

Identifikasi Mangga Arumanis yang Dimatangkan dengan Kalsium Karbida (CaC₂) Menggunakan Metode Spektroskopi

Primus Putra Wahyudi¹, Budi Harsono²

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer,
Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta
¹primus.2016te001@civitas.ukrida.ac.id, ²budi.harsono@ukrida.ac.id

Abstrak

Penggunaan kalsium karbida (CaC₂) atau karbit untuk mematangkan buah dapat berbahaya untuk kesehatan, karena pada kulit dan daging buah terdeteksi unsur logam berbahaya, seperti fosfor dan arsenik. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi buah yang dimatangkan menggunakan karbit. Pada penelitian ini diusulkan sebuah metode spektroskopi untuk mengidentifikasi mangga Arumanis yang dimatangkan menggunakan karbit. Spektrum fluoresensi klorofil (ChlF) yang dipancarkan mangga saat disinari dengan sinar ungu akan diukur dan dianalisis untuk membedakan mangga yang matang alami dan mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa puncak spektrum ChlF dari mangga yang matang alami lebih rendah dari pada puncak spektrum ChlF mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit. Dengan memanfaatkan batas nilai rasio dua puncak pada spektrum ChlF ($I_{683}/I_{731} = 1,27$) yang diujikan pada 120 data spektrum ChlF mangga Arumanis, diperoleh akurasi identifikasi mangga matang alami sebesar 85% dan akurasi identifikasi mangga matang karbit sebesar 80,83%.

Kata kunci: spektroskopi, fluoresensi klorofil, spektrometer mikro, mangga Arumanis, kalsium karbida

Abstract

The use of calcium carbide (CaC₂) or carbide to ripen fruit can be dangerous for health, because harmful metal elements, such as phosphorus and arsenic are detected in the skin and flesh of the fruit. Therefore, we need a method that can be used to identify fruit ripened using carbide. This research proposes a spectroscopic method to identify Arumanis mangoes which are ripened using carbide. The fluorescence of chlorophyll (ChlF) spectrum emitted by mangoes when irradiated with purple light will be measured and analyzed to distinguish naturally ripe mangoes and mangoes ripened by using carbide. From the test results, it was found that the peak of the ChlF spectrum of naturally ripe mangoes was lower than the peak of the ChlF spectrum of mangoes ripened by using carbide. By utilizing the limit value of the ratio of two peaks in the ChlF spectrum ($I_{683}/I_{731} = 1.27$) which was tested on 120 ChlF spectral data of Arumanis mangoes, an identification accuracy of 85% of natural ripe mangoes was obtained and an identification accuracy of carbide ripe mangoes was 80.83%.

Keywords: spectroscopy, fluorescence of chlorophyll, micro spectrometer, Arumanis mango, calcium carbide

1. Pendahuluan

Buah-buahan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori berdasarkan laju respirasinya, yaitu buah klimaterik dan buah non-klimaterik. Buah klimaterik adalah buah yang mengalami peningkatan laju respirasi dan produksi etilen pada tahap pematangan. Contoh buah klimaterik, antara lain alpukat, pisang, jambu biji, durian, mangga, kiwi, apel, nangka, pepaya, pir, dan tomat. Buah non-klimaterik adalah buah yang tidak mengalami peningkatan respirasi dan produksi etilen saat pematangan. Selama proses pematangan, buah non-klimaterik cenderung menunjukkan penurunan tingkat respirasi dan produksi etilen. Contoh buah non-klimaterik, antara lain jeruk, anggur, lemon, melon, nanas, rambutan, semangka, dan stroberi [1], [2].

Pada buah klimaterik, proses pematangannya membutuhkan gas etilen. Gas etilen adalah gas yang dihasilkan secara alamiah oleh buah saat proses pematangan [2], [3]. Untuk menghindari kerusakan saat pengiriman, buah biasanya dipetik dalam keadaan belum matang, sehingga setibanya di tempat tujuan dibutuhkan proses pematangan buah secara buatan sebelum dijual di pasar [4], [5]. Proses pematangan buatan dengan menggunakan gas etilen membutuhkan ruang khusus dan penghasil gas etilen yang mahal, sehingga banyak pedagang di pasar menggunakan cara pematangan buah yang lebih murah [6], [7].

Kalsium Karbida (CaC_2) atau yang lebih dikenal dengan sebutan karbit dapat menghasilkan gas asetilen yang bersifat serupa dengan gas etilen yang dapat digunakan untuk mempercepat proses pematangan buah secara buatan [3], [7]. Namun dari hasil penelitian, pada buah yang dimatangkan dengan karbit terdeteksi unsur logam berat berbahaya, seperti fosfor dan arsenik, pada kulit dan daging buah [8], [9], sehingga mengkonsumsi buah yang dimatangkan dengan karbit dapat menyebabkan gangguan kesehatan [3], [9].

Di negara Eropa dan beberapa negara di Asia, seperti India, Bangladesh, Pakistan, Sri Lanka, dan Nepal, penggunaan karbit untuk mematangkan buah telah dilarang dan dapat dijatuhi hukuman bila diketahui penggunaannya untuk mematangkan buah [3], [10]. Namun, karena harganya yang murah dan mudah diperoleh, karbit masih digunakan sebagai pematang buatan di beberapa negara di Asia, seperti India, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Indonesia [4], [10]–[12]. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi buah yang dimatangkan dengan menggunakan karbit.

Mangga (*Mangifera Indica L.*) adalah salah satu jenis buah yang banyak dimatangkan menggunakan karbit. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengidentifikasi buah mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit. Dalam penelitiannya, W. Puspitaningrum dan Supatman melakukan identifikasi buah mangga Harum Manis karbitan dan tidak karbitan dengan metode *Learning Vector Quantization* (LVQ) [9]. Citra mangga karbit dan tidak karbit diambil menggunakan kamera *smartphone*, selanjutnya citra mangga diolah dan diambil cirinya untuk diklasifikasikan menggunakan LVQ. Dari hasil pengujian diperoleh unjuk kerja terbaik dengan 60 data adalah 98,333% dengan rincian mangga karbitan 100% dan mangga tidak karbit 96,666%.

A. J. Lakade et al. dalam penelitiannya menggunakan metode spektroskopi near-infrared (NIR) untuk mendeteksi kalsium karbida pada mangga yang dimatangkan secara buatan [7]. Spektrum NIR yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode *multivariate* meliputi *principal component analysis*, *particle least square*, dan *successive*

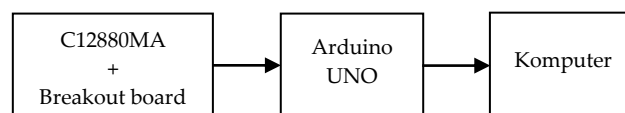
projection. Hasil yang diperoleh menunjukkan daerah pembeda pada spektrum untuk mangga yang matang secara alami dan mangga matang buatan, sehingga metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi mangga yang dimatangkan dengan karbit.

Dalam penelitian ini diusulkan sebuah metode untuk mengidentifikasi buah mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit. Jenis buah mangga yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis mangga Arumanis atau yang sering disebut sebagai mangga Harum Manis. Buah mangga Arumanis akan disinari dengan sinar ungu dan pancaran fluoresensi klorofil (ChlF) yang dihasilkan buah mangga akan ditangkap menggunakan spektrometer mikro untuk dianalisis. Hasil analisis akan digunakan untuk membedakan antara mangga matang alami dan mangga yang dimatangkan menggunakan karbit.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini, buah mangga akan disinari dengan sinar ungu sehingga mangga memancarkan sinar ChlF yang kemudian ditangkap menggunakan spektrometer mikro untuk mengetahui bentuk spektrum sinar yang dipancarkan. Data spektrum ChlF selanjutnya dikirimkan ke komputer untuk ditampilkan dan disimpan. Data yang disimpan kemudian dianalisis untuk mengetahui perbedaan antara mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit dan mangga matang alami.

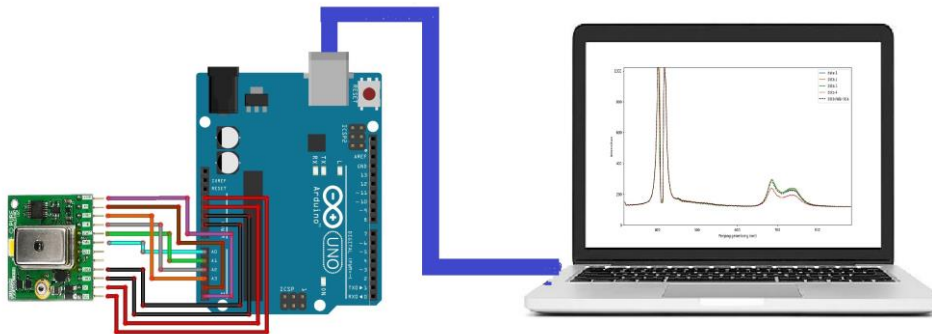
Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah merancang alat untuk mengukur spektrum ChlF yang dipancarkan oleh mangga saat disinari dengan sinar ungu. Tahap berikutnya adalah merancang program komputer untuk menerima dan menampilkan data spektrum yang dikirim oleh alat. Pada program komputer juga terdapat pilihan untuk menyimpan data spektrum dalam bentuk file *Excel*, sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut. Tahap terakhir adalah persiapan objek penelitian dan pelaksanaan pengukuran. Hasil pengukuran selanjutnya dianalisis untuk menemukan perbedaan antara mangga matang alami dengan mangga matang karbit.



Gambar 1. Diagram blok alat

2.1. Perancangan Alat

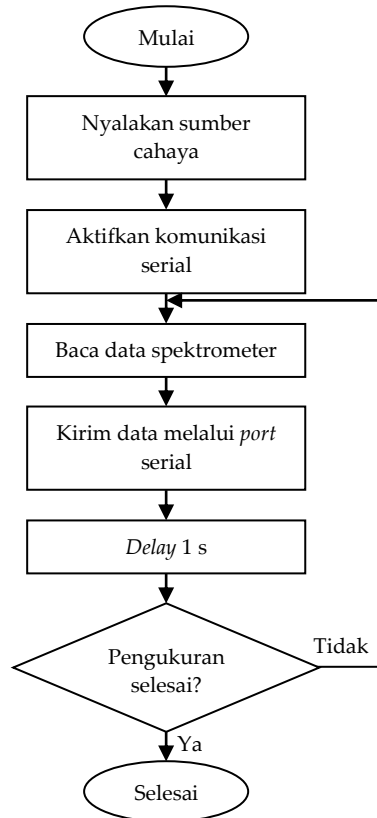
Perangkat keras alat yang dirancang terdiri dari sensor spektrometer mikro tipe C12880MA dari Hamamatsu yang dapat mendeteksi panjang gelombang 340-780 nm dengan tingkat resolusi 15 nm. Spektrometer mikro C12880MA dihubungkan ke Arduino UNO melalui *breakout board* dari GroupGets. Pada *breakout board* juga terdapat sumber cahaya ungu berupa dioda laser tipe SLD3134VL yang menghasilkan panjang gelombang puncak 405 nm. Sumber cahaya ini dapat digunakan untuk mengeksitasi ChlF pada buah mangga, sehingga tidak membutuhkan rangkaian sumber cahaya tambahan. Arduino UNO selanjutnya dihubungkan ke komputer melalui *port* USB. Diagram blok alat yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1 dan skematik rangkaian alat diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik rangkaian alat

Dari skematik rangkaian terlihat bahwa spektrometer mikro C12880MA terhubung ke Arduino UNO menggunakan urutan *pin* sebagai berikut: *pin Trigger* (TRG) terhubung ke *pin* A0, *pin Start* (ST) terhubung ke *pin* A1, *pin Clock* (CLK) terhubung ke *pin* A2, *pin Video* terhubung ke *pin* A3 dan rangkaian dioda laser terhubung ke *pin* A5. Sumber tegangan 5V untuk rangkaian spektrometer diambil dari *pin* 5V Arduino yang diperoleh saat papan Arduino UNO dihubungkan ke komputer melalui *port* USB.

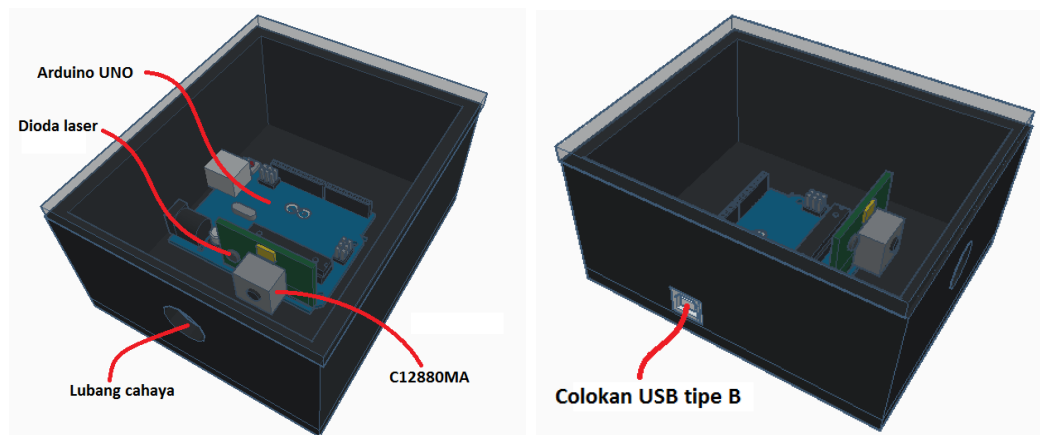
Pembacaan data spektrum dari spektrometer mikro C12880MA dimulai dengan memberikan sebuah pulsa CLK yang diikuti dengan membuat *pin* ST menjadi HIGH. Tahap selanjutnya adalah memberikan 15 pulsa CLK lagi dan membuat *pin* ST kembali LOW. Sebelum pembacaan data spektrum dilakukan, tahap berikutnya adalah memberikan 88 pulsa CLK setelah *pin* ST kembali LOW.



Gambar 3. Diagram alir progam Arduino

Data spektrum dapat dibaca *byte per byte* dari *pin Video* berupa nilai analog yang merupakan nilai intensitas cahaya pada panjang gelombang dalam spektrum. Pembacaan data pada *pin Video* dilakukan dengan memberikan pulsa CLK untuk setiap pembacaan *byte* data. Terdapat 288 data intensitas yang harus dibaca. Setelah pembacaan nilai analog pada *pin Video* selesai, *pin ST* kembali diberi logika HIGH diikuti dengan pemberian tujuh pulsa CLK. Data spektrum yang terbaca kemudian dikirimkan ke komputer melalui *port* USB dengan menggunakan komunikasi serial asinkron. *Baud rate* yang digunakan untuk komunikasi antara Arduino dengan program komputer adalah 115200 *bits per second* (bps). Diagram alir dari program Arduino dapat dilihat pada Gambar 3.

Rangkaian alat yang telah dibuat kemudian dimasukkan ke dalam sebuah kotak hitam dan diberi lubang sebagai jalan keluar sinar ungu yang dipancarkan oleh dioda laser dan juga sebagai jalan masuk sinar ChlF yang dipancarkan oleh mangga. Sinar ChlF ini akan diukur oleh spektrometer mikro. *Port* USB Arduino UNO juga dikeluarkan dari kotak melalui sebuah lubang segiempat untuk menghubungkan alat ke komputer. Bentuk fisik alat yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 4.

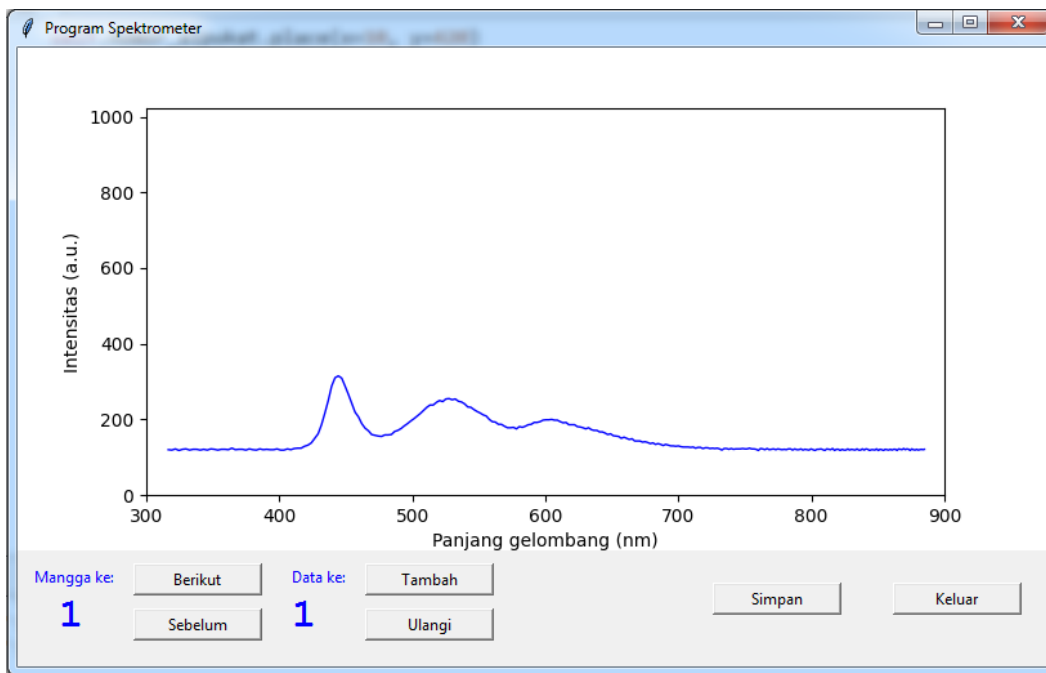


Gambar 4. Bentuk fisik alat

2.2. Perancangan Program Komputer

Perancangan program komputer dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python. Program komputer dirancang dalam bentuk tampilan *Graphical User Interface* (GUI) untuk menerima dan menampilkan data spektrum dalam bentuk grafik. Pada GUI juga tersedia tombol untuk melakukan penyimpanan data spektrum dalam bentuk *file Excel*. Tampilan dari GUI program yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 5.

Pada tampilan GUI terdapat beberapa tombol dengan fungsi sebagai berikut: tombol 'Berikut' digunakan untuk menaikkan nomor indeks mangga yang akan dicatat saat penyimpanan data, tombol 'Sebelum' digunakan untuk menurunkan nomor indeks mangga ke nomor sebelumnya, tombol 'Tambah' digunakan untuk menaikkan nomor indeks jumlah data pengukuran, dan tombol 'Ulangi' digunakan untuk menurunkan nomor indeks jumlah data pengukuran ke nomor sebelumnya.



Gambar 5. Tampilan GUI program

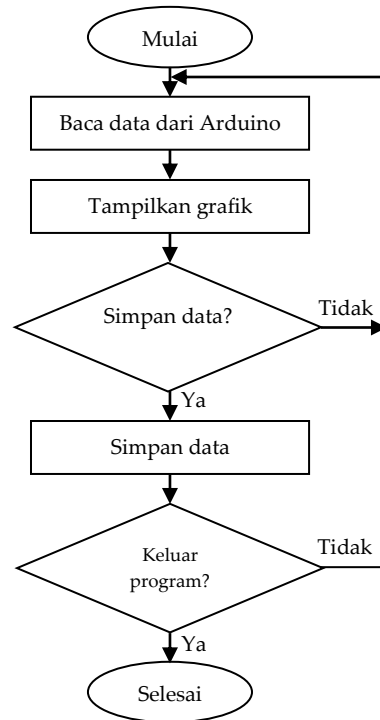
Penyimpanan data spektrum dapat dilakukan dengan menekan tombol 'Simpan'. Untuk penyimpanan file, program akan secara otomatis menghasilkan nama *file* dengan format '{tanggal}-UV_mangga {no indeks mangga}, pengambilan data ke-{no indeks data}.xlsx'. Penamaan secara otomatis ini dilakukan untuk mengurangi kesalahan penamaan *file* saat penyimpanan data spektrum. Contoh tampilan penamaan *file Excel* yang tersimpan diperlihatkan pada Gambar 6.

Name	Type	Size
26Sep22 - UV_mangga 1, pengambilan data ke-1.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB
26Sep22 - UV_mangga 1, pengambilan data ke-2.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB
26Sep22 - UV_mangga 1, pengambilan data ke-3.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB
26Sep22 - UV_mangga 1, pengambilan data ke-4.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB
26Sep22 - UV_mangga 2, pengambilan data ke-1.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB
26Sep22 - UV_mangga 2, pengambilan data ke-2.xlsx	Microsoft Excel Worksheet	11 KB

Gambar 6. Tampilan nama *file* yang tersimpan

Untuk menampilkan data spektrum yang diterima dalam bentuk grafik, maka perlu dilakukan penghitungan nilai panjang gelombang untuk setiap data intensitas yang akan ditampilkan. Penghitungan nilai panjang gelombang dilakukan menggunakan persamaan polinomial orde 5, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 1 dimana *pix* adalah jumlah piksel dan $A_0, B_1, B_2, B_3, B_4,$ dan B_5 adalah koefisien kalibrasi yang nilai-nilainya diperoleh dari lembar inspeksi final spektrometer mikro C12880MA. Diagram alir dari program komputer yang dibuat diberikan pada Gambar 7.

$$\text{panjang gelombang (nm)} = A_0 + B_1 * pix + B_2 * pix^2 + B_3 * pix^3 + B_4 * pix^4 + B_5 * pix^5 \quad (1)$$

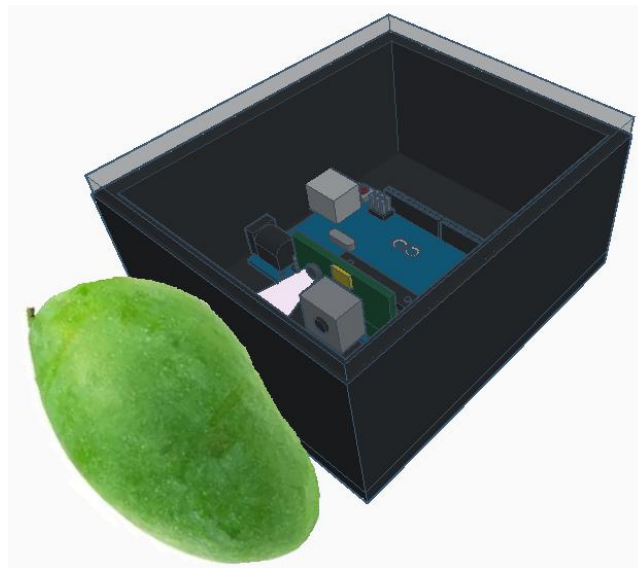


Gambar 7. Diagram alir program komputer

2.3. Persiapan Objek Penelitian dan Pelaksanaan Pengukuran

Dalam penelitian ini, buah mangga Arumanis yang dipakai diperoleh dari beberapa pohon mangga. Sebanyak 45 buah mangga Arumanis dipetik dalam keadaan mengkal (belum matang) dan 15 buah mangga Arumanis dipetik dalam keadaan matang (matang pohon). Buah mangga Arumanis yang telah dipetik kemudian dibagi menjadi empat kelompok. Kelompok I terdiri atas 15 buah mangga yang masih mengkal yang akan dibiarkan tanpa karbit selama 72 jam. Kelompok II terdiri atas 15 buah mangga mengkal yang akan dimatangkan dengan menggunakan karbit 50 gr selama 72 jam. Kelompok III terdiri atas 15 buah mangga mengkal yang akan dimatangkan dengan menggunakan karbit 100 gr selama 72 jam dan kelompok IV adalah 15 buah mangga yang matang pohon.

Pada kondisi awal, setiap buah mangga diukur spektrum ChlF-nya terlebih dahulu. Buah mangga diletakkan menempel pada lubang cahaya alat sehingga terkena sinar ungu yang dipancarkan oleh dioda laser. Spektrum ChlF yang dipancarkan mangga kemudian diukur dan ditampilkan pada program komputer. Cara pengukuran spektrum ChlF buah mangga ditunjukkan pada Gambar 8. Pada setiap mangga dilakukan empat kali pengukuran pada empat titik berbeda. Spektrum hasil pengukuran pada keempat titik kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Untuk membandingkan spektrum ChlF tiap kelompok, maka spektrum ChlF rata-rata setiap mangga dalam satu kelompok dihitung spektrum rata-ratanya, sehingga setiap kelompok mangga akan menghasilkan sebuah spektrum rata-rata. Spektrum rata-rata tiap kelompok inilah yang akan dibandingkan untuk mencari perbedaan antara mangga matang alami dengan mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit.



Gambar 8. Cara pengukuran spektrum ChlF

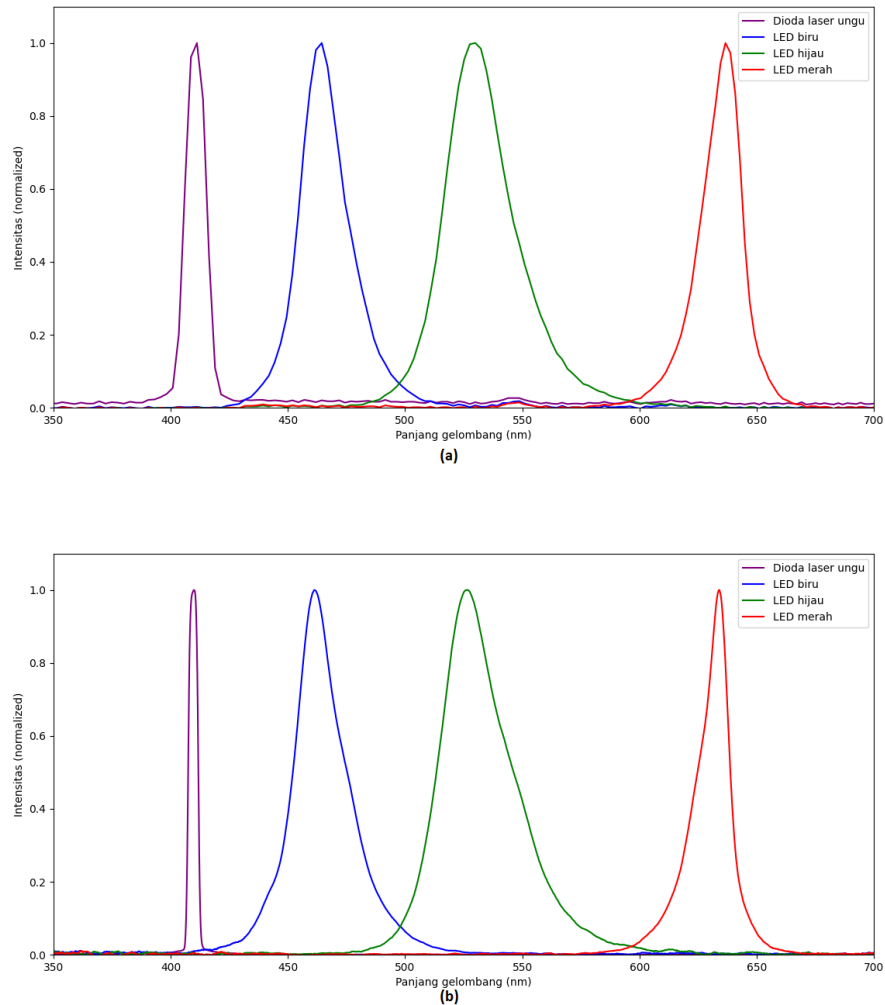
Proses pematangan buah mangga dengan menggunakan karbit dilakukan dengan cara meletakkan karbit yang telah dibungkus kain basah di bagian bawah kotak karton. Kotak karton kemudian diisi dengan buah mangga yang akan dikarbit dan ditutup selama 72 jam. Setelah didiamkan selama 72 jam, buah mangga kemudian dikeluarkan dari kotak karton dan diukur spektrum ChlF-nya. Data ChlF ini selanjutnya akan dibandingkan dengan data ChlF mangga yang matang tanpa karbit untuk dicari perbedaannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran spektrometer mikro C12880MA dengan spektrometer komersial Ocean Optics USB4000. Spektrum yang diukur berasal dari sinar yang dipancarkan oleh dioda laser ungu, LED biru, LED hijau, dan LED merah. Perbandingan hasil pengukuran dengan menggunakan alat spektrometer mikro yang dibuat dan spektrometer Ocean Optics USB4000 ditunjukkan pada Gambar 9.

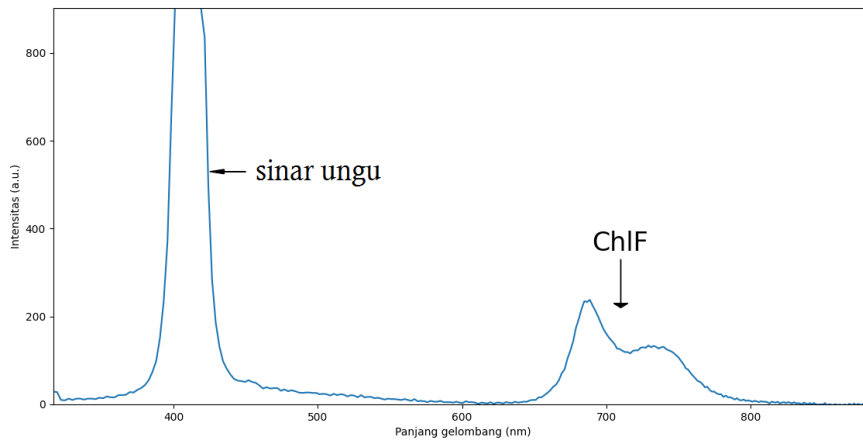
Dari hasil pengukuran menggunakan alat spektrometer mikro diperoleh puncak spektrum sinar ungu, biru, hijau, dan merah berada pada panjang gelombang 408,661 nm, 461,954 nm, 527,576 nm, dan 634,528 nm. Untuk pengukuran dengan menggunakan spektrometer Ocean Optics USB4000 diperoleh puncak spektrum sinar ungu, biru, hijau, dan merah berada pada panjang gelombang 409,301 nm, 461,317 nm, 526,702 nm, dan 633,956 nm. Dari hasil pengujian terlihat bahwa hasil pengukuran alat yang dibuat sudah sesuai dengan hasil pengukuran menggunakan spektrometer Ocean Optics USB4000, dimana selisih puncak spektrum terukur diakibatkan karena perbedaan resolusi di antara kedua spektrometer. Untuk spektrometer Ocean Optics mempunyai resolusi yang lebih tinggi, yaitu 0,1-10 nm dibandingkan dengan resolusi spektrometer mikro C12880MA yang mempunyai resolusi maksimum mencapai 15 nm.



Gambar 9. Perbandingan hasil pengukuran (a) Spektrometer mikro (b) Spektrometer Ocean Optics

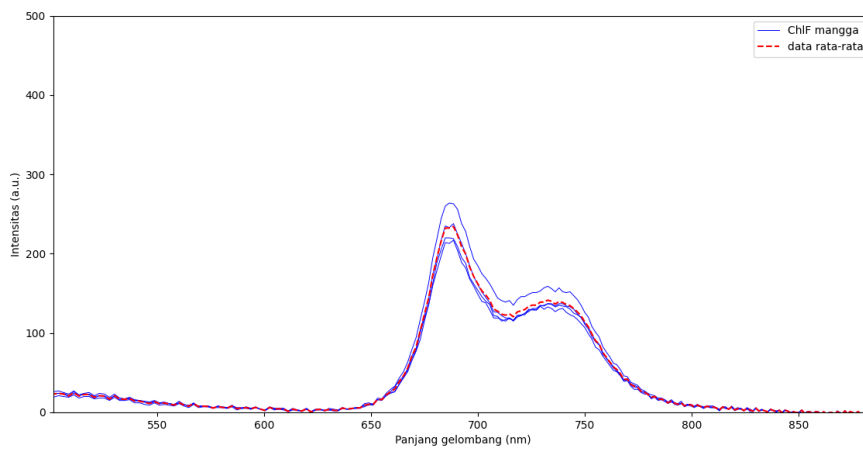
3.2. Hasil Pengukuran Spektrum ChlF Mangga

Hasil pengukuran spektrum ChlF mangga menggunakan alat spektrometer mikro yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 10. Pada gambar terlihat bahwa terdapat dua spektrum yang terukur oleh alat. Spektrum pertama adalah spektrum pada panjang gelombang 300-500 nm, yang merupakan spektrum reflektansi dari sinar ungu yang dipancarkan oleh dioda laser. Spektrum kedua adalah spektrum pada panjang gelombang 600-850 nm, yang merupakan spektrum ChlF yang dipancarkan oleh mangga. Spektrum serupa juga didapatkan oleh Anshuman et al. dalam penelitiannya yang berjudul "Ultra-portable, wireless smartphone spectrometer for rapid, non-destructive testing of fruit ripeness" [13].



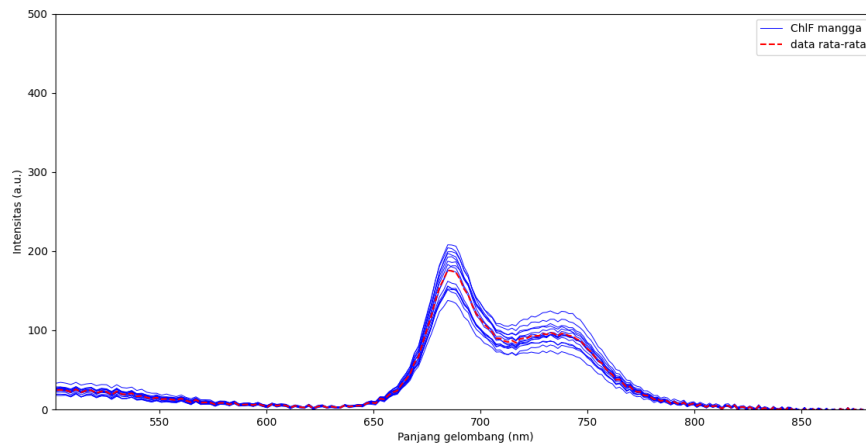
Gambar 10. Hasil pengukuran spektrum ChlF mangga

Hasil pengukuran dan nilai rata-rata spektrum ChlF dari sebuah mangga Arumanis diperlihatkan pada Gambar 11. Kurva-kurva dengan garis berwarna biru adalah spektrum ChlF yang terukur pada empat titik berbeda pada sebuah mangga Arumanis, sedangkan kurva dengan garis putus-putus berwarna merah adalah rata-rata dari keempat spektrum ChlF yang terukur.



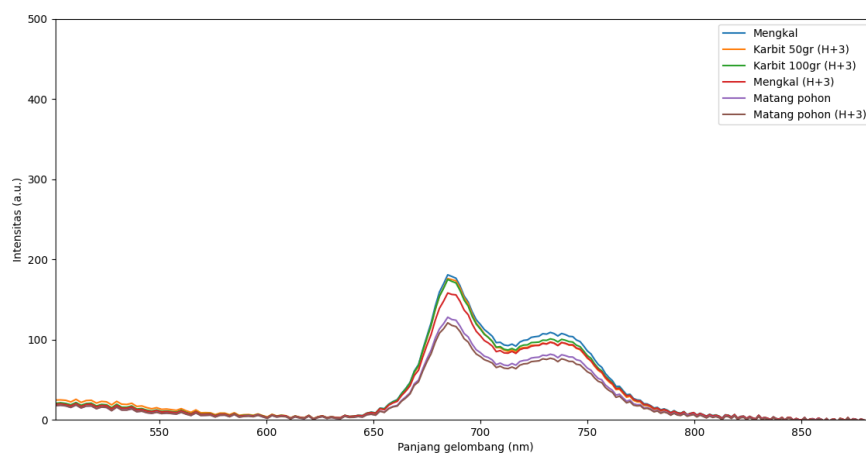
Gambar 11. Hasil pengukuran spektrum ChlF pada sebuah mangga Arumanis

Spektrum ChlF rata-rata dari setiap mangga dalam satu kelompok kemudian dihitung lagi nilai rata-ratanya untuk memperoleh sebuah spektrum ChlF yang mewakili kelompok tersebut. Gambar 12 memperlihatkan spektrum ChlF rata-rata dari kelompok mangga yang dimatangkan dengan karbit 50 gr (Kelompok II).



Gambar 12. Spektrum ChlF rata-rata Kelompok II

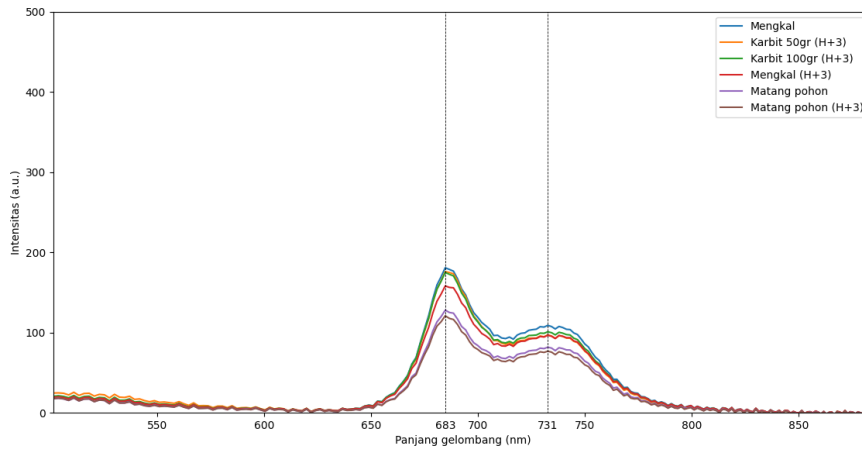
Perbandingan spektrum rata-rata dari setiap kelompok mangga ditunjukkan pada Gambar 13. Dari hasil perbandingan terlihat bahwa mangga Arumanis yang masih mengkal mempunyai puncak spektrum yang lebih tinggi dibandingkan dengan mangga Arumanis matang pohon, namun mangga Arumanis yang dimatangkan dengan menggunakan karbit mempunyai puncak spektrum yang serupa dengan mangga yang masih mengkal. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Preethi et al. yang memperlihatkan bahwa pada mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit tidak mengalami penurunan klorofil yang berarti selama tiga hari, namun kandungan klorofil pada mangga karbit akan mengalami penurunan yang tajam dibandingkan dengan mangga tanpa karbit setelah lebih dari tiga hari, yang menunjukkan bahwa mangga karbit akan mengalami pembusukan yang lebih cepat dibandingkan dengan mangga yang matang secara alami [14]. Dari hasil perbandingan juga terlihat bahwa mangga Arumanis yang dimatangkan dengan karbit 50 gr dan mangga Arumanis yang dimatangkan dengan karbit 100 gr memiliki puncak spektrum yang hampir sama.



Gambar 13. Perbandingan spektrum ChlF setiap kelompok

Untuk membedakan antara mangga matang karbit dengan mangga matang alami, dilakukan pengujian dengan metode perhitungan rasio intensitas antara kedua puncak pada spektrum ChlF, yaitu pada panjang gelombang 683 nm (I_{683}) dan panjang

gelombang 731 nm (I_{731}) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Metode serupa juga digunakan oleh Eva et al. dalam penelitiannya untuk analisis tingkat kematangan buah pepaya [15].



Gambar 14. I_{683} dan I_{731} pada spektrum ChlF mangga

Hasil perhitungan rasio intensitas puncak (I_{683}/I_{731}) rata-rata antara kelompok mangga matang karbit dan kelompok mangga matang pohon diberikan pada Tabel 1. Dari hasil perhitungan nilai I_{683}/I_{731} terlihat bahwa mangga matang karbit memiliki rasio intensitas puncak yang lebih tinggi daripada mangga matang pohon, dimana mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit 50 gr memiliki nilai rasio intensitas puncak 1,36 dan mangga yang dimatangkan menggunakan karbit 100 gr memiliki rasio intensitas puncak 1,33. Pada mangga mengkal diperoleh nilai rasio intensitas puncak 1,31 dan setelah didiamkan selama tiga hari nilai rasio intensitas puncak menjadi 1,28. Pada mangga matang pohon diperoleh nilai rasio intensitas puncak sebesar 1,23 dan setelah didiamkan selama tiga hari, nilai rasio intensitas puncak mangga matang pohon menjadi 1,22.

Tabel 1. Hasil perhitungan rasio intensitas puncak rata-rata

Kondisi mangga	Rasio intensitas (I_{683}/I_{731})
Karbit 50 gr	1,36
Karbit 100 gr	1,33
Mengkal	1,31
Mengkal (H+3)	1,28
Matang pohon	1,23
Matang pohon (H+3)	1,22

Untuk membedakan mangga Arumanis matang karbit dengan mangga Arumanis matang pohon, diambil beberapa batas nilai antara 1,23 hingga 1,33 untuk diujikan pada 120 data pengukuran spektrum ChlF mangga Arumanis. Data ini terdiri atas 60 data mangga Arumanis matang pohon dan 60 data mangga Arumanis matang karbit. Dari hasil pengujian, diperoleh batas nilai dengan akurasi terbaik adalah 1,27, dimana nilai perbandingan intensitas puncak kurang dari 1,27 akan dianggap sebagai mangga matang pohon dan nilai perbandingan intensitas puncak lebih besar atau sama dengan 1,27 akan dianggap sebagai mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit. Dengan nilai batas ini, diperoleh akurasi identifikasi mangga matang alami sebesar 85% dan akurasi

identifikasi mangga matang karbit sebesar 80,83%. Hasil indentifikasi mangga menggunakan batas nilai 1,27 ditunjukkan melalui *confusion matrix* pada Gambar 15.

Confusion Matrix

		Prediksi	
		matang alami	matang karbit
Aktual	matang alami	102	18
	matang karbit	23	97

Gambar 15. *Confusion matrix* hasil pengujian

Pada *confusion matrix* terlihat bahwa sebanyak 102 pengukuran (85%) mangga matang alami dapat diidentifikasi dengan tepat dan terdapat 18 kali (15%) pengukuran pada mangga matang alami yang diidentifikasi sebagai mangga matang karbit. Untuk pengukuran pada mangga karbit, sebanyak 97 pengukuran (80,83%) dapat diidentifikasi secara benar, sedangkan 23 data (19,17%) pengukuran diidentifikasi sebagai mangga matang alami.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran spektrum fluoresensi klorofil (ChlF) dengan menggunakan alat spektroskopi mikro dapat disimpulkan bahwa mangga Arumanis yang dimatangkan dengan karbit memiliki puncak spektrum ChlF rata-rata yang lebih tinggi daripada mangga Arumanis yang matang secara alami. Dari hasil perbandingan rasio intensitas puncak (I_{683}/I_{731}) antara kelompok mangga matang karbit dan kelompok mangga matang alami diperoleh bahwa kelompok mangga matang alami memiliki rasio intensitas puncak (I_{683}/I_{731}) rata-rata 1,22 untuk mangga matang pohon yang telah didiamkan selama tiga hari dan 1,23 untuk mangga matang pohon yang baru dipetik. Untuk kelompok mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit memiliki rasio intensitas puncak (I_{683}/I_{731}) rata-rata sebesar 1,36 untuk mangga yang dimatangkan menggunakan karbit 50 gr dan 1,33 untuk mangga yang dimatangkan dengan menggunakan karbit 100 gr. Dari hasil pengujian terhadap 120 data ChlF mangga Arumanis (60 data mangga matang alami dan 60 data mangga matang karbit) dengan menggunakan batas nilai rasio intensitas puncak (I_{683}/I_{731}) = 1,27 diperoleh akurasi identifikasi mangga matang alami sebesar 85% dan akurasi identifikasi mangga matang karbit sebesar 80,83%.

Daftar Pustaka

- [1] S. Singal, M. Kumud, and S. Thakral, "Application of apple as ripening agent for banana," *Indian J. Nat. Prod. Resour.*, vol. 3, no. 1, pp. 61–64, 2012.

- [2] S. D. T. Maduwanthi and R. A. U. J. Marapana, "Induced ripening agents and their effect on fruit quality of banana," *Int. J. Food Sci.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/2520179.
- [3] S. Hassan, W. Mazhar, S. Farooq, A. Ali, and S. G. Musharraf, "Assessment of heavy metals in calcium carbide treated mangoes by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS)," *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.*, vol. 36, no. 12, pp. 1769–1776, 2019, doi: 10.1080/19440049.2019.1671990.
- [4] D. R. Babu, R. Deshmukh, K. V. N. Rao, M. R. Laxmi, Kafila, and T. Sabita, "Awareness on Calcium Carbide Ripened Fruits and Recommendations for Toxic Free Artificial Ripening of Fruits," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 2779–2783, 2019, doi: 10.35940/ijeat.b4059.129219.
- [5] A. J. Lakade, K. Sundar, and P. H. Shetty, "Gold nanoparticle-based method for detection of calcium carbide in artificially ripened mangoes (*Mangifera indica*)," *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.*, vol. 35, no. 6, pp. 1078–1084, 2018, doi: 10.1080/19440049.2018.1449969.
- [6] R. Chandel, P. C. Sharma, and A. Gupta, "Method for detection and removal of arsenic residues in calcium carbide ripened mangoes," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 42, no. 2, 2018, doi: 10.1111/jfpp.13420.
- [7] A. J. Lakade, V. Venkataraman, R. Ramasamy, and P. H. Shetty, "NIR spectroscopic method for the detection of calcium carbide in artificial ripening of mangoes (*Mangifera indica*)," *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.*, vol. 36, no. 7, pp. 989–995, 2019, doi: 10.1080/19440049.2019.1605206.
- [8] M. Asif, "Physico-chemical properties and toxic effect of fruit-ripening agent calcium carbide," *Ann. Trop. Med. Public Heal.*, vol. 5, no. 3, p. 150, 2012, doi: 10.4103/1755-6783.98602.
- [9] W. Puspitaningrum and S. Supatman, "Identifikasi Mangga Harum Manis Karbitan dan Tidak Karbitan Dengan Learning Vector Quantization," *JMAI (Jurnal Multimed. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 2, pp. 29–36, 2018, doi: 10.26486/jmai.v2i2.88.
- [10] M. N. Islam, M. Mursalat, and M. S. Khan, "A review on the legislative aspect of artificial fruit ripening," *Agric. Food Secur.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2016, doi: 10.1186/s40066-016-0057-5.
- [11] N. I. Shaeda, R. Irniza, M. P. Sarva, and Z. A. Emilia, "Calcium carbide (CaC_2) exposure from fruit ripening process and health effects among fruit farmers: A research review," *Int. J. Public Heal. Clin. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 2289–7577, 2018.
- [12] A. T. Lacap, E. R. V. Bayogan, L. B. Secretaria, C. D. S. Lubaton, and D. C. Joyce, "Responses of 'carabao' mango to various ripening agents," *Philipp. J. Sci.*, vol. 148, no. 3, pp. 513–523, 2019.
- [13] A. J. Das, A. Wahi, I. Kothari, and R. Raskar, "Ultra-portable, wireless smartphone spectrometer for rapid, non-destructive testing of fruit ripeness," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. August, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1038/srep32504.
- [14] P. Palpandian, H. Shanmugam, E. Alli Rani, and G. T. V. Prabu, "Determination of fruit quality of calcium carbide induced ripening in mango (*Mangifera indica* L. cv. alphonso) by physiological, biochemical, bio-enzymatic and elemental composition analysis (EDX)," *Indian J. Biochem. Biophys.*, vol. 56, no. 3, pp. 205–213, 2019.
- [15] E. N. Obledo-Vázquez and J. Cervantes-Martínez, "Laser-induced fluorescence spectral analysis of papaya fruits at different stages of ripening," *Appl. Opt.*, vol. 56, no. 6, p. 1753, 2017, doi: 10.1364/ao.56.001753.