

TUGAS AKHIR

**PEMBUATAN vNDVI MENGGUNAKAN APLIKASI MOBILE
DALAM PEMANTAUAN PERTANIAN**



Oleh:

Fellyca Effendi 2024250057

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN REKAYASA
UNIVERSITAS MULTI DATA PALEMBANG
PALEMBANG
2024**

**Fakultas Ilmu Komputer dan Rekayasa
Universitas Multi Data Palembang**

Program Studi Informatika
Tugas Akhir Sarjana Komputer
Semester Genap Tahun 2023/2024

**PEMBUATAN $vNDVI$ MENGGUNAKAN APLIKASI MOBILE DALAM
PEMANTAUAN PERTANIAN**

Fellyca Effendi 2024250057

Abstrak

Sektor pertanian memiliki peran yang sangat vital bagi perekonomian Indonesia. Untuk mencapai hasil panen yang optimal, kesehatan tanaman harus mendapat perhatian khusus. Namun, pemantauan kesehatan tanaman masih menjadi masalah besar yang dihadapi para petani karena mengandalkan metode manual dengan memeriksa setiap tanaman secara fisik yang memakan waktu dan tidak efisien. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan indeks yang dapat melihat kesehatan vegetasi yang disebut *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Dikarenakan harga kamera *NDVI* yang mahal dan diperlukan konfigurasi lanjutan, maka pada penelitian ini mengusulkan pembuatan aplikasi menggunakan kamera *smartphone* (Gambar *RGB*) untuk mengukur *NDVI*, yang disebut sebagai *visible NDVI (vNDVI)*. Dalam menentukan bobot dari fungsi $vNDVI$, dilakukan optimasi bobot menggunakan metode *Non-linear Least Squares (NLS)* dan *Simulated Annealing (SA)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata *Mean Squared Error (MSE)* untuk *NLS* adalah 0.038, sedangkan *SA* sebesar 0.102. Oleh karena itu, fungsi $vNDVI$ dengan bobot hasil optimasi *NLS* akan diimplementasikan pada aplikasi *mobile*. Hasilnya, aplikasi berhasil memecahkan permasalahan dan memiliki kegunaan yang sangat baik berdasarkan hasil pertanyaan *System Usability Scale (SUS)*.

Kata kunci: *Non-linear Least Squares*, Pertanian, *Simulated Annealing*, $vNDVI$

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian memainkan peran yang sangat penting dalam memastikan ketersediaan makanan bagi populasi manusia yang terus bertambah (Arief Rahmadsah, 2023). Sektor pertanian dapat menjadi mesin pertumbuhan yang mendukung pertumbuhan perekonomian (Hidayah & Susanti, 2022). Di Indonesia, 29,8% angkatan kerja bekerja di sektor pertanian pada tahun 2020 (Budy Wiryono, Joni Safaat Adiansyah, Nurhayati, 2020). Dari berbagai aspek tersebut, diketahui bahwa sektor pertanian memiliki peran yang sangat vital dalam perekonomian Indonesia.

Pertanian di Indonesia memiliki banyak komoditas baik padi, tanaman hias, jagung, dan lain sebagainya. Ada beberapa organisasi besar di Indonesia terkait petani, yaitu Kontrak Tani Nelayan Andalan (KTNA) dan Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan). KTNA merupakan organisasi profesi dan bersifat independen yang berorientasi pada kegiatan sosial ekonomi di sektor pertanian, perikanan dan kehutanan, berbudayakan agribisnis berbasis di pedesaan, dan berwawasan lingkungan (KTNA, 2022). KTNA didirikan sejak 1975 dan pengurus kelompok KTNA di seluruh Indonesia berjumlah 660.073 orang. Sedangkan, Gapoktan adalah sarana akomodasi bagi keperluan setiap kelompok

tani dan media penting untuk berkomunikasi dan saling bertukarnya informasi-informasi penting antar kelompok tani satu dan lainnya (Sindi, 2023).

Untuk mencapai hasil panen yang optimal, kesehatan tanaman harus mendapat perhatian khusus (Devinta et al., 2022). Berdasarkan hasil wawancara dengan kelompok tani, pemantauan kesehatan tanaman masih dilakukan para petani secara manual dengan cara mengelilingi setiap tanaman. Metode ini dinilai tidak efisien dari segi waktu. Diperlukan peningkatan kualitas petani sebagai kunci keberlanjutan pembangunan pertanian ke depan, khususnya dengan dukungan pelatihan dan teknologi produksi di bidang pertanian (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2021).

Kesehatan tanaman dapat ditentukan dari klorofil (Permadi et al., 2022). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kandungan klorofil, yaitu musim, intensitas cahaya matahari, dan pH tanah (Latifa et al., 2021). Kandungan klorofil yang tinggi merupakan indikasi tanaman yang sehat, sementara kandungan klorofil yang rendah dapat menandakan bahwa tanaman sakit atau tidak sehat (Stamford et al., 2023).

Salah satu strategi dalam melihat kesehatan tanaman adalah dengan menggunakan *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, yang dapat berbasis pada perbedaan reflektansi antara *Near Infrared (NIR)* dan gelombang *Red*. Tanaman yang sehat menyerap lebih banyak *Red* dan memantulkan proporsi *NIR* yang lebih tinggi daripada tanaman sakit. Index *NDVI* ini merupakan salah satu indeks vegetasi yang paling umum digunakan para analisis dalam penginderaan jauh (GISGeography, 2023). Berbagai studi telah membuktikan

keefektifan NDVI dalam melihat kesehatan tanaman (Stamford et al., 2023; Yuniasih et al., 2022; Zhihao & Wei, 2024). Selain itu, metode ini dapat digunakan dalam menentukan kawasan vegetasi dan non-vegetasi (Dharma et al., 2022). Kini, para petani di Indonesia menggunakan teknologi NDVI untuk memeriksa kesehatan tanaman dengan memanfaatkan data satelit dan platform digital AgronomistTM dari DataFarming (Medcom.id, 2024). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Arini et al, penggunaan NDVI untuk melihat kesehatan tanaman agar sebagai acuan petani dalam pemeliharaan dan peninjauan jika terdeteksi kesehatan buruk (Arini et al., 2022). Selain itu, terdapat penelitian lain yang menjelaskan keunggulan menggunakan NDVI bagi para petani agar dapat mengambil tindakan yang cepat dan tepat jika teridentifikasi sakit atau stress pada tanaman (Nina, 2023).

Nilai *NDVI* diperoleh melalui perhitungan rasio antara cahaya inframerah dekat (*Near Infrared*) dan cahaya merah (*Red*) yang dipantulkan oleh vegetasi, kemudian diklasifikasi untuk menilai tingkat kesehatan vegetasi (Hardianto et al., 2021). Nilai *NDVI* yang lebih tinggi menunjukkan kondisi vegetasi yang lebih baik, sebaliknya, nilai *NDVI* yang lebih rendah menunjukkan kondisi vegetasi semakin kurang yang bahkan dapat menunjukkan kondisi non-vegetasi (Anesta et al., 2020).

Namun, untuk memperoleh data *NDVI*, diperlukan kamera khusus yang memiliki kisaran harga antara 20 hingga 50 juta rupiah. Hal ini menjadi kendala karena tidak semua petani atau pelaku usaha pertanian mampu memilikinya. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk menggantikan kamera *NDVI* dengan

alternatif yang lebih terjangkau dan mudah ditemukan. Salah satu solusi potensial adalah menggunakan kombinasi *band Red, Green, dan Blue* yang dapat dihasilkan oleh kamera pada *smartphone* sebagai pengganti *band Near Infrared* dan *Red* (Kazemi & Parmehr, 2023). Indeks yang memperkirakan nilai *NDVI* dari kombinasi *RGB* disebut juga *vNDVI (visible NDVI)*. Indonesia merupakan negara dengan daerah tropika yang cenderung memiliki warna tanah merah dan kuning sedangkan daerah yang *humid* dan dingin warna tanah cenderung keabu-abuan (Lenie Marlinae, SKM et al., 2021). Kombinasi dari *band RGB* ini memiliki kemungkinan tidak sesuai dengan kondisi di Indonesia. Metode *vNDVI* pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, dengan cara melakukan fungsi optimasi bobot. Kelebihan dari fungsi optimasi bobot ini adalah kemampuannya untuk menemukan konstanta fungsi yang sesuai dengan data input (Costa et al., 2020). Dengan demikian, diperlukan pencarian optimasi bobot/*weights* agar dapat menyesuaikan dengan data input dan pengukuran *error* menggunakan *MSE* antara hasil dari kamera *NDVI* dan hasil dari kamera *RGB*.

Penggunaan *smartphone* sebagai pengganti kamera *NDVI* dan pengambilan gambar *RGB*, memiliki potensi besar karena *smartphone* adalah perangkat keras yang umum digunakan. Penggunaan *smartphone* ditaksir mencapai 6,4 miliar atau 79% dari total koneksi secara global dan perangkat berbasis *Android* mendominasi hampir 73% dari total trafik data (Kompas, 2021). Dengan melihat jumlah pengguna *smartphone* yang tinggi dan dominasinya perangkat berbasis *Android* dalam pasar, aplikasi *mobile* berbasis *Android* dapat menjadi solusi yang potensial untuk menggantikan kamera *NDVI* dengan harga

tinggi dan sulit dijangkau. Selain itu, menurut hasil wawancara, para petani telah familiar dengan aplikasi android dan digunakan dalam pertanian. Sensor kamera pada *smartphone* dapat digunakan untuk mendapatkan *band RGB*. Melalui optimasi bobot, nilai NDVI dapat diestimasi menggunakan aplikasi *Android* yang dirancang untuk keperluan ini. Hal ini memberikan alternatif yang lebih terjangkau dan praktis bagi petani serta pelaku usaha pertanian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang terbentuk adalah bagaimana meningkatkan efisiensi petani dalam melihat kesehatan tanaman dengan menggunakan metode vNDVI yang diimplementasi pada perangkat lunak.

1.3 Analisis Terhadap Batasan

1.3.1 Analisis Aspek Ekonomi

Untuk mendapatkan Nilai *NDVI*, dapat menggunakan kamera *NDVI*. Dalam penelitian ini, menggunakan kamera *smartphone* melalui pembuatan aplikasi *android*. Dari aspek ekonomi, penelitian ini menggunakan *Jupyter Notebook* dan *Android Studio* yang merupakan aplikasi *open-source* yang gratis. Sementara itu, kamera *NDVI* relatif mahal karena perangkat yang dirancang khusus untuk mengambil citra inframerah. Harga kamera *NDVI* bervariasi, dapat berkisaran Rp20.000.000 – Rp50.000.000 tergantung merk, model, dan fitur-fiturnya. Harganya lebih mahal dibandingkan dengan kamera *smartphone*

konvensional karena perangkat kerasnya yang khusus. Gambar 1.1 merupakan contoh harga kamera *NDVI* Mapir Survey3W.



Gambar 1.1 Harga Kamera Mapir Survey3W

Sumber: Tokopedia, 2024

Penggunaan kamera *smartphone* dalam mendapatkan data *NDVI*, dari aspek ekonomi, umumnya lebih terjangkau daripada kamera *NDVI* dan sudah dimiliki banyak orang. Namun, kualitas citra yang dihasilkan kamera *smartphone* tidak sebaik dengan kamera *NDVI* dalam hal analisis vegetasi dan dapat bervariasi tergantung dengan spesifikasi kameranya.

1.3.2 Analisis Aspek Manufakturabilitas

Pada kamera *NDVI*, hasil tidak dapat langsung terlihat. Diperlukan konfigurasi lanjutan menggunakan perangkat lunak khusus, seperti *Mapir Camera Control*. Hal ini menyulitkan pengguna awam untuk memahaminya. Di sisi lain, aplikasi *Android* dapat langsung memberikan hasil tanpa perlu melakukan konfigurasi lanjutan ataupun beralih *platform*.

Dalam mengembangkan perangkat lunak, dilakukan analisis dari aspek manufakturabilitas yang dilakukan terhadap 5 organisasi. Organisasi pertama (x_1),

bernama Makmur Abadi, organisasi kedua (x_2) bernama Kelompok Tani Sri Rezeki, organisasi ketiga (x_3) bernama Kelompok Tani Trini Sejahtera, organisasi keempat (x_4) bernama Kelompok Tani Gema Ripah, dan organisasi kelima (x_5) bernama Kelompok Tani Udi Makmur & Kelompok Kandang. Hasil kesimpulan dari wawancara yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Analisis Manufakturabilitas dari Sudut Pandang Pengguna

Aspek	X1	X2	X3	X4	X5
Pembentukan vNDVI untuk melihat kesehatan tumbuhan dari hasil optimasi (2 bulan)	OK	OK	OK	OK	OK
Fitur prediksi cuaca untuk membantu penyiraman obat dan pestisida (1 bulan)	OK	Tidak berpengaruh	OK	OK	Tidak berpengaruh
Dapat melihat persentase antara tumbuhan yang	OK	OK	OK	OK	Tidak berpengaruh

baik dengan yang sakit (1 bulan)					
Total = 4 bulan					

Berdasarkan Tabel 1.2, lama waktu yang diperlukan adalah 4 bulan dan dapat diterima pengguna untuk hasil perangkat lunak ini dengan mempertimbangkan fungsi dan nilai ekonomis yang diajukan.

1.3.3 Analisis Aspek Sustainability

Aspek sustainability mengacu pada efisiensi energi perangkat lunak. Analisis dapat dilakukan melalui kinerja perangkat lunak dalam beroperasi dalam satuan waktu. Hal ini digunakan untuk melihat berapa waktu yang optimal dibutuhkan oleh perangkat lunak dalam menjalankan fungsinya yang didasari dari sudut pandang pengguna. Hasil analisis aspek sustainability dalam sudut pandang pengguna dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Analisis Sustainability dari Sudut Pandang Pengguna

Aspek	X1	X2	X3	X4	X5
Perangkat lunak dapat membentuk vNDVI untuk melihat kesehatan tumbuhan dalam	OK	OK	OK	OK	OK

waktu singkat (1s)					
--------------------	--	--	--	--	--

1.4 Analisis terhadap Karakter Solusi

Dalam membangun sebuah perangkat lunak, diperlukan analisis terhadap karakter solusi/*traceability*. *Traceability* adalah kejelasan fungsi tersebut dan alasan pentingnya fungsi tersebut dalam perangkat lunak. Analisis terhadap karakter solusi dalam proyek ini dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Analisis Karakteristik Solusi

No.	Masalah	Fungsi
1.	Petani membutuhkan waktu yang lama dan manual dalam pengecekan kesehatan tanaman.	Perangkat lunak yang mampu memperlihatkan kesehatan tanaman hanya dengan memfotonya.
2.	Dalam proses pemberian pupuk/pestisida, petani mengalami kerugian secara ekonomi jika cuaca yang tiba-tiba berubah.	Perangkat lunak yang memiliki fitur dalam melihat prediksi cuaca.
3.	Selama proses bertani, petani membutuhkan perangkat lunak yang mudah dibawa dan dimiliki, yaitu <i>smartphone</i> .	Perangkat lunak dibangun pada <i>mobile platform</i>
4.	Petani perlu mendapatkan	Perangkat lunak dapat menunjukkan

	feedback untuk melihat hasil.	persentase tumbuhan yang sehat dan tidak.
--	-------------------------------	---

1.5 Pemilihan Solusi

Terdapat beberapa solusi yang telah dilakukan pada penelitian-penelitian terdahulu dalam pengembangan *NDVI* untuk pemantauan pertanian. *NDVI* dapat diperoleh dari hasil kamera *NDVI*, fungsi indeks vegetasi *RGB* yang sudah ada, dan optimasi bobot suatu fungsi. Penggunaan kamera *NDVI* sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Misalnya, pada penelitian yang berjudul “*Examination of appropriate observation time and correction of vegetation index for drone-based crop monitoring*” yang mengabungkan kamera *NDVI* dengan *drone* untuk memantau tanaman (Hama et al., 2021). Meskipun menghasilkan hasil yang baik, biaya yang diperlukan cukup besar sehingga sulit diimplementasi di Indonesia.

Selain itu, estimasi *NDVI* juga dapat dihitung menggunakan fungsi indeks vegetasi *RGB* yang sudah ada. Misalnya, pada penelitian yang dilakukan Kazemi & Parmehr, digunakan *Modified Green Red Vegetation Index (MGRVI)*, *Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI)*, *Green Leaf Index (GLI)* dan *Modified Excess Green (MExG)* (Kazemi & Parmehr, 2023). Penelitian lain oleh Roth et al. menggunakan *Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)*, *Green Leaf Index (GLI)*, *Modified Green Red Vegetation Index (MGRVI)*, *Red Green Blue Vegetation Index (RGBVI)*, and *Excess of Green (ExG)* (Roth et al., 2023). Namun, belum ada penelitian yang menggunakan fungsi indeks vegetasi *RGB*

dengan nilai parameter tetap dalam konteks pertanian di Indonesia. Metode ini dianggap tidak fleksibel karena parameter-parameter dalam fungsinya bersifat tetap atau konstan, sehingga tidak dapat menyesuaikan dengan kondisi atau data input yang berbeda.

Untuk mendapatkan indeks vegetasi RGB yang fleksibel dan sesuai dengan data, solusi optimasi bobot suatu fungsi menjadi pilihan yang baik. Sebagai contoh, Costa et al. mencari *weights* (w) dan *coefficient* (C) dari Persamaan (1) (Costa et al., 2020):

$$vNDVI = C * (Red^{w1} * Green^{w2} * Blue^{w3}) \quad (1)$$

Persamaan (1) ini merupakan fungsi regresi non-linear dengan input *Band Red*, *Green*, dan *Blue*. Untuk mencari *weights* pada fungsi regresi non-linear, beberapa metode dapat digunakan, seperti metode *Maximum Likelihood Estimation (MLE)*, *Particle Swarm Optimization (PSO)*, *Genetic Algorithm (GA)*, *Non-linear Least Squares (NLS)*, *Simulated Annealing (SA)*, dan lainnya. Penelitian oleh Terki et al. Menunjukkan bahwa metode *NLS* mampu memberikan estimasi parameter yang akurat, mudah diimplementasi, dan dapat mengatasi keterbatasan metode lain seperti pada metode *MLE* dan *Bayesian* (Terki et al., 2022). Selain itu, penelitian lain oleh Y. Wang et al. menyatakan bahwa metode *SA* memiliki kemampuan menangani kompleksitas fungsi non-linear, menghindari solusi optimal lokal, serta fleksibilitas dalam menangani berbagai jenis variabel (Wang et al., 2020).

Untuk memastikan *capstone project* ini menghasilkan hasil yang optimal, pencarian optimasi bobot akan dilakukan menggunakan kedua metode, yaitu *NLS* dan *SA*. Metode dengan nilai *error* terkecil akan diimplementasikan pada

perangkat lunak. Dengan demikian, solusi ini akan meminimalkan biaya, lebih fleksibel, dan mudah digunakan tanpa perlu konfigurasi tambahan.

1.6 Skenario Pemanfaatan Produk oleh Pengguna

Perangkat lunak yang dibuat merupakan aplikasi yang dapat membangun $vNDVI$ yang baik dalam melihat kesehatan vegetasi. Aplikasi ini nantinya dapat dijalankan melalui perangkat telepon pintar (*smartphone*) berbasis *android*. Pengguna cukup mengarahkan kamera *smartphone* ke arah vegetasi/lahan, maka secara otomatis perangkat akan membangun gambar $vNDVI$.

1.7 Tujuan

Tujuan dari *capstone project* ini adalah untuk mengembangkan sebuah aplikasi *mobile* berbasis *android* yang mampu membentuk $vNDVI$ dalam melihat kesehatan vegetasi dengan menggunakan metode Non-linear Least Squares (NLS) dan Simulated Annealing (SA) untuk mengoptimalkan bobot yang diperlukan.

REFERENSI

- Anesta, A. F., Fatman, A. F., & Sugandi, M. (2020). Zonasi Distribusi Tanaman Hutan di Taman Nasional Gunung Semeru Berdasarkan Integrasi Nilai Indeks Vegetasi dan Digital Elevation Model. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 1(2), 64–70. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2020.v1i2.30>
- Arief Rahmadsah, M. (2023). *Penggunaan Teknologi Drone Dalam Monitoring Dan Pengelolaan Lahan Pertanian*. 1–11. <https://osf.io/dmu5g/download>
- Arini, D., Sari, S. M., & Driptufany, D. M. (2022). Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Mendeteksi Tingkat Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit Menggunakan Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di Kabupaten Bengkalis Kecamatan Mandau. *El-Jughrafiyah*, 2(2), 50. <https://doi.org/10.24014/jej.v2i2.18744>
- Budy Wiryono, Joni Safaat Adiansyah, Nurhayati, K. (2020). *KEBIJAKAN DALAM BIDANG PANGAN DAN ENERGI DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT*. July, 1–23.
- Costa, L., Nunes, L., & Ampatzidis, Y. (2020). A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172(November 2019), 105334. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105334>
- Debora Ina, S., D.I. Mau, S., & Wilda Malo, M. (2024). Penerapan Aplikasi Pengelolaan Data Siswa Smp Tutim Delo Dengan Menggunakan Metode System Development Life Cycle (Sdlc). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(5), 3806–3810. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i5.7948>
- Devinta, S., Fahrudi, A., & Primaswara, R. (2022). Prototype Monitoring Dan Kontrol Alat Penyiraman Tanaman Kangkung Menggunakan Arduino Berbasis Website. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(1), 229–236. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i1.4601>
- Dharma, F., Aulia, A., Shubhan, F., & Ridwana, R. (2022). Pemanfaatan Citra Sentinel - 2 Dengan Metode NDVI Untuk Perubahan Kerapatan Vegetasi Mangrove Di Kabupaten Indramayu. *J Pendidikan Geografi Undiksha*, 10(2), 155–165.
- Fox, J., & Weisberg, S. (2018). Nonlinear Regression, Nonlinear Least Squares, and Nonlinear Mixed Models in R. *An R Companion to Applied Regression*,

1, 31.
<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/appendices/Appendix-Nonlinear-Regression.pdf>

GISGeography. (2023). *What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*.
<https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>

Hama, A., Tanaka, K., Chen, B., & Kondoh, A. (2021). Examination of appropriate observation time and correction of vegetation index for drone-based crop monitoring. *Journal of Agricultural Meteorology*, 77(3), 200–209. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-20-00047>

Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., & Rifiana, N. S. (2021). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(1), 8–15. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i1.38>

Hidayah, I., & Susanti, N. (2022). Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian Negara Maju dan Negara Berkembang: Sebuah Kajian Literatur. *Jurnal Salingka Nagari*, 1(1), 28–37.

Hyzy, M., Bond, R., Mulvenna, M., Bai, L., Dix, A., Leigh, S., & Hunt, S. (2022). System Usability Scale Benchmarking for Digital Health Apps: Meta-analysis. *JMIR MHealth and UHealth*, 10(8), 1–11. <https://doi.org/10.2196/37290>

Kazemi, F., & Parmehr, E. G. (2023). Evaluation of Rgb Vegetation Indices Derived From Uav Images for Rice Crop Growth Monitoring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10(4/W1-2022), 385–390. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-385-2023>

Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. (2021). *Pertanian sebagai Pilar Perekonomian dan Memperkuat Ekonomi Umat - Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia*. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/3553/pertanian-sebagai-pilar-perekonomian-dan-menguatkan-ekonomi-umat>

Kompas. (2021). *Jumlah Pengguna Ponsel di Dunia Tembus 5 Miliar*. <https://tekno.kompas.com/read/2021/09/02/09144137/jumlah-pengguna-ponsel-di-dunia-tembus-5-miliar>

KTNA. (2022). *Visi dan Misi KTNA*. <https://ktnanasional.com/visi-dan-misi/>

Latifa, R., Nurrohman, E., & Hadi, S. (2021). Study of Forest Types, Inventory of Tree, and Chlorofil Contents of Malabar Forest Leaves, Malang City.

Bioscience, 5(1), 32. <https://doi.org/10.24036/0202151111466-0-00>

Le, H., Zach, C., Rosten, E., & Woodford, O. J. (2021). Progressive Batching for Efficient Non-linear Least Squares. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12624 LNCS. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69535-4_31

Lenie Marlinae, SKM, M., Prof. Dr.Ir.Danang Biyatmoko, M.Si Prof. Dr. Chairul Irawan, ST., MT. Prof. Dr. Husaini, SKM, M. K., Prof. Dr. Syamsul Arifin, dr. M.Pd., D., Akhmad Rizalli Saidy, SP., M.Ag.Sc., Ph.D dr. Agung Biworo, M. K., Dr. Tien Zubaidah, SKM, MKL Laily Khairiyati, SKM, MPH Agung Waskito, ST, M., Anugrah Nur Rahmat, SKM Sherly Theana, S. T., Andre Yusufa Febriandy, S. M. G., & Winda Saukina Syarifatul Jannah, S. A. U. A. R. J. (2021). *Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kedokteran Universitas Lambung Mangkurat 2021*.

Medcom.id. (2024). *Memanfaatkan Data Satelit demi Produktivitas Pertanian*. <https://www.medcom.id/ekonomi/bisnis/MkM7ddDN-memanfaatkan-data-satelit-demi-produktivitas-pertanian>

Merdeka. (2022). Baru 30 Persen Petani Melek Teknologi. In *Merdeka*. <https://www.merdeka.com/teknologi/baru-30-persen-petani-melek-teknologi.html>

Nikolaev, A. G., & Jacobson, S. H. (2010). Simulated Annealing. In *Information Sciences* (Issue September). <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5>

Nina, A. (2023). Efektifitas Drone Sebagai Media Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Kesehatan Tanaman. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 11(2), 50–55. <https://doi.org/10.30869/jtech.v11i2.1186>

Open Source Computer Vision. (2018). OpenCV: Template Matching. In *Computer Vision*. https://docs.opencv.org/3.4/d4/dc6/tutorial_py_template_matching.html

OSC Medcom. (2022). Analisis Model Waterfall: Pengertian, Tahapan, Kelebihan dan kekurangan. In *Online Scholarship Competition* (pp. 1–10). <https://osc.medcom.id/community/analisis-model-waterfall-pengertian-tahapan-kelebihan-dan-kekurangan-4352>

Pan, N., Hsiang, T.-C., & Chen, W. (2020). *Using Hybrid Simulated Annealing Algorithm in*. 12(3).

Pangestu, N. H. A., & Banowati, G. (2023). Pemetaan Kesehatan Kebun Kelapa Sawit Berdasarkan Nilai Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Menggunakan Citra Landsat-8 Di Kebun PT. Wanapotensi Guna. *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 7(1), 40–49. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v7i1.513>

Permadi, A., Suhendra, Ahda, M., Zufar, A. F., Padya, S. A., Anugrah, N., Hadi, S., & Suharto, T. E. (2022). Perbandingan Kandungan Klorofil dan Antioksidan Spirulina dengan Beberapa Jenis Sayuran. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 1–7. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>

Putra, W. A., Fitri, I., & Hidayatullah, D. (2022). Implementasi Waterfall dan Agile dalam Perancangan E-Commerce Alat Musik Berbasis Website. *Jurnal JTik (Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi)*, 6(1), 56–62. <https://doi.org/10.35870/jtik.v6i1.380>

Raksapatcharawong, M., Veerakachen, W., Homma, K., Maki, M., & Oki, K. (2020). Satellite-based drought impact assessment on rice yield in Thailand with SIMRIW-RS. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs12132099>

Roth, R. T., Chen, K., Scott, J. R., Jung, J., Yang, Y., Camberato, J. J., & Armstrong, S. D. (2023). Prediction of Cereal Rye Cover Crop Biomass and Nutrient Accumulation Using Multi-Temporal Unmanned Aerial Vehicle Based Visible-Spectrum Vegetation Indices. *Remote Sensing*, 15(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs15030580>

Sindi, S. (2023). KEBIJAKAN KEPALA DESA DALAM MENGOPTIMALKAN PRODUKTIVITAS PROGRAM KERJA GABUNGAN KELOMPOK TANI (GAPOKTAN). *Doctoral Dissertation, Universitas Tribhuwana Tungadewi*.

Stamford, J. D., Violet-Chabrand, S., Cameron, I., & Lawson, T. (2023). Development of an accurate low cost NDVI imaging system for assessing plant health. *Plant Methods*, 19(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13007-023-00981-8>

Terki, Z., Mezache, A., & Chebbara, F. (2022). Modeling and Parameter Estimation of Radar Sea-Clutter with Trimodal Gamma Population. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2, 82–90. <https://doi.org/10.26636/JTIT.2022.160422>

Vlachogianni, P., & Tselios, N. (2022). Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(3), 392–409. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1867938>

Wang, Y., Li, Z., He, L. P., & Li, M. (2020). Parameters Estimation of Mixed Weibull Distribution Based on Nonlinear Least Square Method and

Simulated Annealing Algorithm. *2020 Global Reliability and Prognostics and Health Management, PHM-Shanghai 2020*.
<https://doi.org/10.1109/PHM-Shanghai49105.2020.9280984>

Wirapraja, A., Jamaludin, Fajrillah, Harlina, S. R. N. S., Ahmad, N., & Fadhli, M. (2021). *Manajemen Proyek Perangkat Lunak* (J. Simarmata (ed.)). Yayasan Kita Menulis.

Yuniasih, B., Adji, A. R. P., & Budi, B. (2022). Evaluation of Pre-Replanting Oil Palm Plant Health using the NDVI Index from Landsat 8 Satellite Imagery. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, *11*(2), 304. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i2.304-313>

Zhihao, W., & Wei, F. (2024). UV-NDVI for real-time crop health monitoring in vertical farms. *Smart Agricultural Technology*, *8*(April), 100462. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100462>