

Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Pencitraan Fluoresensi yang diinduksi Laser.

Ripeness Level Classification of Oil Palm Fresh Fruit Bunch Using Laser Induced Fluorescence Imaging

Hefniati Ishak, Minarni Shiddiq*, Ramma Hayu Fitra dan Nadia Zakyyah Yasmin
Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau
Jl. HR. Soebrantas km 12.5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293, Indonesia

Received July, 2019, Accepted September, 2019

DOI: 10.24815/jacps.v8i3.14139

Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa Sawit merupakan faktor penentu kualitas crude palm oil (CPO) yang dihasilkan pabrik kelapa sawit. Metode penyortiran TBS setelah panen atau sebelum memasuki proses perebusan pada umumnya dilakukan secara manual mengandalkan penglihatan dan pengalaman. Metode ini rentan kesalahan dan bersifat subyektif. Metode pencitraan berkembang sangat cepat karena kemajuan dalam bidang komputer dan teknik pengolahan citra, khususnya untuk sistem sortasi dan grading. Penelitian ini menggunakan metode pencitraan fluoresensi yang diinduksi laser untuk mengakses dan mengklasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit. Hubungan antara tingkat keabuan dan tingkat kekerasan buah TBS dianalisa. Sampel terdiri dari 27 TBS kelapa sawit varietas Tenera. Tingkat kematangan dikategorikan oleh pemanen berpengalaman menjadi mentah, matang, dan lewat matang. Tiga bagian TBS yaitu pangkal, tengah, dan ujung disinari laser dioda 640 nm mengenai 5 buah pada tiap bagian. Kemudian citra direkam menggunakan kamera CMOS monokrom. Selanjutnya 15 buah tersebut diuji tingkat kekerasan menggunakan penetrometer. Klasifikasi tingkat kematangan dilakukan menggunakan K-mean clustering. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa metode pencitraan fluoresensi yang diinduksi laser potensial digunakan dalam mengklasifikasi tingkat kematangan TBS. Tingkat kekerasan buah berkorelasi positif terhadap tingkat keabuan citra TBS. K-mean clustering memperlihatkan tiga kelompok tingkat kematangan yang terdiri dari 0, 1 dan 2.

Ripeness levels of oil palm fresh fruit bunches (FFB) are the main factor to determine the quality of crude palm oil (CPO) produced by Oil Palm Mill. Sorting oil palm FFB after harvest or before entering the boiling process is generally done manually which relies on human vision and experience. Imaging methods has developed vastly due to advances in computer and image processing techniques. This study used a laser-induced fluorescence imaging to access and classify the ripeness levels of oil palm FFB of Tenera variety. The relationship between gray value and the level of firmness of FFB fruit was analyzed. The samples consisted of 27 oil palm FFB categorized by experienced harvester as unripe, ripe, and overripe. Laser light was shone on equatorial part of each FFB such that 5 fruitlets were covered by laser light, then the image of the front part was acquire using a monochrome CMOS camera. The step was repeated for basal and apical parts in sequent. All 15 fruitlets were testing for the firmness level using a penetrometer. Ripeness level classification was done using K-mean clustering. The results showed that the laser-induced fluorescence imaging method are potential to be used to determine the ripeness levels of FFB. The fruit firmness is positively correlated with the gray value of the image of FFB. K-mean clustering shows three ripeness centroid of 0, 1 and 2 .

Keyword: Fluorecence Imaging, Oil Palm, Fresh Fruit Bunches, Firmness, Laser Induced Fluorecence

Pendahuluan

Metode optik adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi dari suatu benda menggunakan gelombang elektromagnetik. Metode lainnya adalah metode akustik yang menggunakan gelombang bunyi untuk mengetahui karakteristik suatu objek. Metode optik bekerja menggunakan proses yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan materi. Metode optik biasanya dibatasi pada daerah ultraviolet (UV), cahaya tampak (VIS), dan infra merah (IR). Metode optik telah digunakan pada bidang pertanian secara intensif khususnya untuk penentuan kualitas buah dan sayuran. Buah dan sayuran adalah material biologi yang mempunyai sifat optik. Menurut Abbot (1999) sifat optik buah berhubungan dengan warna, sementara sifat mekanik berhubungan dengan tekstur dan kekerasan, sifat kimia dengan rasa atau aroma. Cahaya yang berinteraksi dengan suatu objek dapat mengalami proses-proses seperti pemantulan, hamburan, penyerapan, transmisi, dan fluoresensi. Metode optik bersifat non-destruktif karena tidak merusak materi yang diuji.

Spektroskopi adalah salah satu metode optik yang bekerja berdasarkan interaksi cahaya dan materi dan pengaruhnya terhadap panjang gelombang cahaya. Berdasarkan proses yang terjadi karena interaksi cahaya dan materi, jenis spektroskopi dinamai sesuai proses yang terlibat seperti spektroskopi fluoresensi. Metode pencitraan fluoresensi merupakan metode gabungan antara pencitraan dan spektroskopi. Metode pencitraan memberikan informasi spasial dari suatu objek, sementara spektroskopi memberikan informasi spektral objek yang disinari cahaya. Fluoresensi merupakan fenomena yang terjadi pada suatu materi jika dikenai oleh suatu cahaya. Intensitas dan panjang gelombang dari fluoresensi tersebut dapat mengakses sifat-sifat fisika dan kimia pada materi. Laser dioda (LD) dan *light emitting diode* (LED) sering digunakan sebagai sumber cahaya pengekstasi fluoresensi karena tersedia dengan panjang gelombang monokromatik (Bodria *et al*, 2004). Fluoresensi yang diinduksi oleh cahaya laser disebut Laser-induced fluorescence (LIF), sedangkan secara khusus jika materi yang dikenai adalah klorofil, fluoresensinya disebut Laser-induced chlorophyll fluorescence (LCIF). Dua metode telah dikembangkan untuk mengakses fluoresensi yaitu spektroskopi LIF dan Imaging LIF. Spektroskopi LIF menggunakan spektrometer sebagai detektor

sedangkan Imaging LIF menggunakan Kamera CCD atau CMOS. Menurut Abbassi *et al*. (2014) spektroskopi LIF mempunyai potensi yang besar dalam mengakses keadaan buah.

Indonesia adalah salah satu produsen Crude Palm Oil (CPO) di dunia. Keberlangsungan produksi CPO Indonesia perlu dijaga karena industri kelapa sawit merupakan komoditas penunjang perekonomian Indonesia. Aplikasi teknologi terkini perlu diadopsi. Tingkat kematangan TBS kelapa sawit merupakan faktor penting sebagai penentu kualitas CPO yang dihasilkan. Tingkat kematangan yang sempurna adalah keadaan yang menghasilkan kandungan produk total yang maksimum (Razali *et al*, 2012). Tingkat kematangan TBS standar secara umum terbagi dua yaitu berdasarkan perubahan warna TBS dan berdasarkan jumlah buah yang lepas dari TBS. Penentuan tingkat kematangan ini baik di saat pemanenan maupun saat menuju tempat pengilangan CPO, dilakukan oleh pemanen atau grader yang berpengalaman. Metode tradisional ini bersifat subjektif dan rentan kesalahan. Metode ini juga dilakukan secara manual. Metode elektronik diperlukan untuk menggantikan metode tradisional dan manual. Pengontrolan mutu buah membutuhkan metode yang dapat dipercaya, non destruktif terhadap sifat kimia dan fisika buah tersebut.

Metode deteksi, klasifikasi atau prediksi tingkat kematangan TBS kelapa sawit secara elektronik telah banyak dikembangkan. Metode yang sangat intensif digunakan adalah pencitraan dengan komputer dan kamera yang disebut sebagai *Computer Vision* (CV). Keuntungan menggunakan teknologi pencitraan adalah hasil yang diperoleh cukup akurat, nondestruktif, dan konsisten. CV dianggap sebagai teknik inspeksi yang cepat, konsisten dan objektif (Mahendran *et al*, 2011; Kodagali dan Balaji, 2012). Metode CV yang telah dilakukan menggunakan fitur warna permukaan dari buah kelapa sawit (*fruitlets*) sehingga dapat mengklasifikasi kematangan TBS, juga memprediksi kadar minyak dengan mengekstrak fitur warna (Alfatni *et al*, 2008; Sunikumar *et al*, 2013; Fadillah *et al*, 2014). Evaluasi tingkat kematangan TBS secara keseluruhan perlu dilakukan karena proses sortasi dilakukan terhadap TBS. Teknologi baru dibutuhkan yang dapat melibatkan karakteristik internal yaitu sifat kimia dan fisika buah seperti kadar antosianin dan flavonoid (Hazir *et al*, 2012). Metode pencitraan hiperspektral menggunakan spektrometer telah dilakukan untuk TBS kelapa sawit (Bensaeed *et al*,

2017). Metode ini mampu memperlihatkan hubungan antara spektrum panjang gelombang reflektansi cahaya dengan tingkat kematangan TBS, namun sistem ini relatif mahal sehingga tidak praktis dilakukan di tingkat industri.

Spektroskopi LIF (*laser induced fluorescence*) merupakan spektroskopi yang menggunakan cahaya laser sebagai sumber cahaya. Cahaya laser bersifat monokromatik sehingga dapat mengakses karakteristik internal buah bergantung pada panjang gelombangnya. Metode ini dapat menggunakan photomultiplier (PMT) atau fotodiode sebagai detektor, namun juga dapat menggunakan Kamera CCD atau CMOS. Metode yang menggunakan kamera disebut pencitraan fluoresensi. Menurut Abbasi *et al* (2014), metode spektroskopi yang diinduksi laser mempunyai potensial yang besar dalam mengakses keadaan buah.

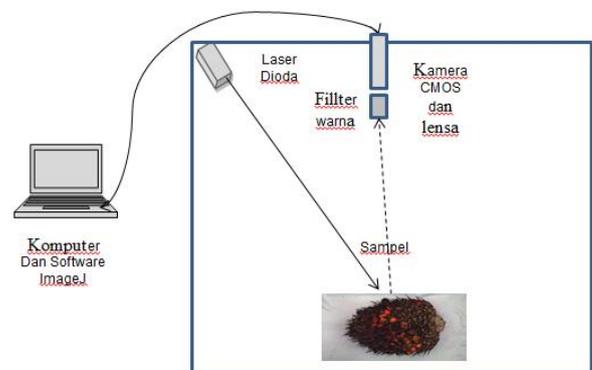
Penelitian ini menggunakan metode pencitraan fluoresensi yang diinduksi laser. Metode ini juga dapat menggunakan LED sebagai sumber cahaya, namun penggunaan biasanya dilakukan pada sistem yang berukuran kecil karena karakteristik cahaya LED yang menyebar dan intensitas yang rendah (Liu *et al*, 2007). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hubungan antara tingkat kematangan TBS kelapa sawit dengan kekerasan buah. Kekerasan buah adalah salah satu sifat fisika buah yang dapat diukur secara manual menggunakan penetrometer (Chopra *et al*, 2006). Tingkat keabuan (*gray value*) di ekstrak dari citra TBS yang disinari cahaya laser 640 nm dan direkam dengan kamera CMOS monokrom. Klasifikasi tingkat kematangan menggunakan dua fitur ini dilakukan dengan *K-mean clustering*.

Metodologi

Sistem pencitraan fluoresensi yang digunakan disusun seperti pada Gambar 1. Sistem terdiri dari sebuah Kamera USB CMOS monokrom dengan sensor berukuran 1/3", resolusi 1280 x 1024 (1,3 MP). Sensor kamera mempunyai efisiensi yang tinggi pada daerah infra merah, pada panjang gelombang 640 efisiensi kuantumnya sekitar 0,4. Lensa yang digunakan adalah lensa 35 mm, Laser dioda yang digunakan adalah laser dioda USB 640 nm, 20 mW yang dayanya dapat dikontrol melalui PC. Filter optik *dualband* pada *center of wavelength (CWL)* yang merupakan absorbance dari klorofil A dan antosianin diletakkan depan lensa yaitu pada panjang gelombang 450-520 nm dan 650-680 nm. Susunan Kamera dan lensa membentuk konfigurasi triangulasi

dimana jarak rata-rata kamera ke TBS adalah 52 cm, jarak kamera ke laser adalah 16 cm. Sistem berada dalam kotak akrilik berwarna hitam berukuran 60 × 60 × 90 cm.

Sampel yang digunakan adalah 27 TBS kelapa Sawit varietas Tenera (*nigrecence*). Tingkat kematangan TBS setelah panen dikategorikan oleh *grader* yang berpengalaman pada beberapa tingkat kematangan yang disebut fraksi yaitu sangat mentah (F00), mentah (F0), kurang matang (F1), matang 1 (F2), matang 2 (F3), lewat matang 1 (F4), lewat matang 2 (F5) yang didasarkan pada jumlah brondolan yang jatuh atau lepas dan perubahan warna TBS. Sampel yang digunakan hanya pada kategori F0, F1, F2, F3, dan F4.



Gambar 1 Sistem Pencitraan Fluoresensi yang terdiri dari laser dioda dan kamera CMOS

Tiap TBS bagian depan disinari laser pada dua bagian lainnya berturut-turut. Bagian depan adalah bagian TBS yang menghadap ke matahari. Berkas laser diatur sedemikian rupa hanya menyinari sekitar 5-6 buah kelapa sawit, bertepatan dengan daerah yang mampu direkam kamera (*Field of View*) karena lensa dan sensor berukuran 1/3". Citra bagian TBS yang disinari laser direkam dan disimpan dalam file BMP dan JPEG untuk diolah lebih lanjut menggunakan software ImageJ (Girish and Vijayalakshmi, 2004). Pengolahan citra menggunakan fitur *thresholding* dan *edge detection* digunakan untuk memperoleh nilai keabuan (*gray value*) yang mewakili intensitas fluoresensi

Buah-buah TBS bagian luar (*fruitlet*) sebanyak 5 buah setiap bagian TBS (pangkal, tengah, ujung) yang telah disinari laser kemudian dilepas dan diukur tingkat kekerasannya menggunakan sebuah penetrometer manual. Buah yang akan diukur tingkat kekerasannya, dipersiapkan dengan kulit buah diiris tipis kemudian jarum penetrometer ditusukkan ke

buah sampai masuk ke dalam daging buah selama 2 detik. Pengukuran dengan penetrometer harus dilakukan oleh satu orang agar gaya tekannya sama, dan posisinya harus tegak lurus terhadap buah. Pengukuran untuk setiap buah dilakukan 3 kali pada beberapa bagian kemudian nilai kekerasan buah dirata-ratakan.

Klasifikasi tingkat kematangan dilakukan menggunakan *k* mean clustering berdasarkan data kekerasan buah dan nilai intensitas fluoresensi (*gray value*). Metode *k-means cluster* adalah suatu metode untuk menganalisa *data mining* yang melakukan pemodelan tanpa supervisi dan merupakan salah satu metode yang melakukan pengelompokan data dengan sistem partisi. Metode *k-means clustering* mengelompokkan data yang ada ke dalam beberapa kelompok, dimana data dalam satu kelompok memiliki karakteristik yang sama satu sama lain dan mempunyai karakteristik yang berbeda dengan data yang ada dikelompok yang lain.

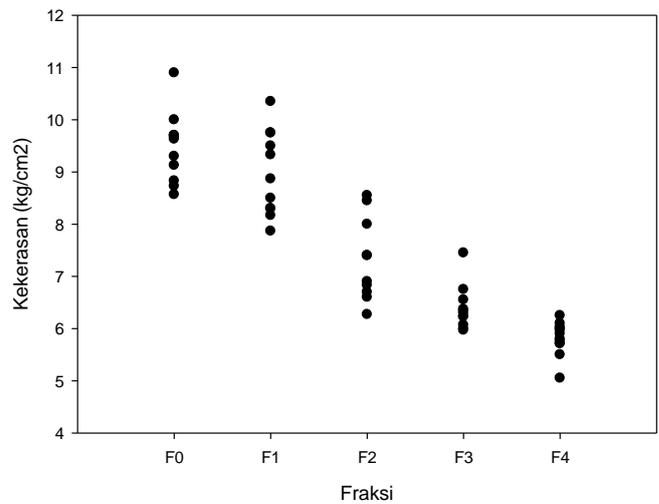
Pengolahan data menggunakan metode *k-means clustering* berbasis bahasa pemrograman python melewati tahapan berupa:

1. Memilih jumlah *cluster* awal (*K*) yang ingin dibuat.
2. Memilih titik secara random sebanyak *K* buah, di mana titik ini akan menjadi pusat (*centroid*) dari masing-masing kelompok (*clusters*).
3. Dari dataset yang dimiliki, dataset dibuat yang terdekat dengan titik *centroid* sebagai bagian dari *cluster* tersebut. Sehingga secara total akan terbentuk *clusters* sebanyak *K* buah.
4. Selanjutnya perhitungan dilakukan, dan *t* pusat *centroid* yang baru diposisikan untuk setiap *cluster*-nya. Langkah ini bisa disebut juga dengan istilah penyempurnaan *centroid*.
5. Dari dataset yang dimiliki, titik *centroid* terdekat diambil, sehingga dataset sebelumnya menjadi bagian dari *cluster* tersebut. Jika masih ada data yang berubah kelompok (pindah *cluster*), kembali ke langkah 4. Jika tidak, maka *cluster* yang terbentuk sudah dianggap baik.

Hasil Penelitian

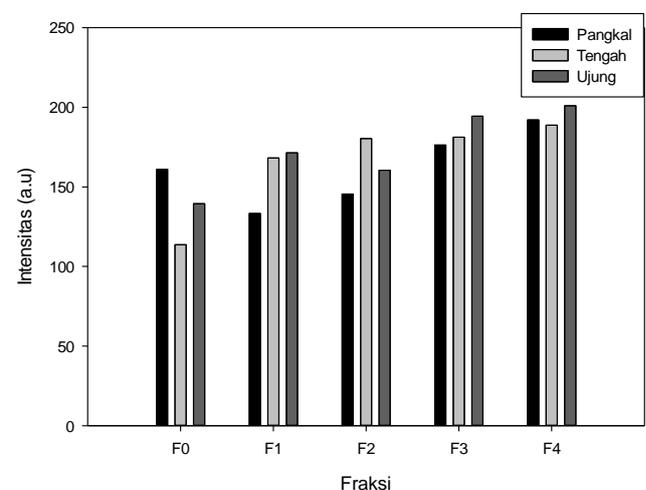
Sistem pencitraan fluoresensi pada skala laboratorium untuk mengetahui hubungan antara intensitas fluoresensi terhadap tingkat kematangan TBS kelapa sawit dan nilai kekerasan buah telah berhasil dilakukan. Gambar 2 memperlihatkan sebaran nilai tingkat kekerasan buah terhadap tingkat

kematangan TBS yang diklasifikasi secara tradisional berdasarkan warna dan jumlah brondolan.



Gambar 2 Hubungan antara tingkat kekerasan buah dari tiga bagian TBS terhadap tingkat kematangan TBS

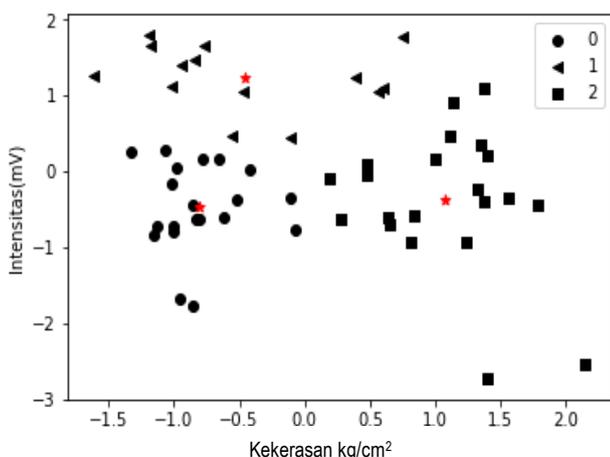
Grafik memperlihatkan bahwa kekerasan buah berkurang dengan semakin matangnya buah TBS. Kekerasan buah ini berkaitan dengan kandungan air dan minyak didalam buah (Chopra *et al*, 2006). Pada Gambar 2, nilai kekerasan tertinggi ada pada fraksi F0 yaitu 9,5 kg/cm² dan yang paling rendah adalah pada fraksi F4 5,8 kg/cm². Sebaran tingkat kekerasan buah pada buah mentah yaitu fraksi F0 dan F1 sangat lebar. Ini disebabkan karena keseragaman kekerasan buah pada ketiga bagian TBS tidak sama, tinggi pada bagian pangkal atau basal dibanding pada bagian ekuitorial dan apical, sementara pada buah yang matang tingkat kekerasan pada setiap bagian mendekati sama.



Gambar 3 Grafik hubungan antara tingkat kematangan TBS kelapa sawit terhadap intensitas fluoresensi di setiap titik.

Gambar 3 adalah hubungan tingkat kematangan TBS kelapa sawit terhadap intensitas fluoresensi rata-rata ketiga bagian TBS. Intensitas fluoresensi yang disinari laser tertinggi berada pada fraksi F4. Warna buah kelapa sawit berhubungan dengan kandungan fenolik yang ada pada kulit buah dan *mesocarp*. Untuk varietas Nigrecence, kandungan antosianin dan flavonoid memegang peranan penting dalam proses fluoresensi. Kandungan antosianin berhubungan dengan warna buah jingga, merah dan biru, sedangkan flavonoid berhubungan dengan warna kuning (Laren, 1986).

Kandungan antosianin dan flavonoid berkurang seiring kematangan buah (Hazir *et al*, 2012). Ini menyebabkan intensitas fluoresensi yang diwakili reflektansi cahaya yang mengenai kamera semakin bertambah, karena lebih sedikit cahaya yang diserap. Pada F0, ada ketidak beraturan bentuk buah yaitu buah tidak berkembang (*unfertile*). Pada F2, bagian tengah dan ujung berbeda karena keseragaman warna buah, pada varietas ini, warna buah pangkal lebih terang dari ujung sementara bagian tengah, merupakan kombinasi kedua warna (Alfatni *et al*, 2008).



Gambar 4 Grafik klasifikasi TBS kelapa sawit menggunakan nilai intensitas fluoresensi dan kekerasan buah

Klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan metode k-means clustering. Algoritma k-means clustering berbasis program python. Pengolahan data K-means clustering melewati tiga tahapan: Preprocessing data, processing, result. Preprocessing data yang diperlukan adalah feature scaling untuk menyamakan skala pada nilai kekerasan (skala satuan) dan nilai intensitas (skala ratusan) sehingga skala pada kedua nilai tersebut sama. Hasil dari feature scaling memiliki range negatif hingga positif. Nilai kekerasan dan nilai

intensitas setelah di feature scaling digunakan untuk tahapan processing. Processing terdiri atas tahapan penentuan nilai centroid menggunakan teknik elbow. Hasil metode elbow maksimal 3 cluster. Sehingga lima buah fraksi dengan label F0, F1, F2, F3 dan F4 akan dikelompokkan ke dalam 3 pengelompokan. Hasil pengelompokan dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut memperlihatkan hasil proses *clustering*. Simbol lingkaran merupakan kelompok pertama (dimulai indeks 0), simbol segitiga kelompok 2 (indeks 1) dan simbol persegi kelompok 3 (indeks 2) serta simbol bintang merupakan centroid hasil metode elbow.

Kesimpulan

Metode pencitraan fluoresensi memperlihatkan perbedaan tingkat kematangan TBS kelapa sawit. Metode ini potensial sebagai metode alternatif dari *Computer Vision* untuk mengklasifikasi TBS berdasarkan tingkat kematangannya, Nilai kekerasan buah berbanding terbalik dengan tingkat kematangan namun bervariasi karena letak buah pada bagian TBS. Intensitas fluoresensi menunjukkan tren yang tinggi pada TBS yang matang. Sistem ini dapat dikembangkan pada fitur internal buah seperti klorofil, antosianin, kadar minyak, dan kadar air bergantung pada cahaya laser dan filter warna yang digunakan.

Referensi

- Abbot, J. A. 1998. *Quality measurement of fruits and vegetables*. Postharvest Biology and Technology Journal. 15: 207-225
- Abbasi, H., M. Nazeri, A. Balooch, S. A. Mireei. 2014. *LIF Spectroscopy of Fruits: Study of Excitation Wavelength Independence*. The third Iranian Conference on Engineering Electromagnetic (ICEEM 2014), Dec. 3-4
- Alfatni, M.S.M.; Shariff, A.R.M.; Shafri, H.Z.M.; Saaed, O.M.B.; Eshanta, O.M. 2008. *Oil palm fruit bunch grading system using red, green and blue digital number*. J. Appl. Sci. 8:1444–1452
- 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*. IOPconference earth and environmental science. Doi : 10.1088/1755-1315
- Bodria., L., M. Fiala, R. Guidetti, R. Oberti. 2004. *Optical Techniques to Estimate The Ripeness*

- of Red-Pigmented Fruits. American Society of Agricultural Engineers ISSN 0001-2351, vol 47 (3): 815-820
- Chopra, S., A.R.P Kingsly, A.R.P., Jha, S.N. 2006. *Non-Destructive Determination of Firmness And Yellowness Of Mango During Growth And Storage Using Visual Spectroscopy*. Biosystems Engineering. 94(3): 397-402
- Fadilah, N., J. Mohamad-Saleh, Z.A. Halim, H. Ibrahim, S.S. Syed Ali. 2012. *Intelligent ColorVision System for Ripeness Clasification of Oil Palm Fresh Fruit Bunch*. Sensor. 12: 14179-14195
- Girish V, A. Vijayalakshmi. 2004. *Affordable image analysis using NIH Image/ImageJ*. Indian J Cancer. 41:47
- Hazir, M. M. H., Shariff, A. R. M., Amiruddin, M. A. 2012. *Determination of oil palm fresh fruit bunch ripeness-Based on flavonoid and anthocyanin content*. Journal Industrial Crops and Products. 36: 466-475
- Kodagali, J. A, S. Balaji. 2012. *Computer Vision and Image Analysis based Techniques for Automatic Characterization of Fruits – a Review*. International Journal of Computer Applications. 50 (6): 0975 – 8887
- Lakshmi, S., Pandey, A.K., Ravu, N., Chauhan. O. P. Natarajan, G., Sharma, R. K. 2017. *Non-destructive quality monitoring of fresh fruits and vegetables*. Defence life science journal. 2 : 103-110
- Laren, Mc., 1986, *The Colour Science of Dyes and pigments*, second edition, Adam HilgerLtd, Bristol
- Lino, A. C. L., Sanches, J. Dal Fabbro, I. M. 2008. *Image processing techniques for lemons and tomatoes classification*, Bragantia. 67(3): 785-789
- Liu, M., S. Hu, H. W. Lin, E. Guo. 2007. *Hyperspectral laser induced fluorescence imaging for nondestruktif assesing soluble solids content of orange*. Computer and Computing Technologies in Agriculture.1: 51-59
- Mahendran,R, G.C. Jayashree, K. Alagusundaram. 2012. *Application of Computer Vision Technique on Sorting and Grading of Fruits and Vegetables*. J Food Process Technol SI-001. Doi : 10.4172/2157-7110
- Razali, M. H., A. Somad., M. A. Halim., S. Roslan. 2012. *A Review on Crop Plant Production and Ripeness Forecasting*. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4 (2): 54-36
- Sunilkumar, K and D. S. Sparjan Babu, 2013. *Surface color based prediction of oil content in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) fresh fruit bunch,*” African Journal of Agricultural Research. 8: 564-569