

Kinerja Low-Cost Chlorophyll Meter pada Pengukuran Indeks Klorofil Daun Srikaya Jumbo

Performance of Low-Cost Chlorophyll Meter in Measuring the Chlorophyll Index of Jumbo Sugar Apple Leaves

HERI ANDRIANTO^{1*}, AAN DARMAWAN HANGKAWIDJAJA², ERWANI MERRY SARTIKA³, MICHAEL CLADIUS POLTAK PINTU BATU⁴

Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil panen yaitu kondisi unsur hara pada tanaman. Kondisi unsur hara pada tanaman khususnya nitrogen dapat diidentifikasi melalui kandungan klorofil pada daun tanaman yang dapat diukur menggunakan klorofil meter. Namun, klorofil meter yang ada saat ini harganya masih mahal, selain itu masih memiliki kelemahan seperti penyimpanan data yang terbatas, dan data akan hilang jika tidak ada catu daya. Pada makalah ini, telah dikembangkan klorofil meter berbasis ESP32 yang dapat menyimpan data *chlorophyll content index* (CCI) pada modul memori sehingga data CCI dapat digunakan untuk analisis status nitrogen, tanaman yang diukur kandungan klorofilnya yaitu tanaman srikaya jumbo. Metode penelitian yang digunakan meliputi kajian pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya, perancangan, realisasi dan pengujian kinerja perangkat klorofil meter berbasis ESP32 dibandingkan dengan klorofil meter TYS-A pada pengukuran kandungan klorofil daun tanaman srikaya jumbo. Hasil pengujian menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) antara nilai TYS-A dengan nilai klorofil meter berbasis ESP32 adalah 0.9517, hal ini menunjukkan korelasi yang signifikan. Klorofil meter berbasis ESP32 telah berfungsi dengan baik, yaitu mampu mengukur indeks klorofil tanaman srikaya jumbo, dan menyimpan data indeks klorofil pada modul memori. Klorofil meter berbasis ESP32 dapat digunakan sebagai alternatif yang murah dari klorofil meter TYS-A.

Kata Kunci: CCI, ESP32, klorofil meter, TYS-A

Abstract

One of the factors affecting crop yields is the condition of nutrients in plants. The nutrient condition, particularly nitrogen, can be identified through the chlorophyll content in plant leaves, which can be measured using a chlorophyll meter. However, current chlorophyll meters are still expensive and have limitations such as limited data storage, with data being lost if there is no power supply. In this paper, an ESP32-based chlorophyll meter was developed to store chlorophyll content index (CCI) data in a memory module, enabling the data to be used for nitrogen status analysis. The plant used for chlorophyll measurement in this study was the jumbo sugar apple plant. The research methods included literature reviews from previous studies, design, implementation, and performance testing of the ESP32-based chlorophyll meter compared to the TYS-A chlorophyll meter in measuring the chlorophyll content of jumbo sugar apple leaves. The test results showed a determination coefficient (R^2) of 0.9517 between the TYS-A values and those of the ESP32-based chlorophyll meter, indicating a significant correlation. The ESP32-based chlorophyll meter functioned effectively, being capable of measuring the chlorophyll index of jumbo sugar apple plant and storing the chlorophyll index data in a memory module. The ESP32-based chlorophyll meter can serve as an affordable alternative to the TYS-A chlorophyll meter.

Keywords: CCI, ESP32, chlorophyll meter, TYS-A

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas, Universitas Kristen Maranatha, Jl. Surya Sumantri No.65, Bandung 40164;

*Penulis Korespondensi: Tel/Faks: 081-809-536-225; Surel: heri.andrianto@eng.maranatha.edu

PENDAHULUAN

Nitrogen (N) adalah unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman, mempengaruhi produksi klorofil dan aktivitas fotosintesis. Nitrogen memainkan peran kunci dalam pertumbuhan tanaman karena berperan dalam pembentukan protein, asam nukleat, dan klorofil, serta mendukung proses fotosintesis. Pengukuran status N secara tepat sangat penting untuk menentukan kebutuhan pemupukan. Pengelolaan N yang tepat sangat penting untuk menjaga keseimbangan nutrisi pada tanaman, menghindari defisiensi maupun kelebihan yang dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Pengukuran N melalui daun menawarkan beberapa keunggulan karena secara langsung merepresentasikan tingkat kecukupan nutrisi dalam tanaman. Metode ini lebih relevan dibandingkan pengukuran tanah karena mencerminkan kondisi fisiologis tanaman saat itu.

Defisiensi dan kelebihan unsur hara pada tanaman khususnya defisiensi N dapat diketahui dari kandungan klorofil pada daun, karena kandungan N berhubungan dengan kandungan klorofil (Andrianto *et al.*, 2020). Data kandungan klorofil yang diperoleh dari hasil pengukuran menggambarkan status N tanaman. Kandungan klorofil dalam daun dapat diukur dengan menggunakan klorofil meter. Keuntungan pengukuran indeks klorofil pada daun tanaman menggunakan klorofil meter adalah tidak merusak daun serta tidak membutuhkan banyak waktu dan tenaga (Bojović dan Marković, 2009; Ali *et al.*, 2020; Gholizadeh *et al.*, 2017). Namun, klorofil meter yang ada di pasaran saat ini masih mahal dan memiliki keterbatasan dari segi penyimpanan data, yaitu data akan hilang jika tidak ada catu daya (Uddling *et al.*, 2007; Anand dan Byju, 2008; Maleki *et al.*, 2012; Ling *et al.*, 2011; Coste *et al.*, 2010; Novichonok *et al.*, 2016; Parry *et al.*, 2014; Sookchalearn dan Abdullakasim, 2017). Tujuan pada penelitian ini yaitu mengembangkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 yang dapat digunakan untuk memantau kondisi unsur hara khususnya N melalui indeks klorofil daun tanaman.

Pada makalah ini, daun tanaman yang diukur indeks klorofilnya yaitu daun tanaman srikaya jumbo. Tanaman srikaya jumbo merupakan salah satu tanaman buah yang memiliki nilai ekonomi tinggi, tanaman ini tumbuh di berbagai negara tropis, termasuk Indonesia (Susila dan Sudiryanto, 2021). Tanaman srikaya jumbo adalah varietas unggul dari buah srikaya (*Annona squamosa*), yang dikenal karena ukuran buahnya yang lebih besar dibandingkan dengan varietas biasa. Buah srikaya kaya akan antioksidan seperti vitamin A yang berguna untuk kesehatan mata, rambut dan kulit. Srikaya juga mengandung vitamin C yang baik untuk melawan radikal bebas dalam tubuh. Kalium dan magnesium yang dikandung oleh buah srikaya berguna untuk mencegah penyakit jantung (Setiono *et al.*, 2013). Salah satu aspek penting dalam budidaya srikaya jumbo adalah pengelolaan nutrisi tanaman, khususnya N agar pertumbuhan vegetatif dan reproduktif dapat berjalan dengan baik sehingga produksinya dapat mencapai nilai yang maksimal.

KAJIAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan klorofil meter. Takeuchi *et al.*, (2009) melaporkan pengembangan fluorometer klorofil PAM sederhana untuk memantau kondisi vegetasi menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) dan komputer (Takeuchi *et al.*, 2009). Maleki *et al.*, (2012) juga melaporkan perangkat untuk memperkirakan kandungan N pada tanaman selada menggunakan sensor TCS230 (Maleki *et al.*, 2012). Lamb *et al.*, (2012) melaporkan pengembangan fluorometer berdasarkan LED untuk kuantifikasi klorofil di lahan pertanian dan di laboratorium (Lamb *et al.*, 2012). Leeuw *et al.*, (2013) membuat fluorometer dengan menggunakan komponen elektronik dengan harga yang murah untuk membuat sensor optic (Leeuw *et al.*, 2013). Maheswaran dan Asokan (2015) membuat klorofil meter yang dapat memperkirakan kandungan klorofil dari kunyit, tebu, tanaman dan pisang (Maheswaran dan Asokan, 2015). Gull *et al.*, (2016) membuat prototipe *Chlorophyll Fluorescence* (Gull *et al.*, 2016). Sookchalearn dan Abdullakasim (2017) telah membuat perangkat untuk memperkirakan kandungan klorofil pada tanaman singkong menggunakan sensor TCS230 dan menambahkan modul GPS untuk mendapatkan posisi pada saat pengukuran

(Sookchalearn dan Abdulkasim, 2017). Andrianto *et al.*, (2020) mengembangkan klorofil meter berbasis IoT menggunakan NodeMCU (ESP8266) dengan konesi WiFi (Andrianto *et al.*, 2020). Kale *et al.*, melakukan pengembangan photosensor berbasis ESP32 untuk mendeteksi kandungan klorofil (Kale *et al.*, 2024). Perbedaan penelitian Kale *et al.*, dengan makalah ini yaitu pada jenis sensor yang digunakan, Kale *et al.*, menggunakan *photosensor (photodiode)*, sedangkan pada makalah ini menggunakan sensor *spectral* TSL2561. Penelitian Kale *et al.*, hanya sampai tahap mencoba sensor dan belum sampai menghitung indeks klorofil, sedangkan pada makalah ini sudah sampai pada tahap menghitung indeks klorofil dalam satuan CCI. Namun, penelitian-penelitian yang sudah dilakukan masih memiliki kelemahan (Tabel 1).

Tabel 1 Penelitian mengenai pembuatan perangkat klorofil meter

| Peneliti | Judul | Kelemahan |
|------------------------------------|--|---|
| Takeuchi <i>et al.</i> , (2009) | <i>Development of Simplified PAM Chlorophyll Fluorometer for Vegetation Condition Monitoring</i> | - Menggunakan PLC dan komputer sehingga tidak efektif dan tidak efisien |
| Maleki <i>et al.</i> , (2012) | <i>Application of a spectral sensor for the assessment of nitrogen content in lettuce plants</i> | - Hanya untuk tanaman selada - Tidak ada penyimpanan data, GPS, & interface |
| Lamb <i>et al.</i> , (2012) | <i>A LED-based fluorometer for chlorophyll quantification in the laboratory and in the field</i> | - Destruktif, karena daun harus diekstrak terlebih dahulu |
| Leeuw <i>et al.</i> , (2013) | <i>In situ Measurements of Phytoplankton Fluorescence Using Low-Cost Electronics</i> | - Memiliki <i>error</i> pengukuran ±4% dibandingkan dengan alat komersial - Pengukuran secara destruktif, dari ekstrak tanaman |
| Maheswaran dan Asokan (2015) | <i>Multi-crop chlorophyll meter system design for effective fertilization</i> | - Tidak ada informasi hasil pengukuran - Untuk tanaman kunyit, tebu, pisang |
| Gull <i>et al.</i> , (2016) | <i>A Low-Cost Chlorophyll Fluorescence Sensor System</i> | - Hanya desain alat - Tidak ada data hasil pengukuran |
| Sookchalearn dan Abdulkasim (2017) | <i>A Low-cost Sensor for Measuring and Mapping Chlorophyll Content in Cassava Leaves</i> | - Hanya untuk tanaman Singkong - Tidak ada data lokasi - Tidak ada <i>interface</i> ke perangkat lain |
| Andrianto <i>et al.</i> , (2020) | <i>Performance evaluation of low-cost IoT based chlorophyll meter</i> | - Menggunakan NodeMCU (ESP8266) yang sudah mulai usang |
| Kale <i>et al.</i> , (2024) | <i>Development of an Electronic Photo Sensor for Chlorophyll Detection</i> | - Hanya sampai pengujian sensor, belum sampai menghitung indeks klorofil - Data pengujian hanya 3 data |

Berdasarkan kajian-kajian tersebut di atas maka beberapa hal yang masih dapat dikembangkan dari klorofil meter yang ada saat ini yaitu: perangkat klorofil meter dapat dikembangkan lagi menggunakan mikrokontroler terbaru yang memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih tinggi dan memiliki berbagai keunggulan, menyediakan fasilitas modul memori dengan kapasitas penyimpanan data yang besar, melakukan pengujian perangkat klorofil meter untuk berbagai jenis tanaman.

METODE

Tahapan dalam penelitian ini dimulai dengan kajian pustaka dari hasil penelitian-penelitian sebelumnya. Selanjutnya adalah tahap perancangan yaitu membuat diagram blok sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap berikutnya adalah realisasi perangkat keras dan perangkat lunak pada klorofil meter berbasis ESP32. Kemudian tahap akhir adalah uji coba dan evaluasi kinerja klorofil meter berbasis ESP32.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk memperkirakan indeks klorofil berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Parry *et al.*, (Parry *et al.*, 2014). Cara kerja perangkat dalam memperkirakan indeks klorofil pada daun yaitu dengan menggunakan cahaya merah dan inframerah. Cahaya yang diterima oleh daun kemudian akan diserap, dipantulkan,

dan diteruskan oleh daun. Cahaya merah merupakan cahaya yang paling banyak diserap oleh tanaman untuk melakukan fotosintesis. Cahaya inframerah merupakan cahaya yang tidak diserap oleh daun namun diteruskan atau dipantulkan oleh daun. Cahaya yang diteruskan oleh daun akan dideteksi oleh sensor spektral. Nilai indeks klorofil diperoleh dari rasio persentase intensitas cahaya inframerah dan persentase intensitas cahaya merah (Andrianto *et al.*, 2023). Indeks klorofil yang diperoleh dinyatakan dalam satuan CCI. Parry *et al.*, (2014) menghitung indeks klorofil daun tanaman dalam satuan CCI menggunakan persamaan (1).

$$CCI = \frac{\% \text{Cahaya Inframerah yang diteruskan}}{\% \text{Cahaya Merah yang diteruskan}} \quad (1)$$

Metode yang sama juga digunakan pada klorofil meter TYS-A, namun klorofil meter TYS-A menggunakan satuan *Soil Plant Analysis Development* (SPAD). Konversi dari satuan CCI ke SPAD dihitung menggunakan persamaan (2) dengan K adalah *coidential slope coefficient* dan C adalah *confidential offset value*.

$$SPAD = K \log(CCI) + C \quad (2)$$

Perancangan Perangkat Keras Klorofil Meter Berbasis ESP32

Komponen-komponen penting pada perangkat klorofil meter yang dikembangkan yaitu ESP32, LED merah, LED inframerah, *sensor spectral* TSL 2561, *pushbutton*, modul memori, dan LCD. Masing-masing komponen memiliki fungsi khusus. ESP32 mengolah data sensor dan mengendalikan seluruh proses. LED merah dan LED inframerah memancarkan cahaya merah dan cahaya inframerah ke permukaan daun. Sensor TSL 2561 mendeteksi Cahaya merah dan inframerah yang diteruskan oleh daun. *Pushbutton* memudahkan pengguna untuk menyimpan data ke modul memori. Modul memori menyimpan data hasil pengukuran. LCD menampilkan hasil pengukuran indeks klorofil.

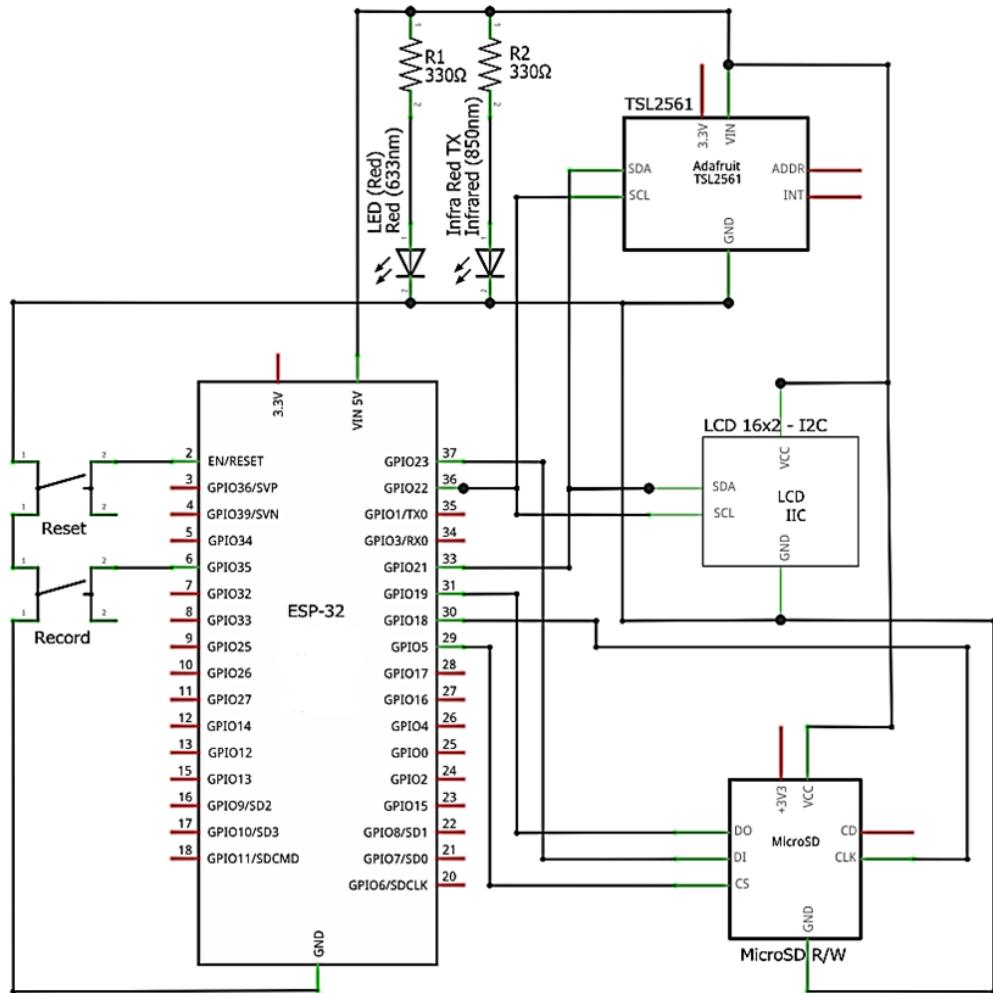
Pada makalah ini, protokol komunikasi serial *Inter-Integrated Circuit* (I2C) digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan berbagai perangkat lain seperti Sensor TSL2561 dan LCD. ESP32 menggunakan I2C untuk berkomunikasi dengan sensor TSL2561 dan LCD melalui jalur komunikasi yang sama. Protokol I2C bekerja dengan dua kabel utama, yaitu *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL). SDA digunakan untuk mengirim dan menerima data, sedangkan SCL digunakan untuk mengontrol sinkronisasi data antara perangkat *master* dan *slave*. Meskipun sensor TSL2561 dan LCD menggunakan jalur SDA dan SCL yang sama, kedua komponen tersebut tetap bisa menerima perintah dan data dengan benar karena setiap perangkat I2C memiliki alamat unik (I2C Address). Saat komunikasi awal, ESP32 akan mengirimkan alamat perangkat. Alamat I2C Sensor TSL2561 yaitu 0x39 dan alamat I2C LCD yaitu 0x27. Selanjutnya ESP32 dan perangkat yang dituju akan berkomunikasi.

Schematic Diagram Perangkat Klorofil Meter Berbasis ESP32

Gambar 1 memperlihatkan *schematic diagram* perangkat klorofil meter berbasis ESP32. Tabel 2 memperlihatkan hubungan pin-pin ESP32 dengan komponen lainnya.

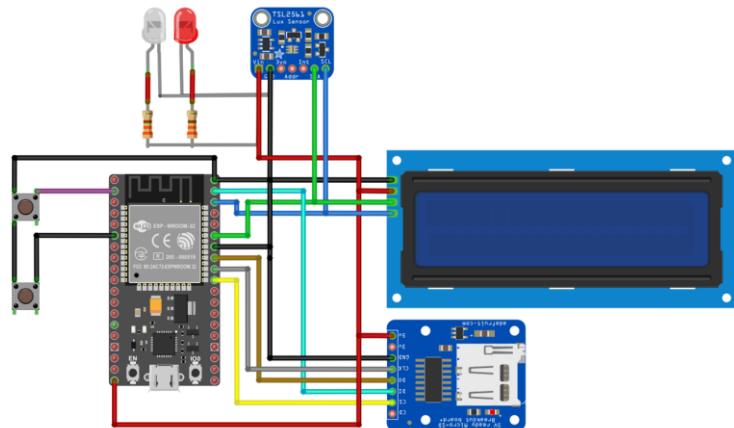
Tabel 2 Hubungan pin-pin ESP32 dengan komponen lainnya

| Pin ESP32 | Komponen lain |
|------------------|--|
| GPIO21 (I2C SDA) | I2C SDA (Sensor TSL2561) dan I2C SDA (LCD) |
| GPIO22 (I2C SCL) | I2C SCL (Sensor TSL2561) dan I2C SCL (LCD) |
| GPIO23(MOSI) | MOSI/DI (Modul Memori) |
| GPIO19(MISO) | MISO/D0 (Modul Memori) |
| GPIO18(CLK) | CLK (Modul Memori) |
| GPIO5(CS0) | CS (Modul Memori) |
| GPIO35 | Pushbutton |

Gambar 1 *Schematic diagram* klorofil meter berbasis ESP32

Wiring Diagram Klorofil Meter Berbasis ESP32

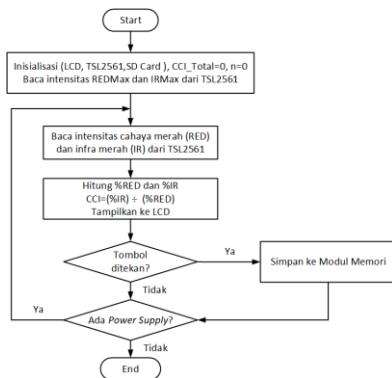
Gambar 2 memperlihatkan *wiring diagram* perangkat klorofil meter berbasis ESP32.

Gambar 2 *Wiring Diagram* klorofil meter berbasis ESP32

Perancangan Perangkat Lunak Klorofil Meter Berbasis ESP32

Gambar 3 memperlihatkan *flowchart* program utama pada klorofil meter berbasis ESP32. Cara kerja perangkat klorofil meter berbasis ESP32 adalah sebagai berikut: langkah pertama dimulai dari proses inisialisasi, kemudian membaca data indeks klorofil dari sensor spektral

TSL2561 dan menampilkannya ke LCD. Jika tombol ditekan maka ESP32 akan menyimpan data pada modul memori.



Gambar 3 Flowchart program utama pada ESP32

Realisasi Klorofil Meter Berbasis ESP32

Realisasi klorofil meter berbasis ESP32 menggunakan komponen-komponen sebagai berikut: ESP32, Expansion Board ESP32, 2 buah Resistor 330 ohm, LED Red, LED infra red, Modul MicroSD, Sensor spektral TSL2561, LCD 16x2 (I2C), 2 buah Push button, Battery Li-Polymer 3.7V 1300mAH 053759, Boost converter + charger TP4056 MT3608 Lion Lipo BMS, Board konektor usb micro C, Kabel usb micro C, Board konektor usb, Saklar on off power, LED indikator, Casing custom + sekrup dan baut, Cable jumper dupont F-F 10cm x 20 pcs, Pinhead, timah solder dan aksesoris lainnya. Gambar 4 memperlihatkan realisasi modul sensor spektral pada perangkat klorofil meter. Kabel USB digunakan sebagai penghubung modul *sensor spectral* dengan *controller* perangkat klorofil meter. Gambar 5 memperlihatkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 secara keseluruhan.



Gambar 4 Modul sensor spektral



Gambar 5 Klorofil Meter berbasis ESP32

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini tanaman yang akan diukur indeks klorofilnya yaitu tanaman srikaya jumbo (Gambar 6). Pengukuran dilakukan pada bulan November 2024 di daerah Sindangsari, Desa Sangkanhurip, Kecamatan Katapang, Kabupaten Bandung. Tahapan pengujian yaitu

pengujian kalibrasi perangkat, pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menggunakan perangkat yang dibuat dan TYS-A, memeriksa data indeks klorofil yang sudah disimpan pada modul memori, memeriksa data luaran dari sensor TSL2561 dan mengukur waktu proses mulai dari pembacaan data dari sensor TSL2561 sampai dengan perhitungan CCI.

Pengujian kalibrasi perangkat dilakukan dengan cara mengaktifkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 dan mengamati nilai CCI. Saat tidak ada daun, nilai CCI harus bernilai 1 karena intensitas cahaya merah dan inframerah diterima oleh sensor TSL2561 adalah sama besar, sehingga perbandingan cahaya inframerah dengan cahaya merah bernilai 1. Gambar 7 memperlihatkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 telah berhasil menunjukkan nilai CCI: 1.00 saat pertama kali diaktifkan dalam kondisi tidak ada daun pada modul sensor spektral TSL2561.



Gambar 6 Tanaman Srikaya Jumbo



Gambar 7 Nilai CCI=1.00 saat kondisi tidak ada daun pada sensor TSL2561

Pengujian selanjutnya yaitu pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menggunakan alat yang dibuat dan TYS-A. Daun srikaya jumbo yang akan diukur indeks klorofilnya terdiri dari 3 daun muda dan 3 daun tua. Masing-masing daun srikaya jumbo diukur indeks klorofilnya pada 6 posisi yang berbeda menggunakan perangkat yang dibuat dan TYS-A. Pengujian indeks klorofil suatu daun srikaya pada posisi tertentu dilakukan dengan cara memasukkan daun srikaya jumbo pada perangkat, posisi yang akan diukur indeks klorofilnya ditempatkan tepat diantara LED (merah dan inframerah) dan sensor TSL2561, hasil pengukuran indeks klorofil ditampilkan pada LCD. *Pushbutton* digunakan sebagai tombol simpan untuk menyimpan data CCI pada modul memori. Hasil pengukuran indeks klorofil baik menggunakan perangkat yang dibuat maupun TYS-A dicatat untuk mengetahui tingkat korelasinya.

Gambar 8 memperlihatkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 telah berfungsi dengan baik yaitu dapat menampilkan nilai CCI: 2.10, pada pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo yang berwarna hijau muda. Gambar 9 memperlihatkan perangkat klorofil meter berbasis ESP32 telah berfungsi dengan baik yaitu dapat menampilkan nilai CCI: 2.40, pada pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo yang berwarna hijau tua. Pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo selanjutnya dapat dilakukan dengan cara yang

sama, yaitu meletakkan daun srikaya jumbo pada modul sensor spektral, selanjutnya LCD akan menampilkan nilai CCI, jika nilai CCI sudah stabil, maka tombol simpan dapat ditekan untuk menyimpan data ke modul memori.



Gambar 8 Pengukuran indeks klorofil menggunakan klorofil meter berbasis ESP32 pada daun srikaya jumbo yang berwarna hijau muda (CCI : 2.10)



Gambar 9 Pengukuran indeks klorofil menggunakan klorofil meter berbasis ESP32 pada daun srikaya jumbo yang berwarna hijau tua (CCI : 2.40)

Selain menggunakan klorofil meter berbasis ESP32, pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo juga dilakukan menggunakan klorofil meter TYS-A. Hasil pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo menggunakan dua perangkat tersebut kemudian dibandingkan untuk mencari korelasi hasil pengukuran dua perangkat dan kinerja dari klorofil meter berbasis ESP32. Gambar 10 memperlihatkan perangkat klorofil meter TYS-A menampilkan nilai SPAD: 28.9, pada pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo yang berwarna hijau muda. Gambar 11 memperlihatkan perangkat klorofil meter TYS-A menampilkan nilai SPAD: 44.8, pada pengukuran indeks klorofil daun tanaman srikaya jumbo yang berwarna hijau tua.



Gambar 10 Pengukuran indeks klorofil menggunakan klorofil meter TYS-A pada daun srikaya jumbo yang berwarna hijau muda (SPAD : 28.9)



Gambar 11 Pengukuran indeks klorofil menggunakan klorofil meter TYS-A pada daun srikaya jumbo yang berwarna hijau tua (SPAD : 44.8)

Dari hasil pengukuran indeks klorofil pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 memperlihatkan bahwa daun srikaya jumbo yang berwarna hijau muda memiliki nilai CCI dan SPAD yang lebih rendah jika dibandingkan dengan daun srikaya jumbo yang berwarna

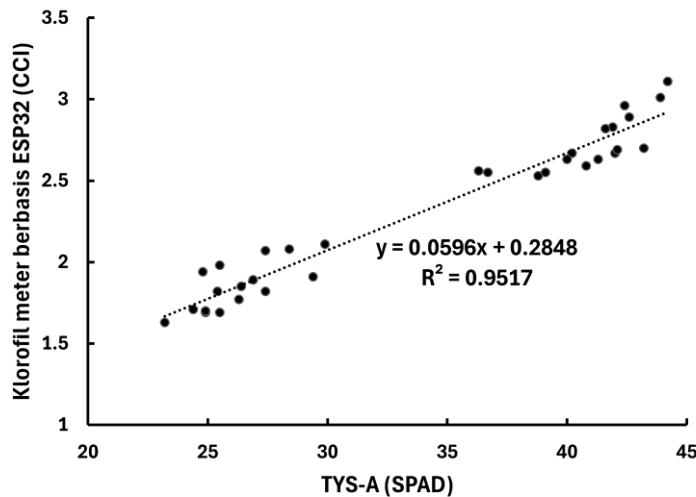
hijau tua, hal ini menunjukkan bahwa daun srikaya jumbo yang berwarna hijau muda memiliki kandungan klorofil/N yang lebih rendah dibandingkan dengan daun srikaya jumbo yang berwarna hijau tua.

Tabel 3 memperlihatkan hasil pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menggunakan klorofil meter berbasis ESP32 dan TYS-A. Proses *filter* data dilakukan terhadap 36 data hasil pengukuran, sebanyak 3 data anomali dibuang sehingga sebanyak 33 data yang digunakan. Kekuatan korelasi antara pengukuran kandungan klorofil menggunakan klorofil meter berbasis ESP2 dan TYS-A dinilai menggunakan koefisien determinasi (R^2). Dari hasil pengujian, diperoleh R^2 sebesar 0.9517 (Gambar 12), hal ini menunjukkan korelasi yang sangat kuat antara nilai klorofil meter berbasis ESP32 dan nilai TYS-A. Klorofil meter berbasis ESP32 telah berhasil digunakan untuk mengukur indeks klorofil, hasil ini sesuai dengan laporan penelitian lain (Maleki *et al.*, 2012; Zhu *et al.*, 2012; Novichonok *et al.*, 2016; Sookchalearn dan Abdullakasim, 2017; Andrianto *et al.*, 2020).

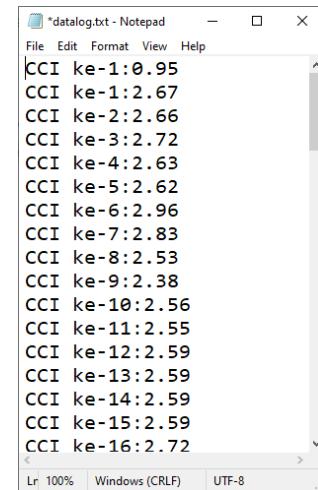
Gambar 13 memperlihatkan data indeks klorofil dalam satuan CCI yang tersimpan dalam memori (Micro SD). Bentuk data luaran yang dihasilkan pada pembacaan Cahaya merah dan inframerah diperlihatkan pada Gambar 14. Pengujian waktu proses mulai dari pembacaan data dari sensor TSL2561 sampai dengan perhitungan CCI diperlihatkan pada Gambar 15. Pembacaan data dilakukan sebanyak 10 kali lalu 10 data hasil pembacaan dijumlahkan menghasilkan nilai total CCI, setelah itu dihitung rata-rata nilai CCI dengan membagi total CCI dengan 10. Waktu proses berkisar 325 ms, 326 ms dan 327 ms.

Tabel 3 Hasil pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menggunakan klorofil meter berbasis ESP32 dan TYS-A

| No | Klorofil Meter | | No | Klorofil Meter | |
|----|----------------|-------|----|----------------|-------|
| | TYS-A | ESP32 | | TYS-A | ESP32 |
| 1 | 42 | 2.67 | 18 | 27.4 | 2.07 |
| 2 | 41.3 | 2.63 | 19 | 29.9 | 2.11 |
| 3 | 42.4 | 2.96 | 20 | 28.4 | 2.08 |
| 4 | 41.9 | 2.83 | 21 | 26.3 | 1.77 |
| 5 | 38.8 | 2.53 | 22 | 26.9 | 1.89 |
| 6 | 36.3 | 2.56 | 23 | 24.8 | 1.94 |
| 7 | 36.7 | 2.55 | 24 | 25.5 | 1.98 |
| 8 | 40.8 | 2.59 | 25 | 25.4 | 1.82 |
| 9 | 42.1 | 2.69 | 26 | 24.9 | 1.69 |
| 10 | 42.6 | 2.89 | 27 | 24.9 | 1.7 |
| 11 | 41.6 | 2.82 | 28 | 26.4 | 1.85 |
| 12 | 43.9 | 3.01 | 29 | 25.5 | 1.69 |
| 13 | 43.2 | 2.7 | 30 | 23.2 | 1.63 |
| 14 | 44.2 | 3.11 | 31 | 24.4 | 1.71 |
| 15 | 40.2 | 2.67 | 32 | 27.4 | 1.82 |
| 16 | 40 | 2.63 | 33 | 29.4 | 1.91 |
| 17 | 39.1 | 2.55 | | | |



Gambar 12 Korelasi antara nilai klorofil meter berbasis ESP32 dan TYS-A



Gambar 13 Data indeks klorofil dalam satuan CCI yang tersimpan dalam memori (Micro SD)

Gambar 14 Bentuk data luaran yang dihasilkan pada pembacaan data cahaya merah dan inframerah

Gambar 15 Waktu proses dari mulai pembacaan data dari sensor TSL2561 sampai dengan perhitungan CCI

SIMPULAN

Klorofil meter berbasis ESP32 telah berhasil dikembangkan dan telah berfungsi dengan baik yaitu dapat mengukur indeks klorofil daun srikaya jumbo, serta menyimpan data indeks klorofil daun srikaya jumbo pada modul memori. Dari hasil pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menunjukkan bahwa daun srikaya jumbo yang berwarna hijau muda memiliki kandungan klorofil/N yang lebih rendah dibandingkan dengan daun srikaya jumbo yang berwarna hijau tua. Korelasi yang kuat ($R^2 = 0.9517$) diperoleh antara pengukuran indeks klorofil daun srikaya jumbo menggunakan klorofil meter berbasis ESP32, dan TYS-A. Hasil pengujian menunjukkan hubungan yang signifikan antara nilai TYS-A dan nilai klorofil meter berbasis ESP32. Oleh karena itu, klorofil meter berbasis ESP32 dapat digunakan sebagai alternatif yang murah untuk alat ukur klorofil TYS-A.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Maranatha atas dukungan finansial yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali AM, Ibrahim SM, Bijay-Singh. 2020. Wheat grain yield and nitrogen uptake prediction using atLeaf and GreenSeeker portable optical sensors at jointing growth stage. *Information Processing in Agriculture*. 7(3): 375–383.
- Anand MH, Byju G. 2008. Chlorophyll meter and leaf colour chart to estimate chlorophyll content , leaf colour , and yield of cassava. *Photosynthetica*, 46(4): 511–516.
- Andrianto H, Suhardi, Faizal A, Kurniawan NA, Aji DPP. 2023. Performance evaluation of IoT-based service system for monitoring nutritional deficiencies in plants. *Information Processing in Agriculture*. 10(1): 52–70.
- Andrianto H, Suhardi, Faizal A. 2020. Performance evaluation of low-cost IoT based chlorophyll meter. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 9(3): 956–963.
- Bojović B, Marković A. 2009. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum L.*). *Kragujevac Journal of Science*. 31: 69–74.
- Coste S, Baraloto C, Leroy C, Marcon E, Renaud A, Richardson AD, Roggy JC, Schimann H, Uddling J, Herault B. 2010. Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter : a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Annals of Forest Science*. 67(6): 607p1-607p5.
- Gholizadeh A, Saberioon M, Boruvka L, Wayayok A, Soom MAM. 2017. Leaf chlorophyll and nitrogen dynamics and their relationship to lowland rice yield for site-specific paddy management. *Information Processing in Agriculture*, 4(4): 259–268.
- Gull C, Minkov MT, Pereira EG, Nacif JAM. 2016. A Low-Cost Chlorophyll Fluorescence Sensor System. *2016 VI Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*. IEEE. Hlm 186-191.
- Kale H, Dhote N, Choudhary S, Vaidya K. 2024. Development of an Electronic Photo Sensor for Chlorophyll Detection. *Journal of Electrical Systems*. 20(3): 435–446.
- Lamb JJ, Eaton-Rye JJ, Hohmann-Marriott MF. 2012. An LED-based fluorometer for chlorophyll quantification in the laboratory and in the field. *Photosynthesis Research*. 114(1): 59–68.
- Leeuw T, Boss ES, Wright DL. 2013. In situ measurements of phytoplankton fluorescence using low cost electronics. *Sensors*. 13(6): 7872–7883.
- Ling Q, Huang W, Jarvis P. 2011. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. *Photosynthesis Research*. 107(2): 209–214.
- Maheswaran S, Asokan R. 2015. Multi-crop Chlorophyll Meter System Design for Effective Fertilization. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 9(2): 98–105.
- Maleki M, Massah J, Dehghan M. 2012. Application of a spectral sensor for the assessment of nitrogen content in lettuce plants. *Australian Journal of Crop Science*. 6(2): 188–193.
- Novichonok EV, Novichonok AO, Kurbatova JA, Markovskaya EF. 2016. Use of the atLEAF + chlorophyll meter for a nondestructive estimate of chlorophyll content. *Photosynthetica*. 54(1): 130–137.
- Parry C, Blonquist JM, Bugbee B. 2014. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. *Plant, Cell & Environment*. 37(11): 2508–2520.
- Setiono D, Parjanto P, Djoar DW. 2013. Identifikasi Morfologi Aksesi Srikaya (*Annona squamosa*) di Gedangsari Gunungkidul. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 15(2): 32–35.
- Sookchalearn T, Abdulkasim W. 2017. A low-cost sensor for measuring and mapping chlorophyll content in cassava leaves. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*. 16(3): 183–190.
- Susila DA, Sudiryanto G. 2021. Deformation Of Srikaya Fruit In Wood Products. *Jurnal Ekspresi Seni*. 23(2): 290–301.
- Takeuchi A, Yoshida H, Shibata M. 2009. Development of Simplified PAM Chlorophyll

- Fluorometer for Vegetation Condition Monitoring. 2009 *IEEE 13th International Symposium on Consumer Electronics*. IEEE. Hlm 130–132.
- Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K, Pleijel H. 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*. 91(1): 37–46.
- Zhu J, Tremblay N, Liang Y. 2012. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*. 92(4): 645–648.