

Sistem Deteksi NPK Tanah Portabel Berbasis Sensor Warna TCS3200 untuk Optimasi Lahan Perkotaan

Portable Soil NPK Detection System Based on TCS3200 Colour Sensor for Urban Land Optimisation

**Wildanul Munfarid^{1*}, Khansa Nabilah², Ayu Azkiyah², Hana Hanifa²,
Siti Rachmi Indahsari³, Ahmad Adi Suhendra³**

¹*Program Studi Fisika – Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Universitas Jenderal Soedirman*

²*Program Studi Agroteknologi – Fakultas Pertanian - Universitas Jenderal Soedirman*

³*PT Kilang Pertamina Internasional RU III Plaju Palembang Sumatera Selatan*

*corr-author: wildanul.munfarid@mhs.unsoed.ac.id

ABSTRAK

Untuk meningkatkan produktivitas lahan perkotaan, peningkatan kualitas lahan pertanian sangat penting, terutama melalui pengoptimalan unsur hara tanah seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K). Penelitian ini mengevaluasi efektivitas detektor sensor warna portabel dalam mengukur konsentrasi N, P, dan K pada tanah aluvial perkotaan. Dengan menggunakan sensor TCS3200, dilakukan kalibrasi pada berbagai konsentrasi hara—rendah, sedang, dan tinggi—untuk memastikan sensitivitas dan akurasi pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa detektor portabel memiliki akurasi deteksi antara 80-90% dengan nilai *R-square* yang tinggi untuk setiap unsur hara. Faktor utama yang mempengaruhi akurasi meliputi intensitas cahaya dan jarak antara sensor dan sampel tanah. Pendekatan ini berkontribusi pada penggunaan lahan perkotaan yang berkelanjutan dan efisien.

Kata kunci: Lahan perkotaan; Detektor NPK; Unsur Hara; Sensor Warna

ABSTRACT

*To enhance urban land productivity, improving agricultural land quality is essential, mainly through the optimization of soil nutrients such as Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K). This study evaluates the effectiveness of a portable color sensor detector in measuring the concentrations of N, P, and K in urban alluvial soil. Utilizing the TCS3200 sensor, calibration was conducted at various nutrient concentrations—low, medium, and high—to ensure measurement sensitivity and accuracy. The results indicate that the portable detector demonstrated detection accuracy between 80-90% with high *R-square* values for each nutrient. Key factors affecting accuracy included light intensity and the distance between the sensor and the soil sample. This approach contributes to sustainable and efficient urban land use.*

Keywords: Urban land; NPK detector; Nutrient Element; Color Sensor

PENDAHULUAN

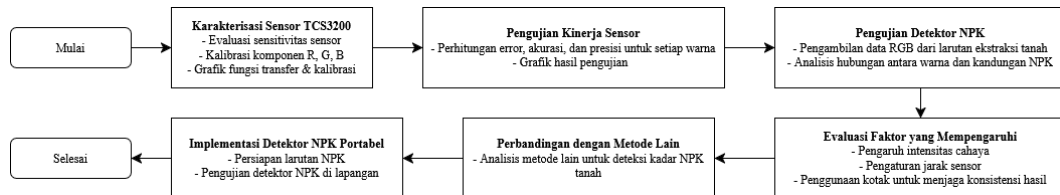
Teori *Urban Sprawl* dan *Land Use Triangle* berkaitan erat dengan perubahan penggunaan lahan di kawasan perkotaan. Teori *Urban Sprawl* menggambarkan proses konversi lahan pertanian ke lahan perkotaan sehingga mengurangi ketersediaan pangan akibat perubahan penggunaan lahan di kawasan perkotaan (Surya *et al.*, 2021). Di sisi lain, teori *Land Use Triangle* menggambarkan penataan ruang atau lahan agar sesuai dengan Rencana Penggunaan Tanah dan Lingkungan (RDTL) yang menggambarkan hubungan erat tiga penggunaan tanah utama yaitu pertanian, perumahan, dan industri (Suprayogi and Rochani, 2021). Hingga saat ini program pembangunan di wilayah perkotaan sering kali mengabaikan kebijakan yang ada. Berdasarkan hasil Musyawarah Rencana Pembangunan (Musrenbang) pada 30 April 2018, kemajuan pembangunan di kota Palembang terus berlanjut (Syahrul and Sadam, 2018). Hanya dalam waktu tiga tahun, jumlah penduduk mengalami peningkatan yang signifikan dari 1.580.517 pada tahun 2015 menjadi 1.643.488 jiwa pada tahun 2018 (Badan Pusat Statistik Palembang, 2018). Sesuai dengan adanya teori *Urban Sprawl*, kepadatan penduduk di Kota Palembang membuat luas lahan yang tersedia hanya sekitar 5% atau 35.855 Ha, sementara ruang terbuka mencakup 3.645 Ha (Harahap and Anisyah, 2021). Dengan demikian, ketersediaan lahan produktif sebagai pendorong aspek pertanian di kota ini dapat dinyatakan sangat terbatas.

Teori *Land Use Triangle* menekankan bahwa pengembangan wilayah harus berintegrasi dengan ketiga penggunaan tanah terutama aspek pertanian. Salah satu pendekatan untuk memaksimalkan produktivitas lahan urban yang terbatas adalah dengan memperbaiki kualitas lahan pertanian (Akrim *et al.*, 2024). Perbaikan kualitas lahan ini mencakup upaya dalam meningkatkan struktur tanah, kandungan bahan organik, dan keseimbangan pH. Penggunaan pupuk NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium) yang tepat dan seimbang memiliki peran penting dalam menyediakan unsur hara esensial bagi tanaman (Hamid *et al.*, 2019). Unsur hara esensial adalah unsur-unsur kimia yang mutlak diperlukan untuk pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi tanaman dan fungsinya tidak dapat digantikan oleh unsur hara jenis lainnya (Lestari *et al.*, 2019). Unsur hara esensial terbagi menjadi dua yaitu makronutrien yang dibutuhkan dalam jumlah besar (nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K)), serta mikronutrien yang dibutuhkan dalam jumlah kecil seperti (besi (Fe), mangan (Mn), dan seng (Zn)). Keberadaan unsur hara esensial berperan penting dalam proses fotosintesis, pembentukan protein, dan regulasi pertumbuhan (Sumiati *et al.*, 2024). Kekurangan salah satu unsur hara esensial dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti pertumbuhan terhambat, perubahan warna daun, dan kerentanan terhadap penyakit (Armita *et al.*, 2022).

Penggunaan pupuk NPK sebagai penunjang dalam penyediaan unsur hara esensial harus dilakukan secara bijaksana dan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan kondisi spesifik lahan dan kebutuhan tanaman (Yuniarti *et al.*, 2022). Hal ini dapat dicapai dengan memahami dan mengoptimalkan kandungan unsur hara tanah di Kota Palembang, khususnya unsur hara makro seperti NPK. Wilayah sekitar Sungai Musi Kota Palembang, tepatnya di Kecamatan Plaju didominasi oleh tanah aluvial dengan sifat fisik padat, tidak terstruktur, dan rendah unsur hara sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan optimal. Dengan demikian, penelitian inovasi pengembangan teknologi ini bertujuan sebagai alat uji portabel berbasis RGB untuk memberikan informasi kadar unsur N, P, dan K agar dapat membantu para petani urban untuk mengoptimalkan penggunaan lahan, meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan pertanian di sekitar Sungai Musi, terutama di Kota Palembang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam satu bulan. Lokasi pembuatan perangkat penelitian adalah Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi di Fakultas MIPA, serta Laboratorium Ilmu Tanah di Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman. Proses penelitian ini terdiri dari empat fase utama, meliputi tahap persiapan, perencanaan dan desain sistem, pengembangan sistem, serta tahap evaluasi sistem sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

1. Tahap Persiapan

Pada fase persiapan, terdapat dua langkah utama yang dilakukan untuk mendukung kelancaran penelitian. Pertama, kajian literatur, di mana peneliti melakukan studi mendalam terhadap referensi yang relevan guna memahami karakteristik sensor, komponen elektronik pendukung, serta menelaah hasil-hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik yang diangkat. Kedua, persiapan alat dan bahan, yang melibatkan proses identifikasi serta pengumpulan berbagai peralatan dan material yang diperlukan untuk pelaksanaan penelitian, sehingga memastikan semua kebutuhan teknis telah siap sebelum memasuki tahap selanjutnya.

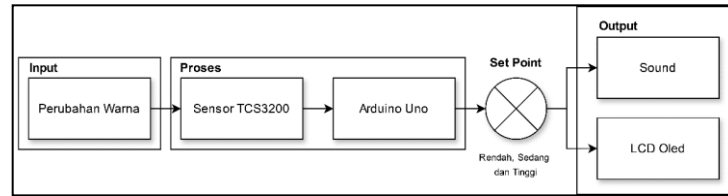
2. Tahap Perancangan Sistem Deteksi NPK

Tahap perancangan sistem deteksi NPK dilakukan dengan merujuk pada hasil kajian literatur untuk memastikan kesesuaian desain dengan kebutuhan fungsional. Desain sistem disusun melalui beberapa representasi visual, yaitu diagram blok, diagram pengkabelan serta model rancangan tiga dimensi. Perancangan ini dilakukan sebelum tahap implementasi untuk memastikan seluruh komponen dan koneksi dapat terintegrasi dengan baik sesuai spesifikasi teknis yang ditetapkan. Diagram blok menjadi elemen awal yang dirancang karena berfungsi untuk merepresentasikan arsitektur sistem secara menyeluruh, menggambarkan hubungan antar komponen utama, serta menunjukkan alur kerja sistem deteksi NPK secara jelas dan sistematis.

a. Diagram Blok

Diagram blok sistem deteksi NPK dirancang untuk menggambarkan alur kerja mulai dari input hingga output. Input berupa perubahan warna ekstraksi sampel tanah yang terdeteksi oleh sensor TCS3200, yang berfungsi mengonversi intensitas warna menjadi sinyal frekuensi. Sinyal ini kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino untuk menganalisis data warna dan membandingkannya dengan *set point* yang telah ditentukan, yaitu kategori NPK rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan hasil analisis, sistem menghasilkan output berupa keterangan NPK yang ditampilkan melalui LCD

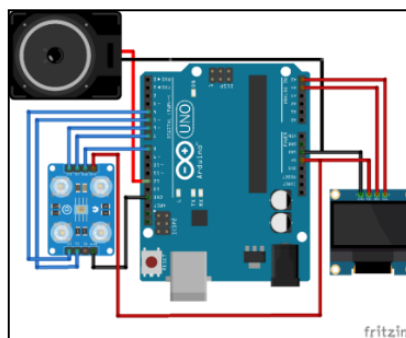
dan disertai *loud speaker* untuk memberikan indikasi kondisi NPK secara lebih jelas kepada pengguna. Rancangan detail dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok sistem pendeteksi

b. Diagram Pengkabelan Sistem

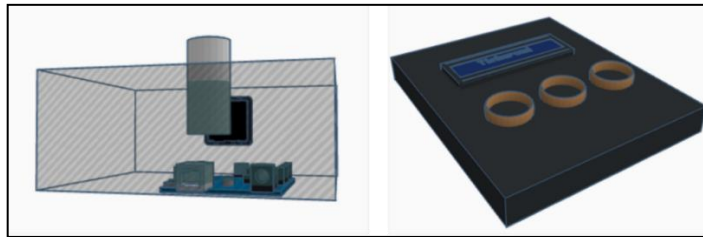
Diagram pengkabelan disusun untuk menunjukkan hubungan antar komponen elektronik dalam sistem secara rinci. Sensor TCS3200 dihubungkan ke Arduino melalui pin input/output digital untuk mentransmisikan sinyal frekuensi hasil deteksi warna. Selain itu, LCD terhubung ke Arduino untuk menampilkan informasi kategori NPK, sedangkan *loud speaker* dihubungkan ke pin output digital sebagai indikator suara. Setiap koneksi kabel dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan tegangan dan arus listrik yang sesuai, memastikan integrasi sistem berjalan stabil dan responsif terhadap perubahan warna larutan yang terdeteksi. Rancangan detail mengenai pengkabelan ini dapat dilihat pada Gambar 3, yang menggambarkan skema koneksi antar komponen secara jelas.



Gambar 3. Diagram pengkabelan sistem pendeteksi

c. Rancangan 3D Sistem

Rancangan 3D sistem dibuat untuk memberikan gambaran visual mengenai tata letak dan integrasi fisik dari semua komponen yang terlibat dalam sistem. Model 3D ini dikembangkan menggunakan perangkat lunak TinkerCAD (Gambar 4). Dengan rancangan 3D ini, posisi dan ukuran setiap komponen dapat dianalisis untuk memastikan bahwa semua elemen dapat dipasang dengan baik dan sesuai dengan ruang yang tersedia, serta mempermudah proses perakitan. Rancangan ini juga membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah atau ketidaksesuaian sebelum tahap pembuatan fisik dilakukan, sehingga memastikan efisiensi dan keberhasilan implementasi sistem secara keseluruhan.



Gambar 4. Rancangan 3D tampilan sistem

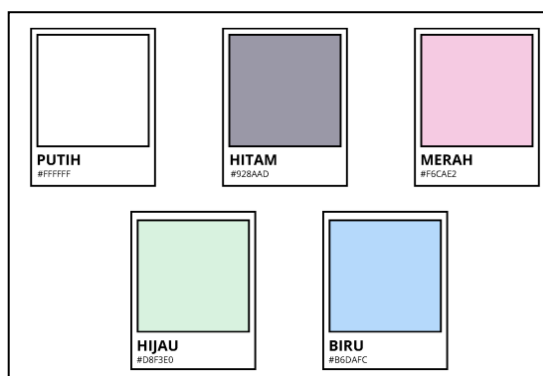
3. Tahap Pembuatan Sistem

Tahap pembuatan sistem dimulai dengan merakit semua komponen yang telah dirancang, seperti sensor TCS3200, Arduino, LCD, dan *loud speaker*, berdasarkan diagram pengkabelan yang telah disiapkan. Proses ini melibatkan penyambungan kabel sesuai dengan skema yang telah dirancang untuk memastikan aliran sinyal yang tepat antara komponen. Setelah perakitan selesai, dilakukan pengujian fungsional pada setiap komponen, termasuk pengujian sensor TCS3200 untuk mendeteksi perubahan warna, serta verifikasi tampilan data NPK pada LCD dan output suara dari *loud speaker*. Program yang telah dibuat kemudian diunggah ke mikrokontroler Arduino untuk mengontrol proses deteksi NPK dan memberikan output yang sesuai berdasarkan nilai yang terdeteksi.

4. Tahap Pengujian

a. Uji Sensor TCS3200

Uji ini dirancang untuk mengevaluasi kualitas sensor. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan fungsi transfer dan kalibrasi yang akan digunakan dalam pengkodean, sehingga mencapai keakuratan antara hasil pengambilan data dan tampilan data di layar. Proses ini melibatkan sensor yang membaca berbagai warna, mulai dari warna primer, warna hitam putih, hingga kombinasi keduanya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan warna primer seperti yang terlihat pada Gambar 5 yang dipilih berdasarkan warna muda. Pemilihan warna muda didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa warna tersebut cenderung muncul dalam pengujian dengan variasi ekstraksi sampel tanah. Setelah data diperoleh, grafik regresi linier dibuat untuk mendapatkan fungsi transfer dan kalibrasi yang diperlukan untuk meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi perubahan warna.



Gambar 5. Standardisasi warna yang digunakan dalam pengujian sensor TCS3200

b. Pengambilan Data RGB untuk Tiap Set-poin

Pada tahap pengambilan data RGB, sensor TCS3200 ditempelkan pada setiap variasi larutan ekstraksi tanah yang akan diuji, dengan konsentrasi unsur hara NPK yang berbeda, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Setiap variasi larutan tersebut menggambarkan kondisi yang berbeda dalam kandungan NPK, yang berpengaruh pada perubahan warna larutan. Sensor TCS3200 kemudian mendeteksi perubahan warna dan mengonversinya menjadi nilai RGB, yang mencerminkan intensitas warna yang terdeteksi. Data RGB yang diperoleh untuk masing-masing *set-point* (rendah, sedang, dan tinggi) selanjutnya digunakan untuk analisis, yang bertujuan menghubungkan perubahan warna dengan kandungan unsur hara dalam ekstraksi tanah.

c. Pengujian Detektor

Pada tahap awal, pengambilan sampel tanah dilakukan dengan memilih jenis tanah yang memiliki karakteristik serupa dengan tanah aluvial Plaju, Palembang yang diambil dari Dukuhwaluh, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah (Gambar 6). Tanah ini dipilih karena kemampuannya dalam mempertahankan kadar air yang cukup baik dan memiliki kandungan unsur hara yang bervariasi, yang penting untuk menguji sistem deteksi NPK berbasis sensor warna. Tanah yang dipilih kemudian dianalisis untuk memastikan bahwa sifat fisik dan kimianya mendekati karakteristik tanah aluvial yang dimaksud, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan uji yang representatif.



Gambar 6. Letak pengambilan sampel tanah

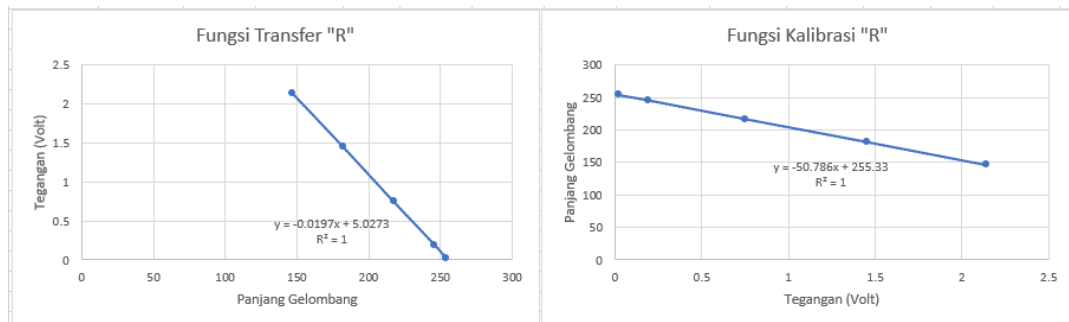
Selanjutnya, sampel tanah yang telah dipilih tersebut diproses dengan cara membuat ekstraksi tanah, yang dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Larutan ekstraksi tanah ini kemudian dimasukkan ke dalam sistem untuk diuji menggunakan sensor TCS3200 guna mendeteksi perubahan warna yang mencerminkan kadar unsur hara dalam tanah. Proses ini bertujuan untuk menguji akurasi sistem dalam mendeteksi perubahan warna yang berhubungan dengan kandungan unsur hara NPK, serta memastikan bahwa sistem dapat memberikan hasil yang konsisten sesuai dengan *set-point* NPK yang telah ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

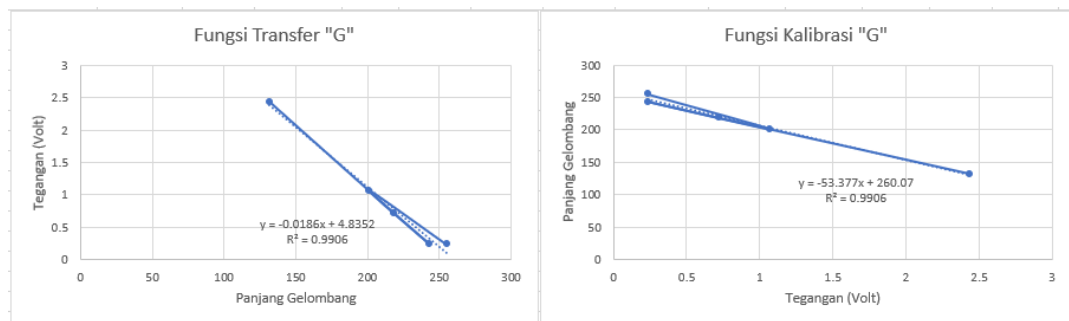
1. Karakterisasi Sensor TCS3200

Karakterisasi sensor dilakukan untuk mengevaluasi sensitivitas, linearitas, dan respons sensor TCS3200 dalam mendeteksi variasi warna ekstraksi tanah, terutama warna primer yang relevan. Proses ini mencakup analisis intensitas cahaya pantulan, konversi frekuensi warna menjadi nilai RGB, serta hubungan antara perubahan warna dan respons

sensor. Hasil karakterisasi digunakan untuk menentukan fungsi kalibrasi guna meningkatkan akurasi sistem deteksi NPK. Pengujian sensor menghasilkan fungsi transfer dan kalibrasi yang mengoreksi keluaran sensor agar sesuai dengan panjang gelombang referensi. Grafik fungsi transfer dan kalibrasi untuk komponen warna merah (R) ditampilkan pada Gambar 7 dengan menghasilkan fungsi $R = -50,786x + 255,33$, sedangkan Gambar 8 dan Gambar 9 masing-masing menyajikan hasil kalibrasi untuk komponen warna hijau (G) dan biru (B). Grafik-grafik ini menunjukkan bahwa kalibrasi mampu mengurangi deviasi data, meningkatkan akurasi deteksi warna, serta memastikan kesesuaian hasil pengukuran dengan nilai referensi.

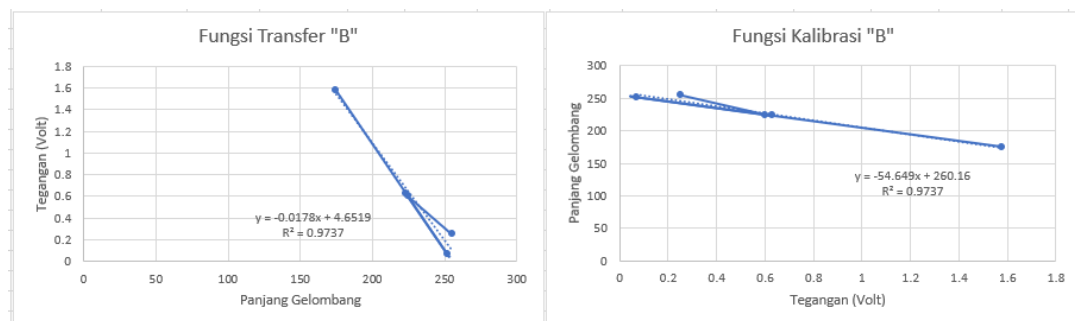


Gambar 7. Grafik fungsi transfer dan kalibrasi untuk elemen "Merah"



Gambar 8. Grafik fungsi transfer dan kalibrasi untuk elemen "Hijau"

Grafik untuk fungsi transfer dan kalibrasi komponen G. Didapatkan fungsi kalibrasi $G = -53,377x + 260,07$ untuk komponen hijau.



Gambar 9. Grafik fungsi transfer dan kalibrasi untuk elemen "Biru"

Grafik untuk fungsi transfer dan kalibrasi komponen B. Didapatkan fungsi kalibrasi $B = -54,649x + 260,16$ untuk komponen warna biru.

Fungsi kalibrasi untuk komponen merah (R) dinyatakan dalam (1) (Nuha, 2023), sedangkan untuk komponen biru (B) dan hijau (G) masing-masing dijabarkan dalam (2) (Hudati *et al.*, 2021) dan (3). Setiap fungsi kalibrasi ini memperbaiki deviasi hasil pengukuran terhadap nilai referensi, memungkinkan sistem untuk menghasilkan data yang lebih presisi. Hasil penerapan fungsi kalibrasi ini dapat dilihat secara rinci pada Tabel 1, yang menunjukkan perbandingan antara data sebelum dan sesudah kalibrasi.

Tabel 1. Data Pengamatan dalam Pengujian Fungsi Kalibrasi Sensor TCS3200

Warna	Cek Fungsi Kalibrasi			Beda		
	R	G	B	R	G	B
Hitam	146,60	130,15	173,98	0,20	-1,45	-0,82
Biru	181,59	221,43	256,33	-0,31	3,13	4,33
Hijau	217,24	247,31	225,84	0,14	3,91	2,74
Merah	245,48	203,12	227,26	-0,32	2,02	2,46
Putih	254,42	247,42	246,28	0,32	-7,58	-8,72

Evaluasi kinerja sensor dilakukan dengan menganalisis data tingkat eror dan akurasi pengukuran terhadap berbagai warna, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Perhitungan tingkat eror dan akurasi dilakukan menggunakan (4) untuk eror dan (5) untuk akurasi, yang dirancang untuk mengukur deviasi hasil pengukuran dari nilai referensi secara kuantitatif. Berdasarkan Tabel 1, tingkat eror tertinggi ditemukan pada warna hitam sebesar 2,20%, yang menunjukkan adanya deviasi signifikan dari nilai referensi, sehingga mengindikasikan perlunya optimasi pada kalibrasi sensor untuk warna dengan intensitas gelap. Sementara itu, tingkat akurasi sensor dalam mendeteksi warna putih mencapai 99,88%, menandakan hasil pengukuran yang sangat mendekati nilai sebenarnya, sedangkan warna hitam menunjukkan akurasi sebesar 97,80%, yang meskipun masih tinggi, menunjukkan sedikit deviasi. Hasil analisis ini memberikan dasar yang kuat untuk perbaikan sistem, khususnya dalam meningkatkan keandalan sensor pada variasi spektrum warna yang lebih luas, serta menjadi acuan dalam penetapan standar akurasi untuk pengukuran yang lebih presisi.

$$\text{Error} = \left(\frac{\text{nilai sebenarnya} - \text{nilai terukur}}{\text{nilai sebenarnya}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{Akurasi} = 100\% - \% \text{Error} \quad (2)$$

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor TCS3200 (Karakterisasi Sensor)

Warna	Error (%)	Akurasi (%)	Standar Deviasi	Presisi (%)
Putih (#FFFFFF)	0,12	99,88	0,10	99,90
Hitam (#928AAD)	2,20	97,80	2,65	97,35
Merah (#F6CAE2)	0,35	99,65	0,56	99,44
Hijau (#D8F3E0)	0,44	99,56	1,61	98,39
Biru (#B6DAFC)	0,06	99,94	0,40	99,60

Standar deviasi digunakan untuk mengukur tingkat konsistensi hasil pengukuran kinerja sensor TCS3200, yang dihitung menggunakan (3). Nilai standar deviasi yang lebih rendah menunjukkan bahwa data pengukuran memiliki variasi yang kecil terhadap nilai rata-rata, mencerminkan stabilitas sensor dalam mendeteksi warna. Berdasarkan Tabel 2, warna putih menunjukkan standar deviasi terendah sebesar 0,10, yang menandakan konsistensi tinggi, sedangkan warna hitam memiliki standar deviasi sebesar 2,65, menunjukkan adanya variasi yang lebih besar dalam hasil pengukuran. Selain itu, presisi

diukur menggunakan (4) (Fatmawati *et al.*, 2023) untuk mengevaluasi seberapa dekat hasil pengukuran berulang terhadap nilai sebenarnya. Hasil pengukuran presisi dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa warna putih memiliki presisi tertinggi sebesar 99,90%, sedangkan warna hitam menunjukkan presisi sebesar 97,35%.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{\text{benar}} - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (3)$$

$$\text{Presisi} = 100\% - \text{Standar Deviasi}(\%) \quad (4)$$

2. Pengujian Detektor

Pengambilan titik sampel pada penelitian ini didasarkan pada penelitian sebelumnya oleh (Setianto *et al.*, 2022), yang menunjukkan bahwa daerah Dukuhwaluh, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah, memiliki karakteristik tanah yang serupa dengan daerah Kecamatan Plaju, Kota Palembang. Pemilihan kedua titik ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil penelitian dapat diterapkan pada wilayah dengan kondisi tanah yang mirip meskipun berada di lokasi geografis yang berbeda. Alasan pemilihan lokasi Dukuhwaluh adalah kesamaan dalam beberapa faktor kunci yang mempengaruhi sifat tanah, seperti jenis tanah, kandungan nutrisi, dan pola curah hujan. Dengan memilih dua titik sampel yang serupa, penelitian ini dapat memperluas validitas temuan dan mengontrol variabel lingkungan yang mungkin mempengaruhi hasil pengukuran sensor, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan dapat diandalkan untuk aplikasi di berbagai wilayah.

Tahap pengujian detektor, dilakukan pengambilan data RGB dengan menempatkan sensor TCS3200 pada larutan ekstraksi tanah yang telah divariasikan dengan konsentrasi unsur hara NPK pada tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Setiap variasi larutan ini menggambarkan kandungan NPK dan kandungan nutrisi, yang berpengaruh terhadap perubahan warna larutan. Sensor TCS3200 kemudian mendeteksi perubahan warna tersebut dan mengonversinya menjadi nilai RGB, yang merepresentasikan intensitas warna merah, hijau, dan biru. Data RGB yang diperoleh pada setiap *set-point* digunakan untuk menganalisis hubungan antara perubahan warna dan kandungan unsur hara dalam larutan, serta untuk meningkatkan akurasi sistem dalam mendeteksi perubahan NPK berdasarkan warna.

Sebelum pengujian pada kondisi tanah sesungguhnya, dilakukan uji respon sensor terhadap berbagai kondisi terkontrol konsentrasi unsur hara, yaitu nitrogen, fosfor, dan kalium pada tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Pengujian ini bertujuan sejauh mana akurasi yang telah diperoleh sebelum dalam kondisi nyata. Hasil dari pengujian tersebut, yang dapat dilihat pada Tabel 3, menunjukkan kemampuan sensor dalam membedakan warna yang dipengaruhi oleh konsentrasi masing-masing unsur hara. Penelitian ini dilakukan di lokasi yang memiliki karakteristik tanah serupa dengan tanah aluvial di Kecamatan Plaju, Kota Palembang, untuk memastikan relevansi hasil terhadap kondisi tanah di daerah tersebut, serta mendukung aplikasi sensor di berbagai wilayah dengan karakteristik tanah yang serupa.

Hasil uji perbandingan untuk lokasi pertama dengan tiga titik sampel tanah yang diuji menggunakan pereaksi menunjukkan kandungan nitrogen pada lokasi pertama dalam tiga titik tersebut adalah rendah. Kandungan fosfor berturut-turut rendah, sedang, dan tinggi, sedangkan kandungan kalium dalam tiga titik tersebut adalah tinggi (Tabel 4). Variasi kandungan fosfor ini mengindikasikan adanya heterogenitas kesuburan tanah sehingga diperlukan upaya peningkatan kandungan nitrogen dan optimalisasi penggunaan fosfor untuk meningkatkan produktivitas tanaman di lokasi pertama.

Tabel 3. Error, Akurasi, Standar Deviasi, dan Presisi dari Kondisi Pengujian NPK

Kandungan	Error (%)			Akurasi (%)			Standar Deviasi			Presisi (%)		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
Nitrogen	10	0	30	90	100	70	0,3	0	0,5	99,7	100	99,5
Fosfor	0	10	0	100	90	100	0	0,3	0	100	99,7	100
Kalium	10	10	10	90	90	90	0,3	0,3	0,3	99,7	99,7	99,7

dimana :

R = Rendah

S = Sedang

T = Tinggi

Tabel 4. Pengujian Kandungan Unsur Hara dengan Pereaksi Lokasi 1

Unsur Hara	Lokasi 1 Titik 1	Lokasi 1 Titik 2	Lokasi 1 Titik 3
Nitrogen	Rendah	Rendah	Rendah
Fosfor	Rendah	Sedang	Tinggi
Kalium	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Hasil pengujian kandungan unsur hara di lokasi pertama, sebagaimana disajikan dalam Tabel 4, menunjukkan bahwa alat detektor yang digunakan mampu mengukur kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dengan tingkat akurasi yang bervariasi pada titik-titik yang diuji. Pengukuran untuk nitrogen menunjukkan akurasi sebesar 86,67%, fosfor 93,33%, dan kalium 80%, dengan tingkat akurasi total yang mencapai 86,67%. Angka-angka ini menunjukkan bahwa alat detektor dapat memberikan estimasi kandungan unsur hara pada tanah dengan cukup baik, meskipun terdapat sedikit variasi pada masing-masing unsur.

Hasil uji perbandingan yang dilakukan di lokasi kedua, sebagaimana disajikan dalam Tabel 5, menunjukkan bahwa kandungan unsur hara pada ketiga titik sampel tanah yang diuji menggunakan pereaksi mengalami kesamaan dengan pengujian di lokasi pertama. Kandungan nitrogen (N) di ketiga titik sampel tanah terdeteksi pada tingkat rendah, sedangkan kandungan fosfor (P) bervariasi dari rendah, sedang, hingga tinggi, dan kandungan kalium (K) terdeteksi pada tingkat tinggi di semua titik sampel. Pengujian ini menghasilkan akurasi yang cukup baik, dengan nitrogen (N) terukur sebesar 86,67%, fosfor (P) sebesar 100%, dan kalium (K) 93,33%, serta tingkat akurasi total mencapai 93,33%. Dengan demikian, hasil pengukuran di lokasi kedua menunjukkan bahwa alat detektor yang digunakan tetap mampu memberikan estimasi kandungan unsur hara dengan tingkat akurasi yang dapat diandalkan. Secara umum, kondisi tanah di lokasi kedua mengindikasikan perlunya peningkatan kandungan nitrogen dan pengelolaan fosfor yang lebih baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Hasil ini menjadi acuan penting dalam pengelolaan tanah, serta memberikan bukti lebih lanjut tentang efektivitas penggunaan detektor dalam evaluasi unsur hara tanah di berbagai lokasi.

Tabel 5. Pengujian Kandungan Unsur Hara dengan Pereaksi Lokasi 2

Unsur Hara	Lokasi 2 Titik 1	Lokasi 2 Titik 2	Lokasi 2 Titik 3
Nitrogen	Rendah	Rendah	Rendah
Fosfor	Rendah	Sedang	Tinggi
Kalium	Tinggi	Tinggi	Tinggi

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di lokasi pertama dan kedua, dapat disimpulkan bahwa alat detektor yang digunakan memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengukur kandungan unsur hara tanah, khususnya nitrogen (N), fosfor (P), dan

kalium (K). Kedua lokasi menunjukkan bahwa alat detektor dapat memberikan estimasi yang efektif terhadap kandungan unsur hara tanah meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam kondisi tanah antara kedua lokasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa alat detektor ini dapat diandalkan untuk analisis kandungan unsur hara tanah di berbagai lokasi dengan tingkat akurasi yang baik dan konsisten.

3. Faktor yang Mempengaruhi

Salah satu faktor yang mempengaruhi akurasi dan konsistensi hasil pengukuran sensor adalah intensitas cahaya. Perubahan intensitas cahaya dapat menyebabkan fluktuasi dalam hasil pengukuran sehingga dapat mempengaruhi keandalan data yang diperoleh. Misalnya, jika intensitas cahaya terlalu tinggi atau terlalu rendah, sensor kurang dapat mendeteksi nilai yang sebenarnya dari objek yang diukur, sehingga menghasilkan data yang kurang akurat. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan sebuah kotak (box) khusus yang dirancang untuk menjaga intensitas cahaya agar tetap konstan selama pengukuran sehingga hasilnya akurat. Kotak ini berfungsi sebagai penutup yang mengisolasi sensor dari pengaruh cahaya luar yang tidak terkontrol, dengan menggunakan kotak ini, hanya cahaya dari sumber yang telah diatur dan di standardisasi yang mencapai sensor. Solusi ini terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan hasil pengujian, sebagaimana terlihat dari hasil pengamatan yang lebih stabil dan sesuai dengan referensi yang diharapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan penggunaan kotak ini, variasi dalam hasil pengukuran berkurang secara signifikan, yang pada akhirnya meningkatkan keakuratan dan konsistensi data yang diperoleh dari sensor. Selain itu, penggunaan kotak dapat mengurangi kebutuhan untuk kalibrasi ulang sensor.

Selain intensitas cahaya, jarak antara sensor dan sampel tanah juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi akurasi hasil pengukuran. Jarak yang tidak konsisten dapat menyebabkan variasi dalam pembacaan sensor, sehingga dapat mempengaruhi nilai yang terdeteksi oleh sensor. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menetapkan jarak yang tetap antara sensor dan sampel tanah selama proses pengukuran. Dengan menentukan jarak yang tetap, variabilitas yang disebabkan oleh perubahan jarak dapat diminimalkan, sehingga hasil pengukuran menjadi lebih akurat dan konsisten. Solusi ini diterapkan dengan menggunakan penyangga atau alat penopang yang memastikan sensor berada pada jarak yang tepat dan konsisten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menentukan jarak yang tetap antara sensor dan sampel tanah, akurasi pengukuran dapat ditingkatkan secara signifikan. Data hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih rendah dan konsistensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan tanpa pengaturan jarak yang tetap.

4. Perbandingan Metode Lain

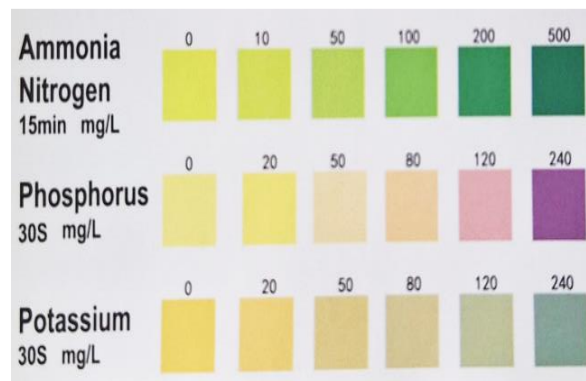
Pengujian kadar NPK yang terkandung dalam tanah secara umum masih menggunakan analisis laboratorium. Analisis laboratorium akan memberikan hasil akurat, namun membutuhkan biaya yang relatif tinggi, waktu yang lama, serta peralatan laboratorium yang rumit (Amri and Sumiharto, 2019). Sebagai alternatif lain, penelitian untuk mendeteksi kandungan unsur hara telah dilakukan dengan berbagai macam metode. Salah satunya menggunakan metode induksi medan magnet untuk mengetahui kadar unsur hara tanah dengan melihat respon tegangan dari penambahan variasi massa dan konsentrasi larutan pupuk NPK (Salsabila *et al.*, 2021). Selain itu, kadar unsur hara tanah pertanian dapat diketahui secara simultan dengan menggunakan metode *Near Infrared Reflectance Spectroscopy* (NIRS) (Devianti *et al.*, 2019). Perancangan sistem monitoring unsur hara dan kelembapan tanah juga telah dilakukan oleh As'ari *et al.* (2021), menggunakan sensor analog untuk mendeteksi unsur hara yang dikombinasikan dengan raspberry pi serta sensor

YL-69 untuk mendeteksi kelembapan tanah secara *real time*. Namun, dalam kondisi lapangan petani membutuhkan suatu alat yang praktis sehingga mudah digunakan. Oleh karena itu, penelitian detektor NPK portabel berbasis sensor warna dilakukan untuk membantu petani dalam mendeteksi kandungan unsur hara tanah dengan lebih mudah dan efisien. Alat ini menggunakan sensor warna untuk mengidentifikasi kandungan unsur N, P, dan K dalam tanah melalui perubahan warna yang dihasilkan saat bereaksi dengan sampel tanah, sehingga dapat menjadi pilihan yang ideal bagi petani urban terkhusus di daerah Plaju yang memerlukan solusi cepat dan praktis di lapangan, namun tetap memberikan hasil yang akurat.

5. Implementasi dan Interpretasi Data

Detektor NPK portabel yang telah dirancang dapat diimplementasikan langsung saat di lapangan. Untuk mengoperasikan alat ini, bahan utama yang diperlukan adalah pereaksi NPK yang dapat memberikan tingkatan warna yang berbeda berdasarkan sampel tanah yang diambil. Tahapan yang dilakukan sebelum status hara tanah ditentukan oleh detektor mencakup pembuatan larutan NPK. Pertama, untuk pembuatan larutan P dan K, 2 gram sampel tanah disiapkan, 10 ml air ditambahkan, kemudian dikocok hingga homogen dan didiamkan selama 30 menit. Air endapan tanah sebanyak 2 ml dipisahkan untuk masing-masing 2 tabung reaksi, lalu 2 tetes pereaksi P ditambahkan ke dalam tabung reaksi pertama dan 2 tetes pereaksi K ditambahkan ke dalam tabung reaksi kedua, kemudian larutan dikocok hingga homogen dan didiamkan selama 1 menit. Pembuatan larutan N, dilakukan dengan menyiapkan 2 gram sampel tanah dan tambahkan 10 ml air, kemudian dikocok hingga homogen dan didiamkan selama 30 menit. Larutan aktivator N sebanyak 2 ml disiapkan di dalam tabung reaksi, 2 tetes larutan tanah ditambahkan ke dalam tabung reaksi dan dikocok hingga homogen. Larutan kemudian ditunggu selama 1 menit, lalu 2 tetes pereaksi N ditambahkan dan didiamkan selama 10 menit. Dengan langkah-langkah tersebut, penentuan status hara tanah oleh detektor NPK portabel dapat dilakukan secara akurat dan efisien saat berada di lapangan.

Detektor NPK portabel digunakan untuk mendeteksi hasil warna dari larutan NPK yang mengikuti standar warna dari *Soil Test Kit*. Warna tersebut memberikan indikasi tentang kandungan nutrisi dalam tanah. Nitrogen memiliki rentang 0-10 ppm menghasilkan warna hijau pucat yang menandakan kandungan nitrogen rendah, 50-100 ppm menghasilkan warna hijau muda yang menandakan kandungan nitrogen sedang, dan 200-500 ppm menghasilkan warna hijau tua yang menandakan kandungan nitrogen tinggi. Fosfor memiliki rentang 0-20 ppm dengan warna kuning pucat yang menandakan kandungan fosfor rendah, 50-80 ppm menghasilkan warna krem yang menandakan kandungan fosfor sedang, dan 120-240 ppm menghasilkan warna oranye muda atau merah muda yang menandakan kandungan fosfor tinggi. Kalium dengan rentang 0-20 ppm menghasilkan warna *ochre yellow* yang menandakan kandungan kalium rendah, 50-80 ppm menghasilkan warna *olive* yang menandakan kandungan kalium sedang, dan 120-240 ppm menghasilkan warna *reseda green* yang menandakan kandungan kalium tinggi. Tingkatan warna tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. Dengan mendeteksi warna-warna ini, detektor NPK portabel mampu memberikan informasi akurat mengenai status hara tanah sekaligus rekomendasi dosis pupuk sehingga membantu petani dalam mengoptimalkan penggunaan pupuk dan meningkatkan hasil pertanian secara efisien.



Gambar 10. Standar warna reaksi NPK

KESIMPULAN

Detektor portabel berbasis color sensor menunjukkan kinerja yang cukup baik dalam mendeteksi kandungan N, P, dan K pada tanah aluvial di lahan urban dengan tingkat akurasi deteksi sebesar 80-90% dan nilai *R-squared* yang tinggi untuk setiap parameter. Data hasil deteksi diinterpretasikan menggunakan perbandingan standar kandungan N, P, dan K untuk tanah aluvial di lahan urban antara pereaksi dengan alat detektor. Hasil interpretasi data dapat digunakan untuk menentukan rekomendasi pemupukan yang tepat. Implementasi detektor portabel dapat berkontribusi pada pencapaian beberapa target keberlanjutan, seperti membantu petani lahan urban dalam mengelola tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi pencemaran lingkungan, meningkatkan produktivitas tanaman, dan meningkatkan ketahanan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akrim, D., Angela, L. A., Syaiful, A. Z., and Presentya, Y. (2024) 'Resiliensi ketahanan pangan: studi pendahuluan urban farming berkelanjutan di Kota Makassar', *JEBE: Journal of Environment Behavior and Engineering*, 2(2): 14-27.
- Amri, M. M., and Sumiharto, R. (2019) 'Sistem pengukuran nitrogen, fosfor, kalium dengan local binary pattern dan analisis regresi', *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 9(2): 107.
- Armita, D., Wahdaniyah, W., Hafsan, H., and Al Amanah, H. (2022) 'Diagnosis visual masalah unsur hara esensial pada berbagai jenis tanaman', *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 16(1): 139-150.
- As'ari, C. H., Ramadan, D. N., and Damayanti, T. N. (2022). 'Perancangan dan realisasi sistem monitoring unsur hara dan kelembaban tanah menggunakan Raspberry P1', *E-Proceeding of Applied Science*, 8(1): 94–110.
- Badan Pusat Statistik Palembang (2018) Palembang dalam angka 2018. Available at: <https://palembangkota.bps.go.id/id/publication/2018/08/16/b3fad0b55076a742da4af61b/kota-palembang-dalam-angka-2018.html> (Accessed: 18 January 2025).
- Devianti, D., Sufardi, S., Zufahrizal, Z., and Munawar, A. A. (2019) 'Near infrared reflectance spectroscopy: prediksi cepat dan simultan kadar unsur hara makro pada tanah pertanian', *AgriTECH*, 39(1): 12. <https://doi.org/10.22146/agritech.42430>
- Fatmawati, F., Sunartaty, R., and Meutia, F. (2023) 'Validasi Metode Pengujian Kadar Air Dengan Analisis Perbandingan Akurasi Dan Presisi', *Serambi Journal of Agricultural*

- Technology, 5(1), 59–63. <https://doi.org/10.32672/sjat.v5i1.6214>
- Hamid, I., Priatna, S. J., and Hermawan, A. (2019) 'Karakteristik beberapa sifat fisika dan kimia tanah pada lahan bekas tambang timah', *Jurnal Penelitian Sains*, 19(1): 23-31.
- Harahap, R., and Anisyah, S. (2021) 'Re-Interpretasi utopisme “Palembang emas darussalam” melalui penyediaan ruang terbuka hijau di Kota Palembang', *Jdp (Jurnal Dinamika Pemerintahan)*, 4(1): 16–27.
- Hudati, I., Kusuma, D. Y., Permatasari, N. B., and Pebriani, R. R. (2021) 'Sensor Ultrasonik Waterproof A02YYUW Berbasis Arduino Uno pada Sistem Pengukuran Jarak', *Jurnal Listrik, Instrumentasi Dan Elektronika Terapan (JuLIET)*, 2(2), 14–19. <https://doi.org/10.22146/juliet.v2i2.71146>
- Lestari, P. I., Arif, W. P., and Murti, W. (2019) 'Pemberdayaan kelompok wanita tani dan usaha dagang dalam pengembangan liquid state fermentation di Kecamatan Bantimurung', *Celebes Abdimas*, 1(1): 53-61.
- Nuha, H. H. (2023). *Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dan Pengertiannya*.
- Salsabila, D., and Darmawan, D.(2021) 'Studi Pendekatan Metode Induksi Medan Magnet Dalam Penentuan Kadar Unsur Hara Npk Pada Tanah', *EProceedings*, 8(5): 6005–6013.
- Setianto, D.I., Sriwanto, S., and Sarjanti, E. (2022) 'Kajian pola persebaran air tanah di Desa Dukuhwaluh Kecamatan Kembaran Kabupaten Banyumas', *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 9(1): 1–8. <https://doi.org/10.37373/tekno.v9i1.165>
- Sumiati, S., Chofifawati, A., and Al Faroqi, N. A. R. (2024) 'Nutrient deficiency analysis on maize plant morphology', *Jurnal Biologi Tropis*, 24(2b): 327-339.
- Suprayogi, R. and Rochani, A. (2021) ‘Kesesuaian Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Rencana Tata’, *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 1(2), pp. 238–254.
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., and Rasyidi, E. S. (2021) 'Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: A sustainable development perspective of makassar city, indonesia', *Land*, 10(6).
- Syahrul, A. and Sadam (2018) *Palembang jadi kota paling berkembang di Indonesia*. Available at: <https://www.viva.co.id/berita/nasional/1032783-palembang-jadi-kota-paling-berkembang-di-indonesia> (Accessed: 19 March 2024).
- Yunianti, I. F., Al Viandari, N., Suprptomo, E., and Sutriadi, M. T. (2022) ‘Peningkatan Hasil Padi Melalui Penerapan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi di Lahan Sawah Tadah Hujan’, *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, pp. 11–18.