

Classification of maturity levels of oil palm fresh fruit bunches using LED-based multispectral imaging methods and principal component analysis

Mohammad Fisal Rabin¹, Minarni Shiddiq^{1*}, Rahmondia Nanda Setiadi¹,
Ihsan Okta Harmailil¹, Ramdani², Dedi Permana²

¹Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

²Department of Electrical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

*Corresponding author: minarni.shiddiq@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Multispectral imaging (MSI) is one of the optical methods used for the classification of fruits and vegetables based on ripeness levels. MSI is simpler than hyperspectral imaging due to fewer wavelength bands used hence less processing time. In this study, MSI is used to classify the ripeness of oil palm fresh fruit bunch (FFB). The MSI system consists of three main components, namely a VIS-NIR camera, a camera lens, an LED array, and a current control unit. The use of the LED array as a light source in the MSI system aims to minimize the use of bandwidth filters. The LEDs used are arranged in a circular pattern with 8 wavelengths, namely 680, 700, 750, 780, 810, 850, 880, and 900 nm. FFB samples were recorded using the MSI system and then processed using Python language to obtain relative reflectance intensity values. The purposes of this research are to analyze the relationship between relative reflectance intensity and wavelength and to classify the ripeness level of oil palm FFB using principal component analysis (PCA). We used two categories of ripeness, unripe and ripe FFBs. The results of the PCA analysis showed that the classification carried out was able to group into two levels of ripenesses with a total variant percentage value for PC1 and PC2 of 90.95%.

Keywords: Multispectral imaging; oil palm fresh fruit bunches; PCA analisis; ripeness levels

Received 26-10-2023 | Revised 21-11-2023 | Accepted 02-12-2023 | Published 31-03-2024

PENDAHULUAN

Partikel oksida besi telah menjadi subjek penelitian saat ini karena dapat diperoleh dari alam pasir [1]. Oksida ini ada di alam dalam berbagai bentuk. Namun, bentuk yang paling umum adalah magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [2]. Dalam ukuran nanometer, partikel oksida besi memiliki sifat super paramagnetik [3] yang membuat material ini dapat digunakan dalam aplikasi yang lebih luas mulai dari katalis [4] hingga aplikasi biomedis [5, 6] dan lingkungan perbaikan [7].

Metode optik merupakan metode non-destruktif yang menggunakan prinsip interaksi cahaya dan materi. Metode optik sudah banyak digunakan dalam bidang pertanian sebagai sistem untuk mendeteksi sifat dan kualitas dari produk pertanian, dan dikenal sebagai metode yang berguna serta cepat dan mudah [1]. Salah

satu metode optik yang telah dikembangkan yakni metode pencitraan yang memanfaatkan kamera sebagai metode pendeteksi. Metode pencitraan terbagi atas dua yaitu pencitraan computer dan pencitraan spektral.

Pencitraan spektral mulai dikembangkan dalam proses penentuan kualitas makanan dan mendeteksi tingkat kematangan buah-buahan. Pemanfaatan pencitraan spektral dalam mendeteksi kualitas makanan didasarkan pada kemampuan untuk mengambil informasi dalam rentang spektral dan spasial berupa karakteristik eksternal dan internal. Pencitraan spektral merupakan perpaduan antara metode pencitraan komputer dan spektroskopi. Metode pencitraan komputer mengambil informasi di daerah spasial dari suatu objek yang diamati, sedangkan spektroskopi mengekstrak informasi yang berada di wilayah spektral yang diperoleh saat interaksi antara cahaya dan materi [2].

Pencitraan spektral terbagi atas dua yaitu, pencitraan multispektral dan pencitraan hiperspektral. Perbedaan antara pencitraan multispektral dan hiperspektral terletak pada jumlah pita gelombangnya, dimana pencitraan multispektral memiliki pita gelombang yang lebih sedikit dibandingkan pencitraan hiperspektral sehingga memerlukan waktu yang relatif cepat [3].

Sistem pencitraan multispektral memiliki 3 komponen berupa sumber cahaya, *bandwith filter* dan *detector area* berupa kamera CMOS [2]. Sumber cahaya ditembakkan ke materi atau sampel, kemudian cahaya tersebut dipantulkan melewati *bandwith filter* yang kemudian ditangkap oleh kamera. *Bandwith filter* berfungsi saat cahaya melewati maka panjang gelombang yang diinginkan akan diteruskan ke kamera untuk diambil datanya. Citra yang dihasilkan dari pencitraan multispektral berupa data 3 dimensi yang terdiri atas 2 dimensi spasial (sumbu x dan y) dan 1 dimensi spektral (λ) [4, 5]. Sistem pencitraan multispektral dinilai lebih praktis karena menggunakan rentang spektral yang sempit sehingga membutuhkan waktu akuisi yang relatif singkat dalam proses pengambilan data dan harga yang relatif murah [6, 7].

Sumber cahaya yang digunakan memiliki peranan penting untuk memaksimalkan kinerja dari sistem tersebut karena berdasarkan prinsip interaksi antara cahaya dan materi [8]. Umumnya sumber cahaya yang digunakan yaitu, lampu halogen dan LED. Lampu halogen digunakan karena memiliki rentang panjang gelombang yang lebar antara cahaya tampak (VIS) hingga *near infrared* (NIR), sedangkan untuk LED memiliki panjang gelombang yang diskrit sehingga bisa meminimalisir penggunaan *bandwith filter* [9].

Tingkat kematangan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit merupakan faktor utama dalam penentuan kualitas dari minyak sawit yang dihasilkan. Buah sawit yang telah matang yang disebut TBS kelapa sawit memiliki kandungan asam lemak bebas (ALB) yang rendah sehingga kandungan minyak yang dihasilkan cukup tinggi. TBS kelapa sawit yang

matang dan kualitas yang bagus memiliki tingkat ALB < 5% dan kadar minyak > 20% [10]. Proses sortasi dibutuhkan sebagai suatu kegiatan untuk memilah dan mengklasifikasi tingkat kematangan dari buah sawit sehingga mampu menghasilkan kualitas minyak sawit yang terbaik.

Sistem sortasi secara modern mulai dikembangkan untuk mengklasifikasi tingkat kematangan kelapa sawit. Sistem sortasi secara modern diperlukan terutama pada skala industri yang besar sehingga mampu menghasilkan minyak sawit yang berkualitas secara optimal dan mampu mengurangi kelemahan sortasi secara manual. Metode modern yang telah dikembangkan merupakan metode non-destruktif yang tidak merusak kondisi fisik dari buah, diantaranya klasifikasi TBS kelapa sawit menggunakan metode pencitraan hiperspektral [11], prediksi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan jaringan syaraf tiruan [12], klasifikasi TBS kelapa sawit menggunakan sistem pencitraan multispektral [13].

Pada penelitian ini, sistem pencitraan multispektral dibangun dengan lampu LED sebagai sumber cahaya. Tujuan penelitian ini untuk mengklasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit dengan analisa hubungan intensitas reflektansi relatif dan panjang gelombang menggunakan analisa *principal component analysis* (PCA).

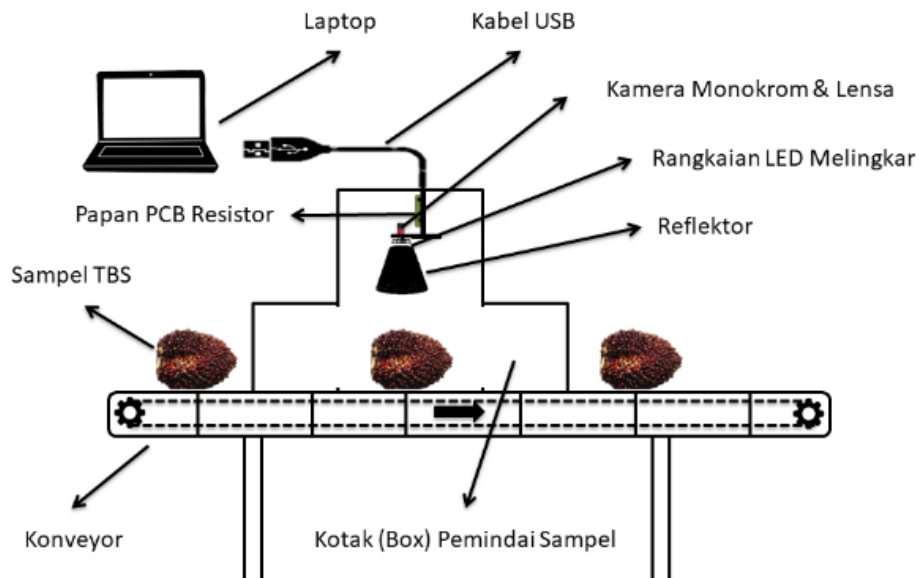
METODE PENELITIAN

Skema Penelitian

Sistem pencitraan multispectral (MSI) dirancang dalam sebuah kotak hitam atau box kedap cahaya yang terbuat dari bahan logam yang diwarnai dengan warna hitam sehingga dapat mengisolasi sistem dari cahaya luar agar cahaya yang berada di dalam sistem hanya berasal dari sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan LED. LED, lensa, dan kamera CMOS monokrom disusun sejajar dengan sampel TBS kelapa sawit, Skema sistem

pencitraan multispektral ditunjukkan pada Gambar 1. Kamera CMOS yang digunakan dalam sistem MSI adalah kamera CMOS monokrom 8 bit dari Sentech dengan tipe STC-

MBCM401U3V, lensa yang digunakan untuk memudahkan dalam menghasilkan gambar berdasarkan FOV yang diinginkan yakni lensa Navitar 1.4/12 mm.

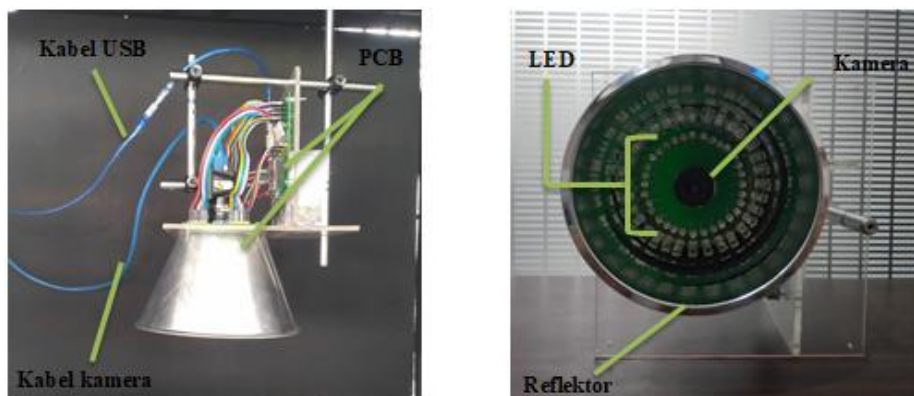


Gambar 1. Skema sistem pencitraan multispektral.

Penelitian ini menggunakan LED dengan 8 panjang gelombang yang berbeda yaitu 680, 700, 750, 780, 810, 850, 880, dan 900 nm. LED yang digunakan berasal dari Roithner Lasertechnik GmbH, dengan ukuran 5 mm epoxy, dan maksimum arus 45 mA. LED disusun melingkar (berbentuk donat) dengan masing-masing panjang gelombang berjumlah 4 pcs untuk memastikan sinar yang digunakan simetris, sehingga total LED yang digunakan sebanyak 32 pcs.

Komponen selanjutnya yang berfungsi untuk mengatur dan menghasilkan arus pada LED yakni Arduino Uno yang juga

mengontrol pencahayaan pada LED. LED yang telah disiapkan disusun berdasarkan rangkaian pada papan sirkuit (PCB) yang telah didesain. Penggunaan LED sebagai sumber cahaya juga berfungsi untuk menggantikan *bandwidth filter* sebagai pendispersi panjang gelombang. Arduino sebagai kontroler selanjutnya dihubungkan ke PC (*personal computer*) yang telah dipasang program Python untuk mengatur dan mengendalikan LED serta mengendalikan proses akuisisi citra dan untuk mengolah data citra yang telah direkam. Sistem optik pencitraan multispektral berbasis LED bisa dilihat pada Gambar 2.

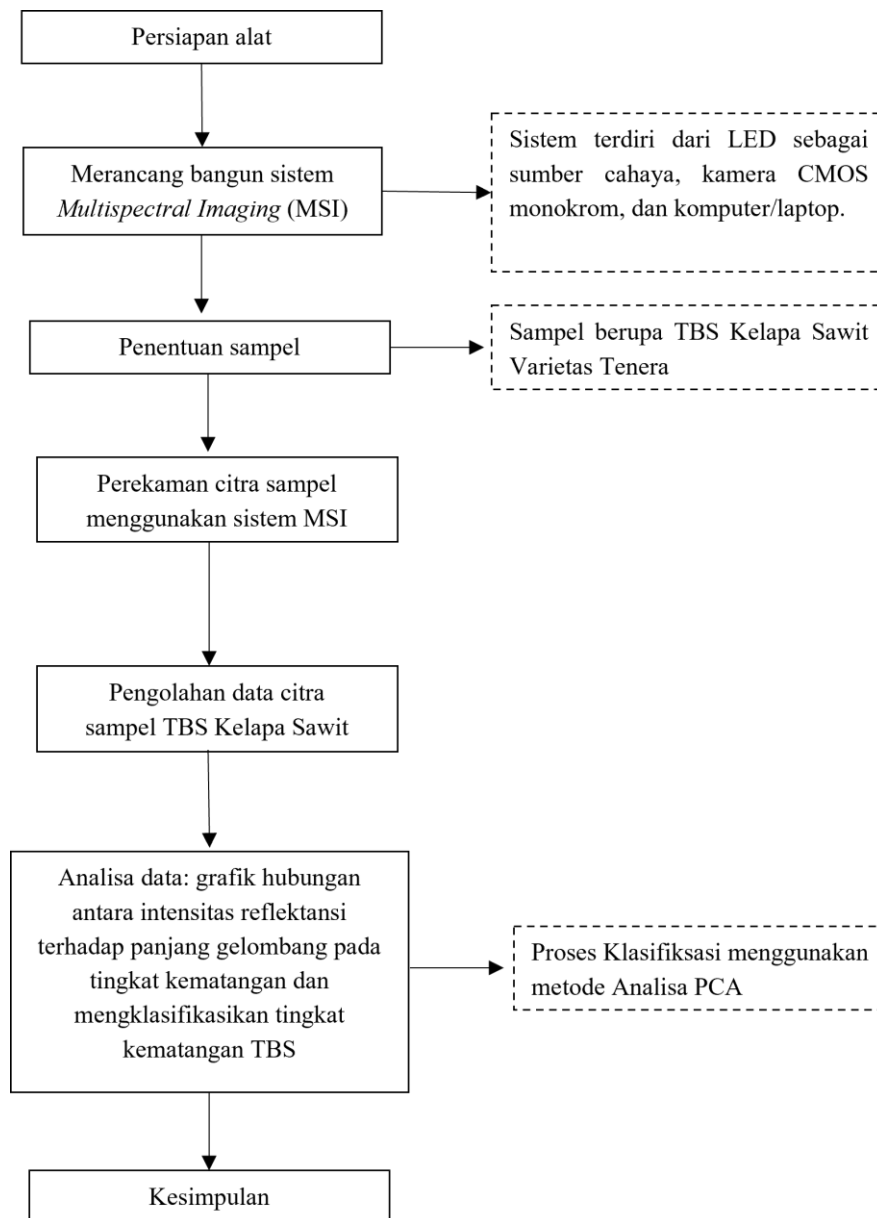


Gambar 2. Sistem optik pencitraan multispektral berbasis LED.

Prosedur Penelitian

Gambar 3 merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Sistem pencitraan multispektral dibangun dengan menyusun komponen optik yang digunakan seperti kamera, lensa, LED sebagai sumber cahaya, dan beberapa komponen pendukung seperti Arduino untuk mengontrol LED dan akuisisi

serta laptop. Komponen tersebut disusun dalam kerangka akrilik yang selanjutnya diletakkan di dalam kotak isolasi berwarna hitam dengan posisi sejajar dengan dasar tempat meletakkan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Langkah berikutnya menyiapkan sampel berupa (TBS) kelapa sawit dengan 2 tingkat kematangan yang dipilih oleh mandor yang berpengalaman.



Gambar 3. Diagram alir penelitian.

Sampel yang telah dipersiapkan selanjutnya dilakukan perekaman citra putih dengan nilai reflektansi 99% dan citra hitam dengan reflektansi 0%, lalu dilakukan perekaman citra sampel yang telah dipersiapkan. Setelah semua

citra selesai direkam dilakukan pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman Python dan menganalisa serta mengklasifikasi tingkat kematangan dari TBS kelapa sawit.

Akuisisi dan Pengolahan Data Multispektral

Sampel berupa TBS kelapa sawit diletakkan pada konveyor dan disinari oleh LED. Cahaya LED diarahkan untuk mengenai bagian tengah TBS kelapa sawit. Cahaya yang mengenai permukaan TBS akan mengalami reflektansi atau pemantulan menuju lensa untuk difokuskan. LED, lensa, dan kamera CMOS monokrom diletakkan sejajar di atas sampel. proses akuisisi citra menggunakan program python, dimana lampu LED yang dikontrol melalui Arduino dibuat hidup secara bergantian antar panjang gelombang. Setiap LED yang hidup program akuisisi secara otomatis menangkap gambar dan disimpandengan waktu yang dibutuhkan untuk menangkap 8 citra yang mewakili 8 panjang gelombang yaitu 4 detik. Citra TBS yang telah direkam selanjutnya diolah menggunakan program berbasis python.

Pengolahan data citra menggunakan Python dimulai dari menginput citra TBS kelapa sawit yang sebelumnya telah direkam. Citra yang telah diinput kemudian dicari intensitas koreksi dari setiap piksel citra dengan rumus (1):

$$I_r = \frac{I_{raw} - I_{dark}}{I_{white} - I_{dark}} \quad (1)$$

dimana I_r adalah citra multispektral yang telah dikoreksi dari sampel, I_{raw} adalah citra yang belum diolah dari sampel, I_{white} adalah citra referensi putih dengan reflektansi 99% yang diperoleh dari panel putih, dan I_{dark} adalah citra referensi gelap dengan reflektansi 0% yang diperoleh ketika sumber cahaya dimatikan dan lensa kamera ditutup.

Citra yang telah dikoreksi selanjutnya diambil daerah *region of interest* (ROI) untuk menentukan parameter yang diukur. Intensitas koreksi yang telah diolah selanjutnya dihitung nilai rata-rata intensitas relatif dari daerah ROI tersebut yang mempresentasikan nilai dari intensitas relatif rata-rata untuk tiap panjang gelombang. Hasil dari keluaran tersebut didapat hubungan antara intensitas reflektansi dengan panjang gelombang TBS kelapa sawit.

Analisa Data

Data yang telah diolah akan didapat nilai dari intensitas reflektansi relatif, kemudian akan dianalisa hubungan antara intensitas reflektansi dengan panjang gelombang yang digunakan. Proses klasifikasi tingkat kematangan menggunakan analisa PCA, dimana analisa PCA merupakan metode analisa data yang berfungsi mereduksi sejumlah variable-variabel besar yang memiliki korelasi antar variable menjadi variable yang kecil yang disebut komponen utama (PC) tanpa mengurangi informasi dari variable tersebut. Analisa PCA untuk klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan bahasa program Python.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Intensitas Reflektansi Relatif dan Panjang Gelombang LED

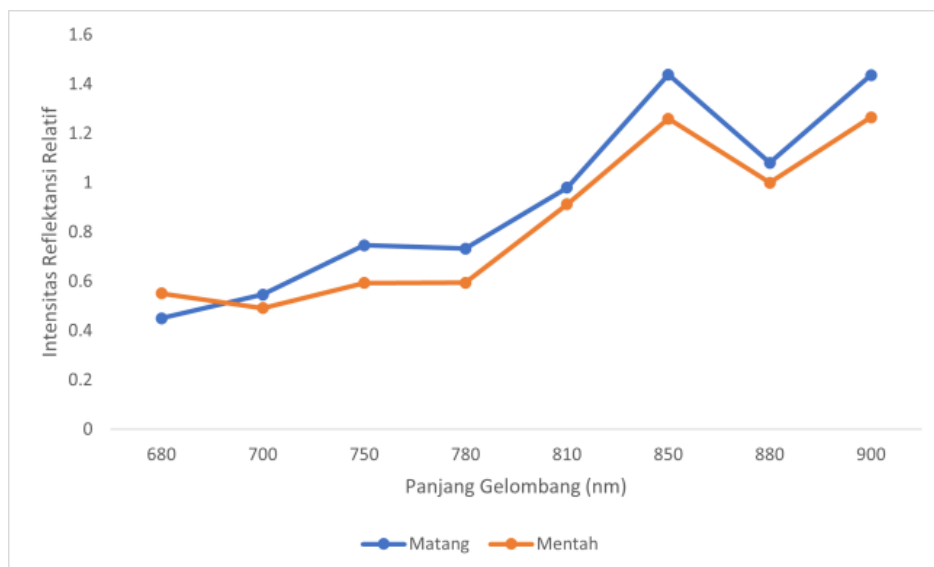
Gambar 4 menunjukkan hubungan antara intensitas reflektansi dan panjang gelombang LED yang digunakan, grafik yang ditunjukkan untuk masing-masing panjang gelombang merupakan nilai intensitas rata-rata dari total 80 dataset untuk masing-masing tingkat kematangan. Berdasarkan Gambar 4 pada panjang gelombang 680 nm intensitas reflektansi relatif kategori mentah lebih tinggi dibandingkan kategori matang disebabkan oleh penyerapan dari klorofil, semakin matang maka kandungan klorofil akan semakin menurun. Panjang gelombang 700 – 900 nm menunjukkan intensitas reflektansi relatif untuk TBS yang matang lebih tinggi dibandingkan TBS yang mentah, spektrum panjang gelombang 700 – 900 nm berada di daerah inframerah dimana daerah spektrum ini mampu berinteraksi pada materi di tingkat molekul dan hal ini juga disebabkan kandungan antosianin pada TBS yang matang lebih tinggi dari pada TBS mentah [11, 14, 15]. Penentuan tingkat kematangan oleh mandor tidak hanya melihat dari kulit buah namun juga dari daging buah, sehingga meskipun kulit buah berwarna merah

bisa kemungkinan terjadi jika daging buah masih berwarna kuning jahe akan dikategorikan mentah.

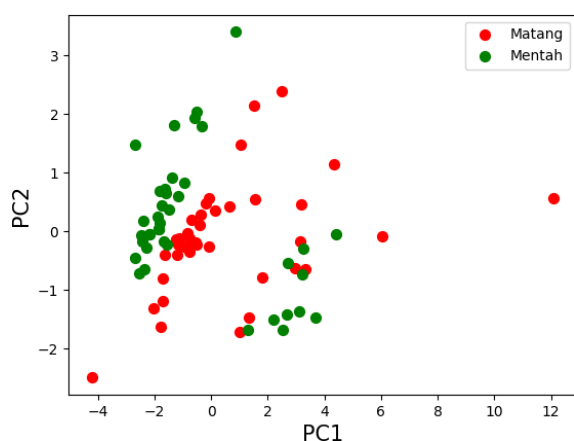
Klasifikasi Tingkat Kematangan Menggunakan Analisa PCA

Proses klasifikasi dilakukan untuk membedakan kategori tingkat kematangan pada buah kelapa sawit. Tingkat kematangan diklasifikasikan menggunakan analisa PCA. Proses klasifikasi ini dilakukan menggunakan dataset dengan daerah ROI yang bertujuan untuk membandingkan nilai dari hubungan antara panjang gelombang dan intensitas reflektansi yang berbeda. Gambar 5 menunjukkan pengelompokan dua tingkat

kematangan dari TBS kelapa sawit menggunakan analisis PCA dimana data yang dianalisa merupakan hubungan antara intensitas reflektansi dan panjang gelombang. Klasifikasi yang dihasilkan terdiri dari 80 dataset dari 2 tingkat kematangan. Berdasarkan Gambar 5. Terlihat bahwa pengelompokan tingkat kematangan cukup baik, dimana kategori matang terletak di daerah sumbu x positif dan kategori mentah terletak di sumbu x negatif, pola klasifikasi terlihat sama dengan yang ditunjukkan oleh Junkwon *et al.* (2009) 16]. Persentase varian untuk PC1 atau komponen utama yang pertama sebesar 77,86 % dan persentase varian untuk PC2 atau komponen utama yang kedua sebesar 13,09 % dengan total persentase varians kumulatif yakni 90,95 %.



Gambar 4. Hubungan intensitas reflektansi terhadap panjang gelombang berdasarkan dua tingkat kematangan TBS kelapa sawit.



Gambar 5. Klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan PCA.

Pengelompokan terlihat berdekatan antara matang dan mentah hal ini disebabkan nilai intensitas yang dimiliki tiap data hampir sama untuk panjang gelombang tertentu, hal ini juga disebabkan karena penentuan kematangan sebelumnya berdasarkan warna dari eksocarp buah sawit, jika warna permukaan buah (eksocarp) berwarna hitam keunguan/gelap maka kategori mentah, jika warna permukaan/eksocarp merah/jingga maka kategori matang, sedangkan saat ini penentuan tingkat kematangan berdasarkan penentuan dari

mandor yang melihat dari jumlah berondolan yang jatuh dan dari warna mesocarp/daging buah. Jika warna dari daging buah (mesocarp) berwarna jingga maka buah sudah dikategorikan matang meskipun kulit atau permukaan buah (eksocarp) masih berwarna gelap. Begitupun sebaliknya jika warna daging (mesocarp) masih berwarna kuning kunyit meskipun warna kulit (eksocarp) berwarna kemerahan maka akan dikategorikan mentah.

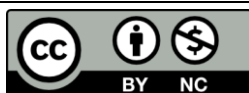
KESIMPULAN

Sistem pencitraan multispektral yang telah dibuat digunakan dalam penelitian klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit, proses karakteristik yang dilakukan menunjukkan bahwa LED yang digunakan telah cukup baik, namun perlu rentang yang lebih lebar untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Sistem multispektral beroperasi dengan rentang panjang gelombang dari 680 nm hingga 900 nm dan menghasilkan 8 citra dengan interval 4 detik. Intensitas reflektansi relatif untuk kategori matang terlihat lebih tinggi dibandingkan kategori mentah disebabkan oleh sifat dari TBS kelapa sawit tersebut.

REFERENSI

1. Abasi, S., Minaei, S., Jamshidi, B., & Fathi, D. (2018). Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: A review. *Trends in Food Science & Technology*, **78**, 197–205.
2. Tan, J. Y., Ker, P. J., Lau, K. Y., Hannan, M. A., & Tang, S. G. H. (2019). Applications of photonics in agriculture sector: A review. *Molecules*, **24**(10), 2025.
3. El-Rahman, S. A. (2016). Big data analysis: hyperspectral image processing for agriculture applications. *International Journal of Computing and Digital Systems*, **5**(04).
4. Dong, X., Jakobi, M., Wang, S., Köhler, M. H., Zhang, X., & Koch, A. W. (2019). A review of hyperspectral imaging for nanoscale materials research. *Applied Spectroscopy Reviews*, **54**(4), 285–305.
5. Fu, X. & Chen, J. (2019). A review of hyperspectral imaging for chicken meat safety and quality evaluation: application, hardware, and software. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **18**(2), 535–547.
6. ElMasry, G., Mandour, N., Al-Rejaie, S., Belin, E., & Rousseau, D. (2019). Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring—An overview. *Sensors*, **19**(5), 1090.
7. Sendin, K., Manley, M., & Williams, P. J. (2018). Classification of white maize defects with multispectral imaging. *Food Chemistry*, **243**, 311–318.
8. Amigo, J. M. & Grassi, S. (2019). Configuration of hyperspectral and multispectral imaging systems. *Data Handling in Science and Technology*, **32**, 17 – 34.
9. Khan, Z. (2014). Hyperspectral imaging and analysis for sparse reconstruction and recognition. *arXiv preprint arXiv:1407.7686*.
10. MMohd. Hudzari Razali, M. H. R., Abdul Ssomad, M. A. H., & Syazili Roslan, S. R. (2012). A review on crop plant production and ripeness forecasting. *Int. J Agric. Crop Sci.*, **4**(2).
11. Bensaeed, O. M., Shariff, A. M., Mahmud, A. B., Shafri, H., & Alfatni, M. (2014). Oil palm fruit grading using a hyperspectral device and machine learning algorithm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **20**(1), 012017.
12. Yap, X. Y., Chia, K. S., Rahman, H. A., & Teh, V. (2019). A non-destructive oil palm fruit freshness prediction system with artificial neural network. *International Journal of Integrated Engineering*, **11**(8), 159–163.
13. Setiawan, A. W., & Prasetya, O. E. (2020, February). Palm oil fresh fruit bunch grading system using multispectral image analysis in HSV. *2020 IEEE International*

- Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIOT)*, 85–88.
14. Liu, C., Liu, W., Lu, X., Ma, F., Chen, W., Yang, J., & Zheng, L. (2014). Application of multispectral imaging to determine quality attributes and ripeness stage in strawberry fruit. *PLoS One*, **9**(2), e87818.
 15. Ningsih, S. A., Shiddiq, M., Arief, D. S., & Husein, I. R. (2020). Penggunaan pencitraan multispektral pada panjang gelombang 520 nm dan 800 nm untuk mengevaluasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 144–149.
 16. Junkwon, P., Takigawa, T., Okamoto, H., Hasegawa, H., Koike, M., Sakai, K., ... & Bahalayodhin, B. (2009). Potential application of color and hyperspectral images for estimation of weight and ripeness of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq. var. *tenera*). *Agricultural Information Research*, **18**(2), 72–81.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)