yang mensintesa biofilm dalam bentuk eksopolisakarida untuk menjaga kelembaban matriks. Bakteri yang ditambahkan pada biochar akan mengkolonisasi permukaan biochar dan lebih intensif memproduksi biofilm dalam kondisi kekeringan. Dengan demikian akan tercipta kelembaban secara insitu di sekitar rhizosfer jagung. Sementara zat volatil yang terdapat pada biochar menjadi sumber karbon dan energi bagi kehidupan bakteri, sehingga bakteri memiliki tenaga untuk mensintesa biofilm. Perbandingan kerapatan stomata dikonfirmasi pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Perbandingan kerapatan stomata daun jagung pada: P0 (pupuk kimia); P1 (pupuk *slowrelease*); P2 (pupuk *slowrelease* diperkaya urin sapi); P3 (pupuk *slowrelease* diperkaya urin sapi dan bakteri)

### 3. Korelasi Karakter Fisiologi Jagung

Tabel 3 menunjukkan korelasi *CCI* dengan karakter lainnya, dimana *CCI* berkorelasi secara positif dan nyata terhadap kehijauan daun. Namun demikian, korelasi terlihat tidak nyata antara *CCI* dengan jumlah stomata, ukuran stomata dan sudut daun.

Penelitian ini mengkonfirmasi hubungan nyata antara klorofil dengan kehijauan daun dan panjang daun. Sebagaimana diketahui bahwa kandungan klorofil pada tanaman tergantung pada berkaitan dengan proses fisiologis tumbuhan, termasuk transpirasi dan fotosintesis. Begitupula dengan kehijauan daun melalui senyawa zat hijau klorofil memiliki peran penting dalam proses fotosintesis. Klorofil digunakan bersama-sama dengan air, CO<sub>2</sub>, dan cahaya untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia yang kemudian digunakan untuk sintesis zat-zat yang diperlukan oleh tumbuhan. Sementara itu stomata merupakan sarana pertukaran gas CO<sub>2</sub> pada daun. Selain itu korelasi antara jumlah stomata dengan kehijauan daun dapat dijelaskan melalui mekanisme transpirasi dan fotosintesis. Jumlah stomata sangat mempengaruhi proses tranpirasi pada tanaman, sedangkan fase fotosintesis yang sangat sensitif terhadap

kecukupan unsur hara nitrogen. Dimana gejala kekurangan nitrogen terlihat dengan adanya perubahan warna hijau pada daun. Klorofil merupakan indikator penting untuk kesehatan, evaluasi kemampuan fotosintesis tanaman dan status pertumbuhan (Ardiansyah *et al.*, 2022). Peningkatan kandungan klorofil akan mempengaruhi pantulan hijau daun, yang menunjukkan pertumbuhan dan kesuburan tanaman. Disisi lain, jumlah stomata juga berkorelasi nyata dengan kehijauan daun. Jumlah stomata pada daun kekurangan air adalah biosintesis klorofil (Song & Banyo, 2010).

**Tabel 3.** Koefisien korelasi antar karakter beberapa diameter jagung hibrida

	Kehijauan daun	Jumlah stomata	Ukuran stomata
Jumlah stomata	0,67*		
Ukuran stomata	0,13 <sup>tn</sup>	-0,20 <sup>tn</sup>	
<i>CCI</i>	0,66*	0,21 <sup>tn</sup>	-0,06 <sup>tn</sup>

Sumber: Data primer setelah diolah (2023)

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT  $\alpha$  5%.

### KESIMPULAN

Tanaman jagung merupakan tanaman yang cukup toleran terhadap kekeringan, namun cukup sensitif terhadap suhu yang tinggi. Sehingga dalam mengantisipasi pengembangan jagung dalam menghadapi perubahan iklim, pemupukan dengan dengan

memodifikasi pupuk kimia seperti NPK dan Urea menjadi pupuk pelepasan lambat yang diperkaya urin sapi dan bakteri Gram negatif seperti *azotobacter* dan bakteri gram positif seperti *Basillus*, menjadi strategi adaptif untuk resiliensi usaha tani jagung dalam kondisi ekstrim.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujuan kepada Kemenristek Dikti melalui program Matching Fund tahun 2023 atas bantuan pendanaan sehingga program MBKM Bina Desa dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih kepada LPPM UMPAR, Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare dan Yayasan Adakarbon sebagai mitra pelaksana penelitian serta kelompok tani Maminasa Deceng atas dukungan sarana dan prasarana selama proses penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adawiah, R., S., Sutarno & Suyanta. (2020). Studi adsorpsi-desorpsi anion fosfat pada bentonit termodifikasi CTAB. *Indo. J. Chem. Res.* Vol.8 (2): 125–136. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-sra>
- Akmalia, H.A. & Suharyanto, E. (2017). Respon fisiologis dan produktivitas jagung (*Zea mays* L.) Sweet Boy-02 pada perbedaan intensitas cahaya dan penyiraman. *Jurnal Teknosains.* Vol. 6(2):59–71. <https://doi.org/10.22146/teknosains.2>
- Ali, M. M., Al-ani, A., Eamus, D., & Tan, D. K. Y. (2016). *Leaf Nitrogen Determination Using Non-Destructive Techniques – A Review.* 4167 (March). <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1143>

954

- Anies, N., Khairani, L., & Susilawati, I. (2019). Pengaruh tingkat pemberian pupuk nitrogen terhadap kandungan air dan serat kasar *Corchorus aestuans*. *Pastura.* Vol. 9(1): 32. <https://doi.org/10.24843/pastura.2019.v09.i01.p09>
- Ardiansyah, M., Nugroho, B., & Khalimatus, S. (2022). Estimasi kadar klorofil dan kadar N daun jagung menggunakan estimating chlorophyll and N content in corn leaves based on chlorophyll content index. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan.* Vol. 24(2): 53–61.
- Cerovic, Z. G., & Masdoumier, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiol Plant.* Vol. 146 (3): 251–260. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01639.x>
- Guo, Y., Yin, W., Fan, H., Fan, Z., Hu, F., Yu, A., & Zhao, C. (2021). Photosynthetic physiological characteristics of water and nitrogen coupling for enhanced high-density tolerance and increased yield of maize in arid irrigation regions. *Front Plant Sci.* Vol. 12 (September): 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.726568>
- Hendriyatno, F., Okalia, D., & Mashadi. (2019). Pengaruh pemberian POC urine sapi terhadap pertumbuhan bibit pinang betara (*Areca catechu* L.). *Agro Bali: Agricultural Journal.* Vol. 2(2): 89–97. <https://doi.org/10.37637/ab.v2i2.412>
- Hokmalipour, S., & Darbandi, M. H. (2011). Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and other leaf indicate in three cultivars of maize (*Zea mays* L.). *World Applied Sciences Journal.* Vol. 15 (12): 1780–1785.
- Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., & Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar.* Vol. 2(4). <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>



- Jumaeri, Sumarni, W., Ningrum, L. W., & Rahayu, E. F. (2019). Using of low grade zeolite based fly ash as slow release agent for *Zea mays* growth. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1567(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/2/022036>
- Kalay, A. M., Kesaulya, H., Talahaturuson, A., Rehatta, H., & Hindersah, R. (2020). Aplikasi pupuk hayati konsorsium strain *Bacillus* sp dengan berbeda konsentrasi dan cara pemberian terhadap pertumbuhan bibit pala (*Myristica fragrans* Houtt). *Agrologia*. Vol. 9(1). <https://doi.org/10.30598/a.v9i1.1060>
- Lestari, E. G. (2006). The relation between stomata index and drought resistant at rice somaclones of Gajahmungkur, Towuti, and IR 64. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*. Vol. 7(1): 44–48. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d070112>
- Liu, C., Liu, Y., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., Yuan, X., & Chen, F. (2019). Use of a leaf chlorophyll content index to improve the prediction of above-ground biomass and productivity. *PeerJ*. 1–15. <https://doi.org/10.7717/peerj.6240>
- Murti, S. D. S., Finalis, E. R., Noor, I., Suratno, H., Rosyadi, E., Saputra, H., Industry, C., Tangerang, S., & Engineering, E. (2020). Development of carbon based NPK slow release fertilizer using biochar from oil palm empty fruits. *Indonesian Journal of Energy*. Vol. 3(1): 19–24.
- Padilla, F. M., de Souza, R., Peña-Fleitas, M. T., Gallardo, M., Giménez, C., & Thompson, R. B. (2018). Different responses of various chlorophyll meters to increasing nitrogen supply in sweet pepper. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 871: 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01752>
- Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., & Cassman, K. G. (2017). Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal (AJ)*. September 1993. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500050005x>
- Santana, Puja, F., Ghulamahdi, M., & Lubis, I. (2020). Respons pertumbuhan, fisiologi, dan produksi kedelai terhadap pemberian pupuk nitrogen dengan dosis dan waktu yang berbeda. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 26(1): 24–31. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.1.24>
- Schmidt, H. P., Pandit, B. H., Cornelissen, G., & Claudia, I. (2017). Biochar-based fertilization with liquid nutrient enrichment : 21 field trials covering 13 crop species in nepal. *Land Degradation & Development*. Vol. 28(8): Pages 2324-2342. <https://doi.org/10.1002/ldr.2761>
- Setiaji, A., Annisa, R. R. R., & Rahmandhias, D. T. (2023). Bakteri *Bacillus* sebagai agen kontrol hayati dan biostimulan tanaman. *Rekayasa*. Vol. 16(1): 96–106. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.17207>
- Simkin, A. J., López-calcagno, P. E., & Raines, C. A. (2019). Feeding the world : improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *J. Exp Bot*. Vol. 70(4): 1119–1140. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery445>
- Song, A.N., & Banyo, Y. (2010). Song, N., & Banyo, Y. (2010). Konsentrasi klorofil daun sebagai indikator kekurangan air pada tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol. 11(2): 177-173.
- Sukmawati. (2020a). Bahan organik menjanjikan dari biochar tongkol jagung, cangkan dan tandan kosong kelapa sawit berdasarkan sifat kimia. *J. Agroplantae*, Vol. 9(2): 82–94. <https://ppnp.e-journal.id/agro/article/view/223>
- Sukmawati. (2020b). *Perbaikan Retensi Air Fosfor dan Nitrogen dari Biochar yang ditambahkan Bakteri Penghasil Alginat Untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Kering (Disertasi)* [Pasca Sarjana Unhas]. <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/3048/>
- Sukmawati, Ala, A., Baharuddin, & Gusli, S. (2020a). Biochar interventions enriched with alginate-producing bacteria support the growth of maize in degraded soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

*Science*. Vol. 486(1).  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012133>

Sukmawati, Ala, A., Baharuddin, & Gusli, S. (2020b). *Biochar interventions enriched with alginate-producing bacteria support the growth of maize in degraded soils*. 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/486/1/012133>

Tambaru, E., Ura, R., & Tuwo, M. (2018). Karakterisasi stomata daun tanaman obat *Androdera cordifolia* (Ten.) Steenis dan *Gratophyllum pictum* (L.) Griff. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. Vol. 9(1): 42–47.

Wang, Y., Wang, D., Shi, P., & Omasa, K. (2014). Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light. *Plant Methods*. Vol. 10(36): 1–11.