

RANCANG BANGUN DETEKTOR TINGKAT KEMATANGAN BUAH KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN SENSOR TCS3200 DAN MODUL WIFI ESP32-CAM DENGAN NOTIFIKASI VIA TELEGRAM

Aldhi Cahyo Millenio Putro, Rahmat Rasyid*

Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163 Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 21 Juni 2023
Direvisi: 10 Agustus 2023
Diterima: 31 Oktober 2023

Kata kunci:

Buah Sawit
Sensor warna
ESP32-CAM
Petani
Telegram

Keywords:

Color sensor
ESP32-CAM
Farmers
Palm fruit
Telegram

Penulis Korespondensi:

Rahmat Rasyid
Email: rahmatrasyid@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat detektor kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor warna TCS3200 dan modul Wi-Fi ESP32-CAM dengan notifikasi via Telegram. Petani sawit memerlukan alat bantu pendeteksi kematangan buah sawit untuk mempermudah kerja mereka dalam memantau buah sawit. Alat ini menggunakan sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi kematangan buah sawit berdasarkan warna kulit sawit tersebut, sedangkan modul ESP32-CAM berguna untuk memproses data dari sensor warna TCS3200 sebagai keluaran notifikasi Telegram. Sensor warna TCS3200 mendeteksi nilai RGB dari objek sawit yang kemudian diproses oleh modul ESP32-CAM. Hasil yang diperoleh pada pengujian alat pendeteksi kematangan buah sawit dengan kondisi matang dan belum matang dapat dilihat dari notifikasi Telegram. Nilai RGB sensor warna TCS3200 akan ditampilkan berupa informasi kondisi buah sawit yang dideteksi dan dijadikan sebagai notifikasi pada aplikasi Telegram. Persentase keberhasilan pengujian kematangan buah sawit paling tinggi pada kondisi buah sawit belum matang sebesar 100% dan paling rendah pada kondisi buah sawit matang sebesar 86,6%.

This study aims to make a detector of oil palm fruit maturity using the TCS3200 color sensor and the ESP32-CAM Wi-Fi module with notifications via Telegram. Oil palm farmers need a tool to detect the ripeness of the fruit to make it easier for them to monitor the fruit. This tool uses the TCS3200 color sensor to detect the ripeness of palm fruit based on the color of the palm skin; at the same time, the ESP32-CAM module is useful for processing data from the TCS3200 color sensor as the output of Telegram notifications. The TCS3200 color sensor detects the RGB value of the palm object, which is then processed by the ESP32-CAM module. The results obtained in testing the maturity detection tool for palm fruit in ripe and immature conditions can be seen from the Telegram notification. The RGB value of the TCS3200 color sensor will be displayed as information on the condition of the palm fruit, which is detected and used as a notification on the Telegram application. The highest percentage of success in testing the maturity of the fruit was when the fruit was immature at 100%, and the lowest was when the fruit was ripe at 86.6%.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris yang dimana pertanian masih memegang peranan penting bagi perekonomian nasional. Hal tersebut, terlihat dari mayoritas penduduk Indonesia yang bekerja pada sektor pertanian, salah satunya pertanian kelapa sawit. Student dkk., (2021) dalam penelitiannya mengatakan bahwa Indonesia adalah negara dengan luas perkebunan buah sawit (*Elaeis guineensis*) dan produsen *Crude Palm Oil (CPO)* nomor satu di dunia, dengan nilai sebesar 35 juta ton pada tahun 2020. Produksi CPO Indonesia selain menjadi sumber pendapatan negara, juga memenuhi 47% kebutuhan minyak nabati dunia.

Himmah dkk. (2020) dalam penelitiannya mengatakan bahwa kelapa sawit merupakan salah satu tumbuhan tropis penghasil minyak nabati yang banyak dibudidayakan. Ketepatan dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa sawit menentukan kualitas hasil panen tumbuhan ini. Penelitian ini memanfaatkan pengolahan citra digital untuk mengidentifikasi kematangan buah kelapa sawit berdasarkan warna *Red, Green, Blue (RGB)* dan *Hue, Saturation, Value (HSV)*. Citra berupa foto buah kelapa sawit yang diambil dengan kamera digital diolah dengan perangkat lunak MATLAB kemudian dianalisis menggunakan metode klasifikasi *KMeans Clustering* untuk mendapatkan perbandingan hasil ekstraksi ciri RGB dan HSV. Angela (2022) juga melakukan penelitian menggunakan sensor warna TCS3200 untuk menentukan tingkat kematangan buah tomat dengan menggunakan 20 sampel buah tomat, yaitu 13 sampel buah tomat matang dan 7 sampel buah tomat belum matang

Syauqas Rahmatillah (2019) juga mengatakan pada penelitiannya untuk mendapatkan CPO yang baik, buah kelapa sawit dengan kualitas bagus harus dipanen sesuai waktunya selama 15 hingga 20 hari, yaitu ketika buah kelapa sawit berubah warna menjadi warna merah. Analisa tingkat kematangan buah sawit menggunakan sensor sebagai media pendeteksi untuk mengetahui kadar air dan warna kulit sesuai dengan tiga tingkat kematangan yaitu terlalu matang, matang, dan kurang matang. Hasil penelitian menggunakan sensor sebagai media pendeteksi menunjukkan bahwa semakin bertambahnya tingkat kematangan maka nilai kadar air semakin meningkat dan warna yang di tandai dari warna RGB berubah sesuai kandungan pigmen alami yang terdapat pada bagian vakola buah kelapa sawit. Bertambahnya nilai kadar air pada bagian daging buah kelapa sawit menyatakan kadar air tinggi pada buah mentah, kadar air sedang pada buah matang, dan kadar air rendah pada buah terlalu matang.

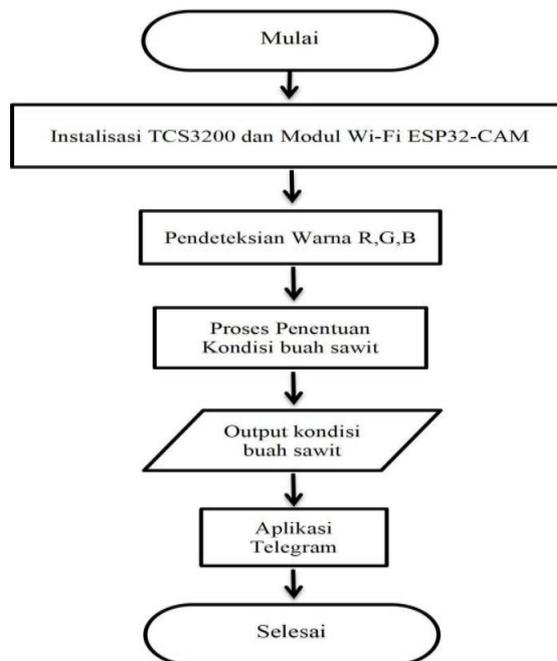
Shiddiq dkk., (2021) juga melakukan penelitian menggunakan metode hidung elektronik berbasis sensor GAS MOS untuk karakterisasi kematangan buah kelapa sawit. Pada penelitian ini, sistem hidung elektronik dikembangkan untuk mengkarakterisasi tingkat kematangan buah kelapa sawit menggunakan tegangan keluaran setiap sensor dan kekerasan buah. Sistem tersebut terdiri dari ruang sensor dan ruang sampel. Kematangan buah kelapa sawit diklasifikasi dengan dua jenis tingkat kematangan yaitu mentah dan matang. Kematangan buah sangat menentukan hasil minyak yang dihasilkan oleh buah sawit (Muarif dkk., 2022).

Satria dkk., (2020) juga melakukan penelitian menggunakan sensor ultrasonik dan sensor kapasitif berbasis smartphone. Pada penelitian ini aplikasi android dapat digunakan sebagai alat bantu konsumen mengetahui kadar lemak dan keasaman pada minyak Barco dan minyak curah pada buah kelapa sawit yang memiliki sistem monitoring secara real time. Penelitian ini menggunakan Arduino uno dan NodeMCU sebagai mikrokontrollernya. Arduino uno dirangkai bersama dengan modul pH air, ultrasonik HC-SR04, dan kapasitif tanah. Modul pH berfungsi untuk mengukur kadar air dan lemak pada minyak sawit. Adhimantoro dan Singgih (2014) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa permasalahan yang kerap kali terjadi adalah buah kelapa sawit yang di proses untuk dikonsumsi tidak dalam kondisi matang. Proses kematangan buah buah sawit dapat dilihat dari perubahan warna kulit buahnya. Buah akan berubah menjadi merah jingga ketika masak. Pada saat buah masak, kandungan minyak pada daging buah akan maksimal (Pardamean, 2017). Dari permasalahan tersebut menimbulkan ide baru dari penulis untuk membuat teknologi yang bisa digunakan untuk memantau dan melihat kematangan pada buah sawit dari jarak jauh menggunakan sensor warna TCS3200 dan Modul ESP32-CAM yang hasilnya akan ditampilkan pada aplikasi telegram, sehingga dapat mempermudah pekerjaan para petani sawit untuk mengetahui kematangan kelapa sawit mereka. Keuntungan aplikasi Telegram yaitu gratis dalam proses pengiriman data atau informasi, mengirimkan data tanpa batasan ukuran dan mengirimkan pesan lebih cepat (Husna & Wildian, 2022).

II. METODE

2.1 Perancangan Perangkat Lunak Sistem

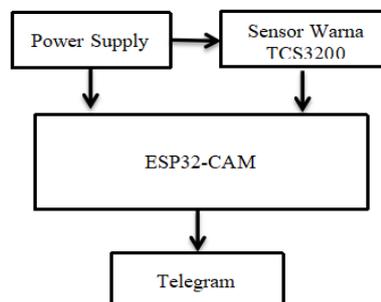
Perancangan perangkat lunak dibuat menggunakan pemrograman bahasa C yang ditanamkan ke mikrokontroler pada Arduino Uno. Berdasarkan prinsip kerja yang direncanakan maka diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 1. Perancangan dimulai dengan mengkarakterisasi sensor TCS3200 dan Modul Wi-Fi ESP32-CAM untuk mendeteksi warna RGB pada buah kelapa sawit. Warna RGB yang terdeteksi bertujuan untuk menentukan kondisi kematangan buah sawit yang hasilnya dapat dilihat pada aplikasi Telegram



Gambar 1 Perancangan Perangkat Lunak Sistem

2.2 Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan diagram blok sistem detektor kematangan buah kelapa sawit dengan menggunakan sensor warna TCS3200 dan modul ESP32-CAM dapat dilihat pada Gambar 2. Perangkat keras detektor kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor warna TCS3200 dan Modul ESP32-CAM dimana *power supply* digunakan sebagai sumber daya pada rangkaian, sehingga didapatkan hasil keluaran yang akan dikirim ke aplikasi Telegram. Data akan diproses oleh modul ESP32-CAM sesuai dengan program yang dirancang dan hasilnya akan ditampilkan di aplikasi Telegram.

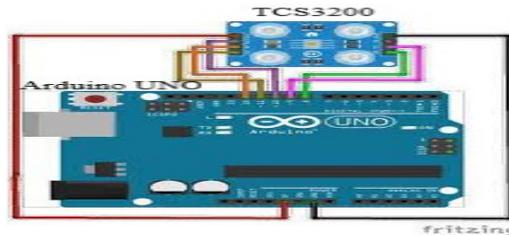


Gambar 2 Diagram Blok Sistem

2.3 Perancangan Rangkaian Sensor Warna TCS3200 dengan Arduino

Perancangan sistem sensor warna TCS3200 dengan menghubungkan sensor warna TCS3200 ke Aduiuno Uno (Bahri & Harmadi, 2023). Perancangan ini dilakukan untuk melihat bagaimana sensor warna dapat berfungsi sebagai alat pendeteksi warna dari buah kelapa sawit matang dan belum matang

yang akan diprogram melalui software Arduino IDE. Skema rangkaian sensor warna TCS3200 ditunjukkan oleh Gambar 3.

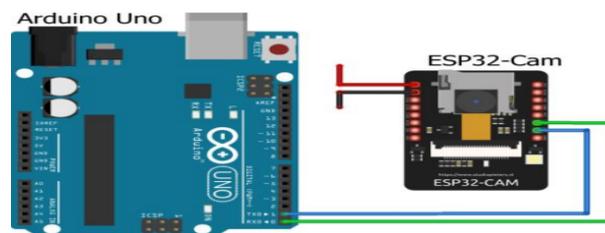


Gambar 3 Rangkaian sensor warna TCS3200 pada Arduino Uno

Perancangan ini juga dilakukan agar sensor warna TCS3200 dapat mengambil data warna dari buah kelapa sawit dan mengirimnya ke ESP32-CAM agar dikirimkan notifikasi kondisi buah kelapa sawit melalui aplikasi Telegram.

2.4 Perancangan Rangkaian ESP32-CAM dengan Arduino

Perancangan rangkaian ESP32-Cam dilakukan dengan menghubungkan ESP ke sumber tegangan 5 volt dan ke Arduino Uno untuk melihat bagaimana ESP dapat berfungsi sebagai modul Wi-Fi yang akan mengirimkan data laporan ke aplikasi Telegram yang mana diprogram melalui software Arduino IDE. Skema rangkaian ESP32-Cam ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Skema rangkaian ESP32-CAM

Perancangan ini juga dilakukan agar ESP32-Cam dapat mengambil foto buah kelapa sawit dan mengirimnya ke aplikasi Telegram. Gambar 3 menunjukkan bahwa langkah-langkah perancangan ESP32-Cam yaitu menghubungkan pin UOR dengan port digital 2 dan pin UOT dengan port digital 3 pada Arduino Uno, pin 5V dengan sumber tegangan +5V, dan pin GND dengan pin GND atau sumber tegangan -5V.

2.5 Perancangan Alat Keseluruhan

Perancangan alat keseluruhan dilakukan dengan menggunakan rancangan dari alat ukur kematangan buah kelapa sawit. Sampel yang digunakan yaitu buah kelapa sawit belum matang, dan sudah matang. Sampel buah kelapa sawit divariasikan ketika dibaca oleh sensor warna TCS3200, kemudian respon sensor dapat dilihat melalui serial monitor dan aplikasi telegram. Alat ukur kematangan buah kelapa sawit ditempatkan pada posisi yang telah ditentukan. Perancangan alat ukur kematangan buah kelapa sawit secara keseluruhan dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



2.6 Pengujian Detektor Kematangan Buah Sawit Matang dan Belum Matang

Pengujian detektor kematangan buah kelapa sawit ini bertujuan untuk mengetahui apakah respon sensor dan program yang dibuat sudah berjalan dengan baik. Pengujian detektor kematangan

buah kelapa sawit dilakukan langsung pada buah kelapa sawit yang masih berada di pohon menggunakan sensor warna TCS3200. Hasil yang didapat dari sensor warna TCS3200 akan dikirimkan dan diproses oleh ESP32-CAM, sehingga didapatkan keluaran kondisi keadaan buah kelapa sawit yang dapat dilihat pada aplikasi Telegram. Pengujian kematangan buah kelapa sawit langsung dari pohonnya dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian detektor kematangan buah sawit dilakukan dengan mengarahkan sensor TCS3200 didekat buah sawit dengan jarak 3cm untuk mendeteksi warna RGB buah sawit. Warna RGB yang terdeteksi akan menentukan kondisi buah sawit matang atau belum matang yang dapat dilihat pada aplikasi Telegram.



(a)



(b)

Gambar 6 (a) Kondisi Buah Sawit Matang (b) Kondisi Buah Sawit Belum Matang.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Sensor Warna TCS3200

Hasil yang diperoleh dari pengujian karakterisasi sensor warna TCS3200 untuk variasi jarak 1 cm sampai 3 cm memiliki selisih nilai RGB yang berbeda-beda pada setiap variasi jarak. Jarak yang dipilih untuk pengujian kematangan buah kelapa sawit yaitu jarak 3 cm. Karena Nilai RGB pada jarak 3cm lebih mudah membedakan nilai warna buah kelapa sawit matang dan belum matang. Berikut nilai rentang RGB dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil rentang nilai RGB sensor warna TCS3200 dengan jarak 3cm

No	Kondisi Buah Sawit	Nilai Rentang RGB		
		R	G	B
1	Matang	80-100	115-135	110-130
2	Belum Matang	50-70	60-80	65-85

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat hasil nilai rentang RGB yang didapatkan oleh sensor warna TCS3200 untuk masing-masing kondisi buah sawit. Sensor warna diujikan pada dua kondisi buah sawit yaitu kondisi matang dan belum matang dengan masing-masing kondisi menggunakan 15 sampel yang memiliki karakteristik warna yang berbeda. Besarnya nilai RGB pada buah matang menandakan bahwa buah memiliki nilai warna yang lebih tinggi daripada buah yang tidak matang. Hal ini sejalan dengan karakteristik buah sawit dimana warna buah matang memiliki warna kemerahan, sedangkan buah yang tidak matang memiliki warna yang lebih gelap. Berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan sensor TCS3200 yang mengidentifikasi warna buah sawit tercatat buah matang memiliki nilai RGB yang lebih besar dibandingkan buah belum matang yang dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2 Pengujian Sistem Telemetri ESP32-CAM

Pengujian modul ESP32-Cam bertujuan untuk mengetahui kinerja dari modul tersebut saat mengirimkan notifikasi ke pengguna ataupun mengirimkan perintah ke mikrokontroler Arduino Uno melalui aplikasi Telegram. Agar dapat memprogram ESP32-CAM, digunakan *software* Arduino IDE beserta *board library* ESP32 (Junaidi, 2020). Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dengan melihat berapa jarak yang dibutuhkan agar dapat mengirimkan perintah ke mikrokontroler Arduino Uno dalam jarak tertentu. Jarak antara modul ESP32-Cam dan sumber koneksi Wi-Fi divariasikan dari 5 m hingga 25 m. Hasil pengujian modul ESP32-Cam ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Konektivitas Wi-Fi dan ESP32-CAM

Jarak (m)	Perintah yang dikirim	Output Yang Dihasilkan	Koneksi
5	Deteksi buah sawit belum matang	Buah sawit belum matang	Terhubung
10	Deteksi buah sawit belum matang	Buah sawit belum matang	Terhubung
15	Deteksi buah sawit belum matang	Buah sawit belum matang	Terhubung
20	Deteksi buah sawit belum matang	Buah sawit belum matang	Terhubung
25	Deteksi buah sawit belum matang	-	Terputus

Berdasarkan Tabel 2, proses pengiriman perintah dari aplikasi Telegram ke perangkat keras berhasil sampai jarak 20 m selama modul ESP32-CAM masih terhubung dengan konektivitas Wi-Fi. Keberhasilan tersebut ditandai dengan terkirimnya seluruh perintah dari aplikasi Telegram ke mikrokontroler Arduino Uno yang ditunjukkan dengan output berupa notifikasi keadaan buah sawit tersebut. Namun pada jarak 25 m, output yang dihasilkan dari perintah yang dikirimkan tidak terbaca karena modul ESP32-Cam terputus dari koneksi Wi-Fi. Oleh karena itu, perintah tidak berhasil dikirimkan ke mikrokontroler.

3.3 Hasil Pengujian Alat Keseluruhan

Alat yang sudah dirancang diaktifkan langsung dan dilakukan pengujian kematangan buah kelapa sawit dengan kondisi matang dan belum matang langsung di pohon kelapa sawit. Setelah keterangan keadaan dan gambar buah sawit tersebut terdeteksi, maka akan ditampilkan pada aplikasi telegram. Hasil Pengujian keseluruhan alat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian dan pengambilan data keseluruhan

No	Kondisi Buah Sawit	Terdeteksi			Keluaran Notifikasi Telegram	%Keberhasilan
		Jumlah	Tidak terbaca	Salah Pembacaan		
1	Matang	13	-	2	Buah Sawit Matang	86%
2	Belum Matang	15	-	-	Buah Sawit Belum Matang	100%

Data pengujian pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa pengujian kematangan buah kelapa sawit berjalan sesuai dengan keluaran notifikasi yang sudah diatur oleh program yang sudah dirancang. Pengujian objek kematangan buah sawit dimulai dari kondisi buah sawit belum matang hingga buah sawit matang. Buah kelapa sawit diuji sebanyak 15 kali yang bertujuan untuk melihat respon sensor warna TCS3200, keluaran notifikasi pada telegram mengeluarkan informasi yang sesuai dengan kondisi buah sawit yang terdeteksi. Pengujian kematangan buah kelapa sawit dengan keadaan belum matang memiliki persentase keberhasilan 100%. Sedangkan pada pengujian buah kelapa sawit dengan keadaan matang memiliki persentase keberhasilan sebesar 86,6%. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari cahaya matahari pada saat mendeteksi warna RGB (Student et al., 2021), sehingga sensor warna TCS3200 tidak maksimal dalam mendeteksi warna RGB dari buah sawit dan mengeluarkan notifikasi yang salah pada aplikasi telegram. Hasil pengujian alat menggunakan sensor TCS3200 dan modul Wi-Fi ESP32-CAM terhadap kematangan buah kelapa sawit menghasilkan persentase keberhasilan yang berbeda-beda disetiap keadaan. Pada kondisi buah kelapa sawit matang terdapat salah pembacaan sebanyak dua kali. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari cahaya matahari pada saat mendeteksi warna RGB, sehingga pembacaan pada sensor warna TCS3200 menjadi tidak maksimal.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisis hasil dari alat pendeteksi kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor TCS3200 dan modul wifi ESP32-CAM dengan notifikasi via telegram dapat disimpulkan bahwa penelitian ini telah berhasil membuat sebuah sistem alat pendeteksi kematangan buah kelapa sawit menggunakan sensor TCS3200 dan modul wifi ESP32-CAM dengan notifikasi via telegram yang dapat bekerja dengan baik. Pengujian karakteristik sensor warna TCS3200 dilakukan dengan mendeteksi objek buah kelapa sawit dengan dua tingkat kematangan yang berbeda menggunakan jarak yang sama. Hasil yang didapat yaitu buah kelapa sawit belum matang dengan warna hitam dan buah kelapa sawit matang dengan warna merah memiliki nilai RGB berbeda, warna pada buah kelapa sawit dapat kita gunakan untuk mengklasifikasikan dalam kelas matang dan belum matang. Detektor kematangan buah kelapa sawit yang telah dibuat memiliki persentase keberhasilan yaitu 86,6% untuk buah kelapa sawit yang sudah matang, sedangkan nilai persentase keberhasilan untuk buah kelapa sawit yang belum matang yaitu 100%

DAFTAR PUSTAKA

- Adhimantoro, S. (2014). *Mengetahui Tingkat Kematangan Buah Dengan Ultrasonik Menggunakan Logika Fuzzy*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* 3 (1), 63-68, 2019 3(1), 1-6.
- Bahri, A., & Harmadi, H. (2023). Sistem Pendeteksi Keaslian dan Nominal Uang untuk Penyandang Tunanetra Menggunakan Sensor UV GYML 8511 dan TCS3200. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 316-321. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.316-321.2023>
- Himmah, E. F., Widyaningsih, M., & Maysaroh, M. (2020). Identifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Warna RGB Dan HSV Menggunakan Metode K-Means Clustering. *Jurnal Sains Dan Informatika*, 6(2), 193-202. <https://doi.org/10.34128/jsi.v6i2.242>
- Husna, W., & Wildian, W. (2022). Sistem Otomasi Pengendalian Irigasi dan Pemantauan Lahan Sawah dengan Notifikasi Via Telegram. *Jurnal Fisika Unand*, 12(1), 8-14. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.1.8-14.2023>
- Junaidi. (2020). Pendeteksi Golongan Darah Manusia Berbasis Tensorflow Menggunakan ESP32-CAM. *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, Vol.9 No.2 Hal 359-373.
- Muarif, A., Mulyawan, R., & Fitria, M. (2022). Analisis Kualitas Crude Palm Oil (CPO) Berdasarkan Kinerja Vacuum Dryer di PKS Koperasi Primajasa. *Inovasi Teknik Kimia*, 7(1), 24-28.
- Pardamean, M. (2017). *Kupas Tuntas Agribisnis Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya Grup.
- Satria, C., Zakaria, M. N., & Soelistianto, F. A. (2020). Rancang Bangun Pendeteksi Kualitas Minyak Goreng Kelapa Sawit dengan Menggunakan Metode Sensor Ultrasonik dan Sensor Kapasitif Berbasis Smartphone. *Jurnal Jartel: Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, 10(3), 140-143. <https://doi.org/10.33795/jartel.v10i3.83>
- Shiddiq, M., Sitohang, L. B., Husein, I. R., & Ningsih, S. A. (2021). Hidung Elektronik Berbasis Sensor Gas Mos Untuk Karakterisasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Electronic Nose Based On Mos Gas Sensor To Characterize Ripennes Of Oil Palm Fresh Fruits.
- Student, M. T., Kumar, R. R., Ommments, R. E. C., Prajapati, A., Blockchain, T.-A., MI, A. I., Randive, P. S. N., Chaudhari, S., Barde, S., Devices, E., Mittal, S., Schmidt, M. W. M., Id, S. N. A., PREISER, W. F. E., OSTROFF, E., Choudhary, R., Bit-cell, M., In, S. S., Fullfillment, P., ... Fellowship, W. (2021). Prototipe Detektor Tingkat Kematangan Buah Sawit (*Elaeis guineensis*) Menggunakan Sensor Warna TCS3200 dan Fotodiode Inframerah. *Frontiers in Neuroscience*, 14(1), 1-13.
- Syauqas Rahmatillah. (2019). Alat Pendeteksi Kualitas Minyak dan Kematangan Kelapa Sawit Menggunakan Sensor Kadar Air dan Sensor Warna. Other thesis, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.