

Identifikasi Jerapan Fosfat (P) dengan Sistem Pakar Menggunakan Metode Fuzzy Logic berdasarkan pH Tanah Berbasis Aplikasi Android

Teddy Suparyanto^{a,1*}, Dian Pratama Putra^{b,1}, Nanda Satya Nugraha^{c,1}

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

³ Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

^a teddy@instiperjogja.ac.id; ^b dianswn@instiperjogja.ac.id; ^c nandasatya@instiperjogja.ac.id

*Correspondent Author

Received: 10 Februari 2023

Revised: 11 Agustus 2023

Accepted: 19 September 2023

KATAKUNCI

Jerapan P
Sistem Pakar
Fuzzy Logic
Pertanian Presisi

KEYWORDS

P-Fixation
Expert System
Fuzzy Logic
Precision Agriculture

ABSTRAK

Pertanian presisi saat ini menjadikan suatu indikator keberhasilan dalam pelaksanaan budidaya yang dilakukan di lapangan. Pertanian presisi atau Precision Agriculture memperkenalkan konsep atau prinsip mendasar dalam penerapan aplikasi yang akan digunakan adapun prinsip tersebut merupakan faktor suksesti dalam pelaksanaan pemupukan yang berdasarkan 5 T yaitu tepat jenis, tepat waktu, tepat cara, tepat sumber, dan tepat jumlah. Lahan pertanian yang digunakan umumnya tidak seragam dari segi kesuburan terutama hara tanah yang akan mempengaruhi produksi pertanian ke depannya. Oleh karena itu, diperlukan pengambilan contoh tanah yang tepat dan pembuatan peta tanah yang dapat dilakukan dengan cara pembuatan pemetaan konduktivitas elektrik tanah (berupa induksi elektromagnetik dan elektroda kontak). Metode Fuzzy Logic atau disebut juga metode logika fuzzy menjadi salah satu pilihan dalam menentukan penentu jerapan P, dimana jerapan tersebut akan menjadikan sistem yang baik apabila diketahui secara komprehensif oleh sang pakar. Hasil penelitian memeberikan hasil pada jerapan P yang terjadi pada pH tanah dibawah 3 - 5 dijerap oleh ion - ion masam seperti Aluminium (Al) dan Besi (Fe) dengan bentuk ikatan Al-P dan Fe-P, berdasarkan hal tersebut maka ikatan pada penurunan tiap 1 digit pH maka akan meningkatkan daya jerap sebesar 78% dan pada pH 5 - 6 meningkatkan daya jerap hingga 47 - 52% tiap penurunan digitnya. Hal ini tentu dapat merugikan karena apabila informasi tidak tersampaikan maka akan membuat hilangnya P di dalam tanah. Aplikasi Android yang dikerjakan saat ini dalam masa beta-test.

Identification of Phosphorus (P) Uptake with an Expert System Using the Fuzzy Logic Method based on Soil pH Based on an Android Application

ABSTRACT

Precision agriculture is currently an indikator of success in implementing cultivation in the field. Precision agriculture introduces fundamental concepts or principles in implementing the applications that will be used, while these principles are succession factors in the

implementation of fertilizers based on the 4 Ts, namely the right type, right time, right method, right source and right amount. The agricultural land used is generally not uniform in terms of fertility, especially soil nutrients, which will affect future agricultural production. Therefore, it is necessary to take appropriate soil samples and create soil maps which can be done by mapping the electrical conductivity of the soil (in the form of electromagnetic induction and contact electrodes). The Fuzzy Logic method or also called the fuzzy logic method is one option in determining the determinants of the P trap, where the trap will create a good system if it is known comprehensively by the expert. The research results show that P adsorption which occurs at soil pH below 3 - 5 is adsorbed by acid ions such as Aluminum (Al) and Iron (Fe) in the form of Al-P and Fe-P bonds, based on this, the bond decreases. Every 1 pH digit will increase the adsorption capacity by 78% and at pH 5 - 6 it will increase the adsorption capacity by 47 - 52% for each decrease in the digit. This can certainly be detrimental because if the information is not conveyed it will result in a loss of P in the soil. The Android application being worked on is currently in beta-test.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license.



Pendahuluan

Pertanian presisi saat ini menjadikan suatu indikator keberhasilan dalam pelaksanaan budidaya yang dilakukan dilapangan. Pertanian presisi atau Precision Agriculture memperkenalkan konsep atau prinsip mendasar dalam penerapan aplikasi yang akan digunakan adapun prinsip tersebut merupakan factor suksesti dalam pelaksanaan pemupukan yang berdasarkan 4 T yaitu tepat jenis, tepat waktu, tepat cara, tepat sumber, dan tepat jumlah. Lahan pertanian yang digunakan umumnya tidak seragam dari segi kesuburan terutama hara tanah yang akan mempengaruhi produksi pertanian ke depannya. Oleh karena itu, diperlukan pengambilan contoh tanah yang tepat dan pembuatan peta tanah yang dapat dilakukan dengan cara pembuatan pemetaan konduktivitas elektrik tanah (berupa induksi elektromagnetik dan elektroda kontak). Selain itu, dalam sistem Precision Agriculture terdapat monitoring hasil, variabel tingkat aplikasi dan teknologi, kontrol otomatis dalam penyiraman dan aplikasi pupuk kimia cair yang disertai dengan sensor, serta sistem panduan berupa sistem lightbar dan mesin otomatis yang dapat meningkatkan efisiensi kerja di lahan pertanian mulai dari penanaman hingga pemanenan [1], [2].

Terkelolanya sebuah lahan pertanian yang baik, diikuti juga dengan ketersediaan hara yang cukup bagi tanaman, tetapi kondisi yang mempengaruhi sangat tinggi salah satunya adalah ketersediaan P (Fosfat) di dalam tanah sehingga perlu adanya kajian khusus yang mendalam untuk dapat memenuhi parameter ini. Terbentuknya suatu sistem jerapan ini didukung

dengan adanya penggunaan pupuk Fosfat, dimana pupuk ini merupakan salah satu bahan baku yang ditambang dan jarang adanya tersedia secara sintesis/buatan. Apabila ada harga yang terpatok tinggi serta akan menimbulkan kesulitan bagi petani atau pembudidaya. Perlunya penanganan yang tepat menjadikan hal penting dalam terjadinya jerapan Fosfat, karena factor diatas maka ketidaktahuan para pembudidaya dan petani menjadikan factor penentu suksesi budidaya [3]–[5]

Dewasa ini, digitalisasi sudah mengubah cara konvensional menjadi sebuah sistem digital berupa teks, audio, angka, dan visual. Dalam hal ini, prosesi digitalisasi menjadi kebutuhan mutlak yang tidak bisa dihindari dan haruslah dihadapi. Digitalisasi menjadikan seseorang yang tidak ahli menjadi seorang ahli hanya dengan bermodalkan gadget (gawai), tentu dengan adanya proses ini menjadikan sebuah pemikiran baru untuk memanfaatkan adanya digitalisasi tersebut. Proses digitalisasi tersebut berkembang menjadi sebuah sistem pakar, dimana sistem pakar ini merupakan sistem informasi berisi pengetahuan seorang pakar dan kemudian dimanfaatkan sebagai prosesi konsultasi [6]. Pengetahuan sistem pakar ini juga mendukung dalam dunia pertanian dimana sistem pakar yang diprogram untuk sektor pertanian dapat memberikan rekomendasi untuk pengambilan keputusan secara cepat dan efisien daripada sistem non-pakar dalam memecahkan masalah yang bersifat kompleks.

Fosfor merupakan unsur hara esensial yang penting bagi tanaman dan keberadaannya tidak dapat digantikan unsur hara lainnya. Unsur hara fosfor (P) pada tanaman padi dapat mendorong dalam pembentukan bulir gabah, sehingga dapat mendukung produksi yang maksimal dan memiliki kandungan gizi yang lebih baik sehubungan dengan kadar P dalam biji, sehingga kebutuhan fosfor bagi tanaman dalam jumlah yang relatif banyak. Pemupukan fosfor di lahan sawah seringkali dilakukan secara intensif pada setiap musim tanam, Pemupukan fosfor secara intensif tanpa memperhatikan status unsur hara fosfor (P) tanah dapat menyebabkan penimbunan unsur hara fosfor (P) dalam tanah yang sebenarnya dapat digunakan sebagai sumber nutrisi P untuk tanaman padi. Penimbunan unsur P dalam lahan sawah terjadi karena sifat unsur P yang imobil, sehingga kurang tersedia bagi tanaman [7]

Metode Fuzzy Logic atau disebut juga metode logika fuzzy menjadi salah satu pilihan dalam menentukan penentu jerapan P, dimana jerapan tersebut akan menjadikan sistem yang baik apabila diketahui secara komprehensif oleh sang pakar. Keterkaitan sistem pakar juga akan menjadi suatu penentu yang sah apabila dapat mendukung pertanian presisi yang kemudian dapat diimplementasikan dilapangan secara menyeluruh tanpa menyesatkan. Terjadinya sebuah program juga membutuhkan algoritma yang ditemukan dengan penelitian sebelumnya, sehingga perlu improvisasi yang baik dan benar [8], [9].

Fosfor yang ada di dalam tanah dalam bentuk organik dan anorganik. Bentuk organik P

ditemukan dalam bahan organik dan humus. Fosfor dalam bahan organik dilepaskan melalui proses mineralisasi melibatkan organisme tanah. Aktivitas mikroba ini sangat dipengaruhi oleh kelembaban tanah dan suhu. Fosfor anorganik bermuatan negatif di sebagian besar tanah. Fosfor bereaksi dengan besi (Fe) bermuatan positif, aluminium (Al), dan kalsium (Ca) untuk membentuk zat relatif tidak larut.

Kelarutan senyawa fosfor anorganik secara langsung mempengaruhi ketersediaan P untuk pertumbuhan tanaman. Ketersediaan unsur hara di dalam tanah akan optimal pada tingkat kemasaman tanah mendekati netral. Pada kondisi masam hara tanah tidak tersedia karena sebagian besar terfiksasi oleh Al dan Mn pada lahan kering, Fe dan Mn pada lahan sawah.

Sedangkan pada tanah bereaksi basa hara tidak tersedia karena terfiksasi oleh hara Ca. Kehilangan hara P ini akan menjadikan tanaman kelaparan P, sehingga mengurangi ketersediaannya. Pentingnya dalam mengkaji ketersediaan hara P dapat menggunakan berbagai indikator, diantaranya adalah dengan menganalisa secara seimbang antara pemberian P kedalam tanah dan penggunaan pupuk organik yang dimasukkan kedalam tanah [10].

Pelaku pembudidaya biasanya tidak mengetahui banyak hal terkait dengan kehilangan Fosfat di dalam tanah, kehilangan ini padahal dapat menggunakan cara yang lebih mudah dan murah apabila mengetahui berbagai macam jenis tanah serta pH tanah yang ada dilapangan, penelitian yang dilakukan oleh Putra et al., (2020) menyatakan bahwa simulasi ketersediaan hara disebabkan oleh adanya factor tekstur dan pH tanah yang terkandung di dalam tanah, factor penentu itu menjadi bagaimana ketersediaan dari hara N, P, dan K.

Perkebunan kelapa sawit membutuhkan informasi dalam hal penerapan pemupukan fosfat, hal ini karena kurangnya pengetahuan mengenai jerapan P dan juga karena adanya keterbatasan teknologi sehingga perlu adanya sistem yang memberi informasi secara komprehensif dalam peran peningkatan kualitas budidaya dan hasil pertanian [11]

Teknologi Precision Agriculture dapat didefinisikan sebagai seperangkat teknologi yang telah membantu mendorong pertanian ke dunia informasi berbasis komputerisasi, dan dirancang untuk membantu petani mendapatkan kontrol lebih besar atas pengelolaan operasi pertanian. Precision Agriculture didasarkan pada beberapa teknologi yang terpisah, namun pada bagian-bagian yang saling bergantung, yang bersama-sama membentuk dasar untuk sistem manajemen individu. Teknologi Precision Agriculture (PFT) dirancang untuk memberikan informasi dan data untuk membantu petani ketika membuat keputusan manajemen spesifik (Site-Specific Management/SSM) [6], [12].

Metode Fuzzy Logic digunakan juga sebagai pergantian dari metode analisa cepat dengan kalkulator, penguasaan ini dapat mendukung adanya algoritma dari range angka yang

kemudian dijadikan data pengacu dalam pengambilan keputusan yang digunakan [9]. Metode ini dinilai paling cocok untuk perangkat lunak android yang dapat digunakan oleh orang awam atau pelaku pembudidaya secara umum sehingga dapat meningkatkan para pakar lapangan hanya dengan menggunakan aplikasi yang nantinya membuat kemudahan dalam menilai ada tidaknya jerapan P di dalam tanahnya.

Dalam penelitian simulasi kehilangan hara di dalam tanah oleh Putra et al (2020) menyatakan bahwa setiap nutrisi dipengaruhi oleh tekstur dan pH tanah, hal ini menjadi acuan dalam penelitian ini sehingga memberikan input yang tepat untuk factor eksternal budidaya dimana factor – factor tersebut adalah pemupukan, manajemen hara, nutrient balance, dan nutrient availability.

Metode

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Yogyakarta dalam rentang waktu Mei sampai dengan Agustus 2023

Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan yaitu:

1. Survey dan pengambilan sampel tanah sebagai bahan indikator jerapan P
Pengambilan sampel tanah ini menggunakan 2 jenis tanah dengan pH yang berbeda yaitu pada tanah Vertisol dan Latosol (tanah dengan pH tanah tinggi dan pH tanah rendah)
2. Analisa Laboratorium untuk ketersediaan P
Analisa dilakukan di UPT Laboratorium INSTIPER Yogyakarta dengan metode *Bray-Olsen* dan *Venadat-Molibdat*
3. Proyeksi algoritma dan program pakar yang digunakan
Algoritma dari pemetaan angka pada pH tanah serta jenis tanah yang digunakan, adapun algoritma yang digunakan adalah penghitungan rentang angka dari 3 – 8.
4. Pembuatan *Inference Engine*
Pembuatan ini dengan menggunakan aplikasi bernama Android Studio Versi 10.
5. Pembuatan Aplikasi
Pembuatan aplikasi dengan Android Studio Versi 10
6. Uji Coba aplikasi

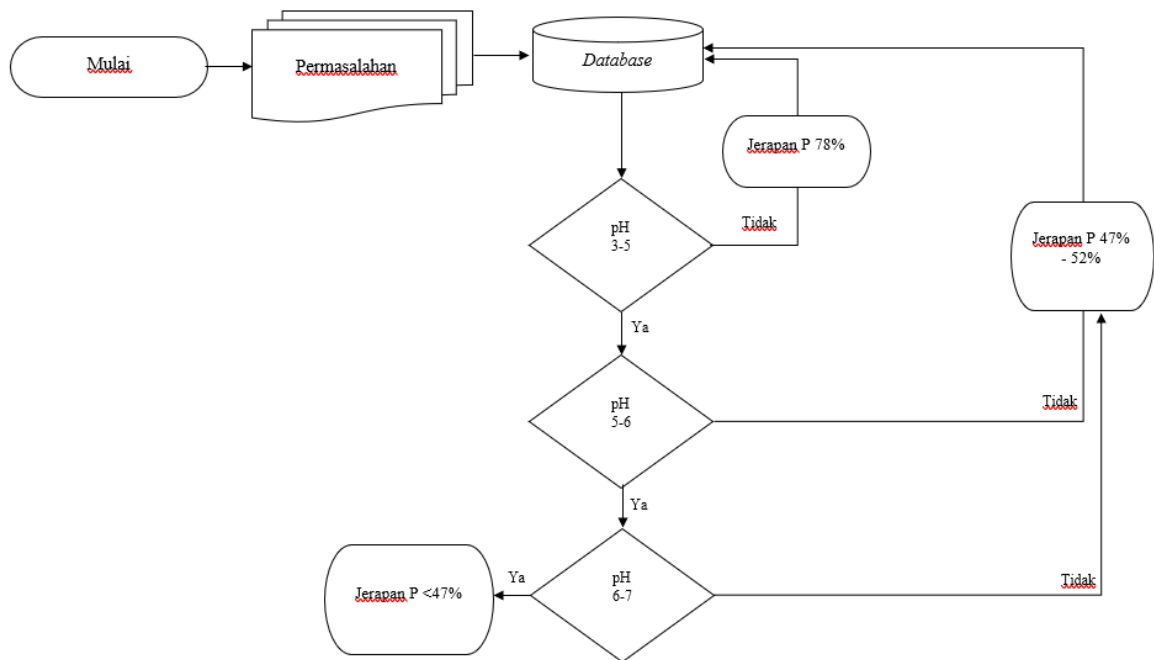
Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan Panel, dimana rancangan ini melibatkan

pengumpulan data dari subjek yang sama selama beberapa periode waktu, tetapi dalam hal ini, fokusnya lebih pada pengamatan atau pengukuran yang berulang dari subjek yang sama. Kemudian dalam penentuan metode ini memunculkan kerangka berfikir untuk program pakar berdasarkan variabel macam pH yang disusun atas beberapa algoritma penerima angka program.

Metode Program

Adapun metode berfikir program dijabarkan pada bagan dibawah ini:



Gambar 1. Kerangka Berfikir Program Pakar

Hasil dan Pembahasan

Precision agriculture memiliki tiga komponen penting yaitu informasi, teknologi dan manajemen. Precision agriculture merupakan strategi manajemen yang menggunakan teknologi informasi untuk membawa data dari berbagai sumber untuk membuat keputusan terkait dengan produksi tanaman.

Hal ini memungkinkan untuk pengelolaan keragaman spasial dan temporal pada lahan, pengurangan biaya, peningkatan kuantitas dan kualitas hasil dan pengurangan dampak lingkungan. Teknologi Precision Agriculture dapat didefinisikan sebagai seperangkat teknologi yang telah membantu mendorong pertanian ke dunia informasi berbasis komputerisasi, dan dirancang untuk membantu petani mendapatkan kontrol lebih besar atas pengelolaan operasi pertanian.

Tabel 1. Parameter Pengujian dan Hasil Interpretasi

No	Parameter	Cara Pengujian	Hasil Interpretasi
1	Pengujian P – Organik	<i>Bray - Olsen</i>	pH 3-4-5: Terjerap 78% dengan simulasi ketersediaan 100% pH 5 – 6: Terjerap 50% dengan simulasi ketersediaan 100% pH 6-7: terjerap 10% dengan simulasi ketersediaan 100%
2	Pengujian P - Anorganik	Vanadat Molibdat	pH 3-4-5: Terjerap 66% dengan simulasi ketersediaan 100% pH 5 – 6: Terjerap 41% dengan simulasi ketersediaan 100% pH 6-7: terjerap 8% dengan simulasi

			ketersediaan
			100%
3	Penentuan Algoritma	<i>Fuzzy Logic</i>	pH tanah pada range: 3 – 4 – 5: Jerapan 66 – 78% 5 – 6: Jerapan 41 – 50% 6 – 7: Jerapan 8 – 10%
4	Algoritma	<i>Fuzzy Logic</i>	Program Pakar

Dalam pemupukan aspek kehilangan (missing nutrient) sering kali tidak diperhatikan para praktisi sehingga efisiensi dan efektifitas pemupukan masih sangat rendah. Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai media informasi yang komprehensif tentang ketersediaan dan hilangnya unsur hara dalam melakukan perawatan atau budidaya tanaman kelapa sawit. Tanah sebagai media tanam diharapkan dapat menyuplai kebutuhan tanaman sebagai aspek yang berkelanjutan dan berkesinambungan [13].

Dalam perlakuan hasil analisa dalam laboartorium, terjabarkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. Hasil analisa laboratorium

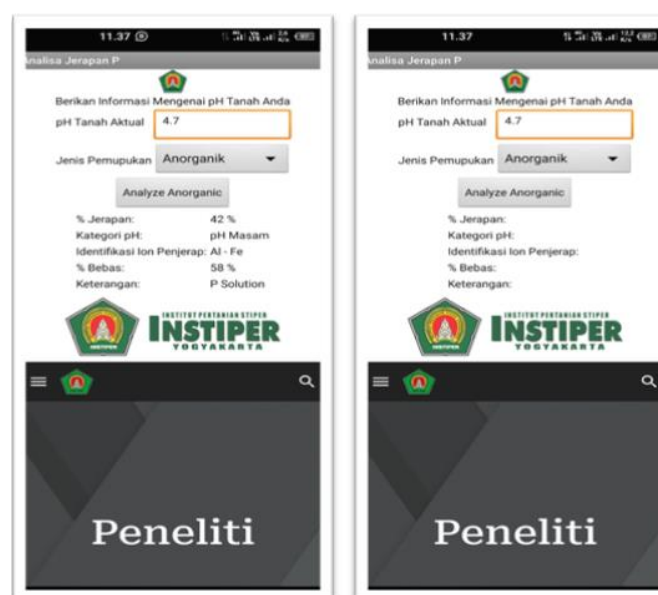
P - Organik						
pH	Jerapan (%)	Parameter	Pengujian	Ion Penjerap	P Terbebas	Keterangan
3	78	pH Masam	<i>Bray-Olsen</i>	Al-Fe	22	P Solution
4	54	pH Masam	<i>Bray-Olsen</i>	Al-Fe	46	P Solution
5	23	pH Agak Masam	<i>Bray-Olsen</i>	Al-Fe	77	P Clay
6	12	pH Netral	<i>Bray-Olsen</i>	Ca-Mg	88	P Clay
7	4	pH Netral	<i>Bray-Olsen</i>	Ca-Mg	96	P Clay
8	16	pH Agak Basa	<i>Bray-Olsen</i>	Ca-Mg	84	P Solution
P - Anorganik						
pH	Jerapan (%)	Parameter	Pengujian	Ion Penjerap	P Terbebas	Keterangan
3	66	pH Masam	<i>Venadat-Molibdat</i>	Al-Fe	34	P Solution
4	42	pH Masam	<i>Venadat-Molibdat</i>	Al-Fe	58	P Solution
5	36	pH Agak Masam	<i>Venadat-Molibdat</i>	Al-Fe	64	P Clay

6	10	pH Netral	Venadat-Molibdat	Ca-Mg-Al	90	P Clay
7	3	pH Netral	Venadat-Molibdat	Ca-Mg	97	P Clay
8	33	pH Agak Basa	Venadat-Molibdat	Ca-Mg	67	P Solution

Berdasarkan hasil analisa kemampuan tanah yang menyerap P dipengaruhi oleh pH tanah, dimana pH tanah rendah akan dijerap oleh Fe (Besi) dan Al (Aluminium) kemudian pada pH tinggi fosfat akan dijerap oleh Ca (Kalsium) dan Mg (Magnesium). Penjerapan ini berdasarkan pH tanah menjadikan indikator yang diperlukan untuk program pakar, dimana program pakar akan merefleksikan hasil dan memberikan input sesuai dengan keterangan yang dibaca oleh algoritma program. Dalam hal ini, keterkaitan antar pH tanah akan meningkatkan jerapan P dalam kondisi turun tiap 1 digit angka pH. Hal ini diduga adanya pengaplikasian pupuk secara terus menerus dan meninggalkan residu P sehingga peningkatan jerapan P juga terjadi di dalamnya [14].

Terjerapnya nutrisi di dalam tanah menjadi pengaruh yang nyata dalam kehilangan fosfat di dalam tanah. Terjerap hara fosfat kemudian menghilangkan kemungkinan terjadinya penyerapan secara efektif oleh tanaman. Pada penelitian ini, terjadinya penurunan pH akan memberikan kemungkinan terjerapnya fosfat sampai dengan 22 - 30% dimana mengikuti setiap digit pH tanah. Peranan program pakar untuk mengetahui seberapa besar fosfat yang dijerap dan kemudian memberikan rekomendasi kepada para pembudidaya dalam melakukan aktivitas budidaya yang baik dan benar. Dalam hal ini, terjadinya miss informasi kemudian memberikan dampak yang merugikan mulai dari konservasi tanah dan kualitas tanah yang menurun [15].

Berikut ini adalah gambar dari tampilan inference program pakar yang telah dibuat



Gambar 2. Tampilan Program Pakar

Simpulan

Peran penting dalam melakukan analisa jerapan P adalah untuk mengetahui ketersediaan unsur esensial P yang dimana sangat mempengaruhi pertumbuhan vegetatif dan generative tanaman. Dalam penentuan jerapan P masih perlu adanya analisis laboratorium yang panjang, diharapkan dengan adanya penelitian ini memberikan waktu yang lebih singkat dan jelas. Jerapan fosfat yang didapatkan ternyata cukup tinggi dimana jerapan tertinggi ada pada pH dengan rentang 3 sampai dengan 5 jumlah jerapan 66 – 78%, sedangkan rentang pH 5 sampai 6 sejumlah 41 – 50% dan rentang pH 6 sampai 7 sejumlah 8 – 10%. Hal ini membuat kerugian yang cukup tinggi apabila tidak dilakukan pemberian pembenah tanah seperti dolomit karena kurangnya pengetahuan tentang jerapan P. Pendalaman materi dalam jerapan P dianggap masih kurang sehingga tool yang akan dibuat nanti diharapkan dapat memberikan informasi terkait jerapan P secara mudah, cepat, dan tepat. Pentingnya peningkatan pengetahuan tentang hal ini menjadikan teknologi sebagai solusi yang sah dan berkebutuhan secara general dengan menyebarkan informasi terkait jerapan P.

Daftar Pustaka

- [1] D. P. P. Suwarno, "TECHNOSOL TANAH MASA DEPAN (Review)," *AGROISTA J. Agroteknologi*, vol. 02, no. 1, pp. 93–107, 2018.
- [2] D. P. Putra, M. P. Bimantio, A. A. Sahfitra, T. Suparyanto, and B. Pardamean, "Simulation of Availability and Loss of Nutrient Elements in Land with Android-Based Fertilizing Applications," in *2020 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 2020, pp. 312–317.
- [3] K. Tiara, "PENGARUH LAMA PENGGILINGAN DENGAN BALL MILL TERHADAP PERUBAHAN BEBERAPA SIFAT FISIK DAN KIMIA BAHAN TANAH VERTIK." Universitas Mataram, 2022.
- [4] A. I. Nabila Anjani, "PENGARUH PUPUK KANDANG AYAM DAN BIOCHAR TERHADAP PERILAKU ADSORPSI FOSFOR (P) DAN P TERPANEN PADA PERTANAMAN PADI GOGO," 2022.
- [5] M. H. Abdillah and D. A. Widiyastuti, "Peningkatan Kualitas Kimia Tanah Sulfat Masam dengan Aplikasi Kombinasi Bahan Organik Lokal dan Limbah Agroindustri," *J. Ilmu Pertan. Indones.*, vol. 27, no. 1, pp. 120–131, 2022, doi: 10.18343/jipi.27.1.120.
- [6] E. Firmansyah, B. Pardamean, C. Ginting, H. G. Mawandha, D. P. Putra, and T. Suparyanto, "Development of Artificial Intelligence for variable rate application based oil palm fertilization recommendation system," in *2021 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 2021, vol. 1, pp. 6–11.
- [7] Z. Zainuddin, Z. Zuraida, and Y. Jufri, "Evaluasi Ketersediaan Unsur Hara Fosfor (P) pada Lahan Sawah Intensif Kecamatan Sukamakmur Kabupaten Aceh Besar," *J. Ilm. Mhs. Pertan.*, vol. 4, no. 4, pp. 603–609, 2020, doi: 10.17969/jimfp.v4i4.12701.
- [8] N. Mahmoudi *et al.*, "Mutating fuzzy logic model with various rigorous meta-heuristic algorithms

- for soil moisture content estimation," *Agric. Water Manag.*, vol. 261, p. 107342, 2022.
- [9] C. Urrea, G. Henríquez, and M. Jamett, "Development of an expert system to select materials for the main structure of a transfer crane designed for disabled people," *Expert Syst. Appl.*, 2015, doi: 10.1016/j.eswa.2014.08.017.
- [10] D. P. P. Saragih, A. Ma'as, and S. Notohadisuwarno, "Various Soil Types, Organic Fertilizers and Doses with Growth and Yields of *Stevia rebaudiana* Bertoni M," *Ilmu Pertan.(Agricultural Sci)*, vol. 3, no. 1, p. 57, 2019.
- [11] K. and V. M. and D. D. Tampubolon, "Dinamika P-tersedia pada limbah cair kelapa sawit dengan beberapa land application," *Kultivasi*, vol. 18, no. 2, pp. 869–874, 2019.
- [12] E. Firmansyah and D. P. Putra, "SMARTFERTI, SISTEM PAKAR PEMUPUKAN KELAPA SAWIT BERBASIS ANDROID," *J. Agroekoteknologi*, vol. 11, no. 1, pp. 9–22, 2019.
- [13] D. P. Putra, N. S. Nugraha, T. Suparyanto, A. A. Hidayat, D. Sudigyo, and B. Pardamean, "A Diversity Inventory Monitoring System of Riparian Vegetation," *2022 4th Int. Conf. Cybern. Intell. Syst. ICORIS 2022*, pp. 0–5, 2022, doi: 10.1109/ICORIS56080.2022.10031560.
- [14] S. FEBRYANI, "Kemampuan Jerapan Fosfat (P) oleh Fraksi Lempung dari Beberapa Jenis Tanah di Lereng Selatan Gunung Ungaran, Semarang." Universitas Gadjah Mada, 2018.
- [15] D. P. Putra, P. Bimantio, T. Suparyanto, and B. Pardamean, "Expert system for oil palm leaves deficiency to support precision agriculture," in *Proceedings of 2021 International Conference on Information Management and Technology, ICIMTech 2021*, Aug. 2021, pp. 33–36, doi: 10.1109/ICIMTech53080.2021.9535083.