

Klasifikasi Tingkat Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit Menggunakan Probe Optik

Ripeness Classification of Oil Palm Fresh Fruit Bunch Using an Optical Probe

Nurmaya Sari, 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.v8i3.14122

Penggunaan spektroskopi fluoresensi yang nondestruktif bidang pertanian semakin intensif dilakukan khususnya untuk evaluasi produk pertanian. Sortasi dan grading Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit sebelum memasuki proses produksi Crude Palm Oil sangat penting untuk memenuhi standar produksi dan ekspor. Sistem sortasi dan grading elektronik dibutuhkan untuk menggantikan metode sortasi manual mengandalkan penglihatan dan pengalaman. Pada penelitian ini probe optik yang terdiri dari laser dioda 640 nm dan dua fotodioda inframerah dalam konfigurasi triangulasi digunakan untuk mengevaluasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit dan hubungannya dengan kekerasan buah dan tegangan fotodioda. Sampel terdiri dari 23 TBS Tenera. Buah kelapa sawit pada setiap TBS disinari laser pada tiga bagian yaitu pangkal, tengah dan ujung, setiap bagian terdiri dari tiga buah kelapa sawit. Tegangan keluaran dari kedua fotodioda dijumlahkan dan diperkuat oleh rangkaian multiboard komersial. Setelah tegangan diperoleh, ke-9 buah kelapa sawit dilepaskan dari TBS, tingkat kekerasan buah diukur menggunakan penetrometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kematangan TBS mempunyai korelasi linier terhadap kekerasan buah dengan kekerasan yang tertinggi pada buah mentah sebesar 9,39 kg/cm² dan terendah pada buah terlalu matang sebesar 5,64 kg/cm². Nilai tegangan rata-rata terkecil pada buah mentah dan tertinggi pada buah matang kemudian turun pada buah lewat matang. Hasil K-means clustering menunjukkan pengelompokan 4 tingkat kematangan berdasarkan nilai kekerasan dan tegangan yaitu F0, F1, F2, dan F3.

Applications of nondestructive fluorescence spectroscopy in agriculture have been intensively carried out especially to evaluate agriculture products. Sorting and grading oil palm fresh fruit bunches (FFB) before Crude Palm Oil milling processes are important tasks to meet the production and export standards. Electronic systems for sorting and grading of FFBs are needed to replace manual sorting method which depends on human vision and experience. In this study, an optical probe consisted of a 635 nm diode laser and two photodiodes was used to evaluate the ripeness level of oil palm FFB and its relation to both the fruitlet firmness and resulted photodiode voltages. Laser was directed to each of nine fruitlets of each FFB from three parts; basil, equatorial, and apical. Output voltages from each photodiode were summed and amplified by a commercially multi-board circuit. Then their firmness levels were obtained using a penetrometer. The results show that there is a linear correlation between the firmness levels and the FFB ripeness levels. The firmness values ranges from 9.39 kg/cm² for unripe FFB and 5.64 kg/cm² for overripe FFB. The highest voltage is obtained for ripe FFB and less for unripe and overripe FFB. K-means clustering results indicate that the overall ripeness levels are grouped into 4 levels of ripeness, namely F0, F1, F2 and F3 based on the values of hardness and the voltage of each sample.

Keywords: Fluorescence Spectroscopy, Oil Palm, Fresh Fruit Bunch, Firmness, Optical Probe

Pendahuluan

Saat ini metode spektroskopi telah banyak digunakan pada buah dan sayuran untuk berbagai tujuan. Spektroskopi adalah metode optik yang bekerja berdasarkan interaksi cahaya dan materi. Biasanya spektroskopi sering digunakan untuk menentukan kandungan kimia suatu larutan atau senyawa kimia. Jangkauan panjang gelombang yang digunakan adalah UV, VIS, atau IR bergantung pada jenis zat dan karakteristik yang diukur. Berdasarkan interaksi materi dan zat, spektroskopi dikategorikan sebagai spektroskopi reflektansi, fluoresensi, absorpsi, dan hamburan. Aplikasi metode spektroskopi pada buah dan sayuran bertujuan untuk menentukan kualitas buah dan sayuran berdasarkan karakteristik internalnya.

Tingkat kematangan atau kemasakan buah merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas buah. Kematangan (*maturity*) dan kemasakan (*ripeness*) secara istilah merupakan hal yang berbeda. Buah-buahan yang dikonsumsi masyarakat seperti buah tropis sering sudah dewasa (*mature-matang*) ketika dipetik namun belum masak (*ripe*). Buah akan masak setelah menjalani proses penyimpanan kemudian akan rusak atau busuk. Indeks kematangan dapat berupa kekerasan, warna, dan ukuran. Besaran ini sering dipakai konsumen untuk menentukan kualitas buah, namun tidak dapat menjelaskan sifat fisika dan kimia buah (Athmaselvi *et al*, 2014). Spektroskopi VIS- NIR merupakan metode yang potensial mengevaluasi kemasakan buah, karena memberikan informasi yang dapat dipercaya terhadap karakteristik internal dari berbagai jenis buah (Zang *et al*, 2014). Metode spektroskopi NIR telah digunakan untuk menentukan kualitas pisang Cavendish selama pemeraman (Liew *et al*, 2012).

Penelitian tentang pendeteksian kematangan buah telah banyak dilakukan. Metode yang diusulkan bergantung pada jenis interaksi, sifat fisika dan kimia buah. Pendeteksian menggunakan interaksi cahaya dengan buah semakin intensif dikembangkan karena bersifat tidak merusak. Sumber cahaya dapat berasal dari laser, LED, atau lampu halogen. Jenis pendeteksian bergantung pada proses yang terlibat dan detektor yang digunakan. Spektroskopi *visual* telah digunakan untuk penentuan kekerasan dan kekuningan buah mangga pada masa pertumbuhan dan masa penyimpanan (Chopra *et al*, 2006). Metode deteksi kematangan menggunakan cahaya telah dikembangkan untuk

pembuatan mesin panen pemetik buah otomatis (Beers *et al*, 2014). Metode lainnya adalah computer vision system (CVS) juga telah banyak dikembangkan untuk sortasi buah dan sayur-sayuran dan penentuan kualitasnya. CVS dianggap sebagai teknik inspeksi yang cepat, konsisten dan objektif (Mahendran *et al*, 2012).

Saat ini, laser telah banyak digunakan pada bidang pertanian. Aplikasi laser dalam bidang pertanian biasanya digunakan untuk instrumentasi atau pengukuran yaitu deteksi dini pada tanaman dan deteksi pasca panen baik untuk penyakit pada tanaman maupun kualitas hasil panen. Cahaya laser digunakan pada berbagai aplikasi spektroskopi di bidang pertanian karena sifat-sifat khususnya yang berbeda dari cahaya lampu atau LED yaitu monokromatis, koheren, terarah dan memiliki sifat kecerahan yang tinggi (*brightness*). Aplikasi laser ini telah meluas diberbagai bidang karena tersedianya berbagai jenis laser secara komersial khususnya laser dioda. Laser dioda tersedia dalam variasi daya dan panjang gelombang. Metode pendeteksian menggunakan cahaya laser sedang dikembangkan karena sifatnya yang tidak merusak bahan (*nondestructive*), memiliki sensitivitas yang tinggi, *low cost* dan sistemnya yang sederhana.

Probe optik adalah sebuah sistem optik yang terdiri dari sumber cahaya dan detektor cahaya yang dikemas dalam satu kesatuan yang kompak. Cahaya dari sumber mengenai sampel uji kemudian dipantulkan oleh sampel ke detektor cahaya. Detektor cahaya yang sering digunakan adalah fotodioda atau LDR. Sumber cahaya yang digunakan dapat berupa Laser dioda atau LED. Probe optik telah digunakan untuk mengestimasi kematangan buah-buahan berwarna merah (Bodria *et al*, 2004), mengukur konsentrasi Fitoplankton (Haryanto, 2008), mendeteksi tingkat kematangan TBS (Thoriq, 2013), mendeteksi tingkat kematangan semangka (Abdullah *et al*, 2015).

Industri kelapa sawit merupakan penyumbang devisa terbesar di Indonesia. Namun, industri kelapa sawit Indonesia menghadapi berbagai permasalahan salah satunya adalah kualitas CPO yang rendah sehingga harga CPO menjadi lebih rendah. Salah satu penyebab kualitas CPO yang rendah adalah besarnya kandungan asam lemak bebas (ALB) pada CPO, yang mana standarnya adalah kecil dari 5%. Kandungan ALB yang tinggi karena masuknya tandan buah segar (TBS) kelapa Sawit yang lewat matang ke dalam proses pengilangan (Thoriq, 2013).

Tingkat kematangan adalah salah satu faktor penting dalam menentukan kualitas TBS kelapa sawit. Kualitas TBS yang terbaik adalah TBS yang mempunyai kandungan minyak tertinggi dan kadar ALB terendah (Razali *et al*, 2012). Tingkat kematangan dapat dibedakan atas beberapa fraksi yang ditentukan berdasarkan jumlah buah yang lepas dan perubahan warna seperti diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit berdasarkan jumlah buah yang lepas dan perubahan warna (Fauzi *et al*, 2007)

Fraksi	Jumlah Brondolan	Keterangan
00	Tidak ada, buah berwarna hitam	Sangat mentah
0	1 – 12,5 % buah luar membrondol	Mentah
1	12,5 – 25 % buah luar membrondol	Kurang matang
2	25 – 50 % buah luar membrondol	Matang I
3	50 – 75 % buah luar membrondol	Matang II
4	75 – 100 % buah luar membrondol	Lewat matang I
5	Buah dalam juga membrondol, ada yang membusuk	Lewat matang II

Proses sortasi dan grading TBS pada umumnya masih dilakukan secara tradisional dan manual. Sortasi secara tradisional dilakukan dengan melihat bentuk, tekstur dan warna dari buah. Namun cara tersebut tidak efektif dan dibutuhkan *grader* yang berpengalaman. Proses secara manual dilakukan menggunakan tenaga manusia. Kedua metode ini, bersifat subjektif, lambat dan tidak kuantitatif. Penelitian di bidang ini berusaha menemukan metode yang tidak merusak, cepat, tidak mahal, dan dapat dipercaya.

Pengembangan metode yang berhubungan dengan kualitas TBS maupun buah tunggal (*fruitlet*) gencar dilakukan untuk menjaga kesinambungan industri kelapa sawit dalam pemenuhan kebutuhan akan minyak nabati dunia. Metode yang sangat intensif digunakan adalah metode *Computer Vision* (CV). Metode ini menggunakan fitur warna pada buah dan mengandalkan pengolahan dan analisa citra. Metode CV disukai karena hasil yang diperoleh cukup akurat dan konsisten serta bersifat nondestruktif. CV dianggap sebagai teknik inspeksi yang cepat, konsisten dan objektif (Mahendran *et al*,

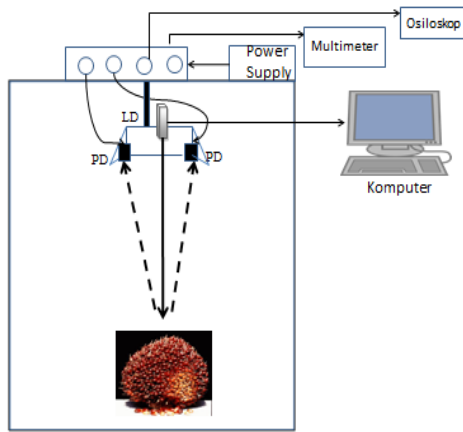
2011). Metode CV yang telah dilakukan antara lain oleh Alfatni *et al*, 2008; Sunikumar *et al*, 2013; Fadillah *et al*, 2014). Metode lainnya adalah metode fluoresensi berdasarkan konsentrasi antosianin dan flavonoid (Hazir *et al*, 2012), metode pencitraan hiperspektral menggunakan spektrometer telah dilakukan untuk TBS kelapa sawit (Junkwon *et al*, 2009; Bensaeed *et al*, 2017), menggunakan citra infra merah (M.Kasim *et al*, 2014) serta metode menggunakan sensor (Harun *et al*, 2014)

Pada penelitian ini, sebuah sistem probe optik disusun untuk evaluasi dan klasifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit. Sistem terdiri dari sumber cahaya yaitu laser dioda sebagai sumber eksitasi dan dua fotodioda sebagai detektor cahaya. Fotodioda pada rangkaian penguat menghasilkan tegangan dari respon cahaya dan merubah besaran cahaya menjadi beda potensial. Tegangan output yang dihasilkan oleh fotodioda sangat kecil, maka dibutuhkan rangkaian penguat agar tegangan output fotodioda dapat dibaca oleh alat ukur. Rangkaian penguat terdiri dari dua rangkaian utama yaitu pertama rangkaian power supply dan rangkaian penguat multiboard (Roithner Laser teknik). Rangkaian power supply berfungsi sebagai sumber tegangan pada rangkaian penguat dan rangkaian penguat multiboard berfungsi sebagai penguat dua fotodioda Inframerah FD100.

Metodologi

Sistem deteksi kematangan TBS kelapa sawit diperlihatkan pada Gambar 1. Probe optik terdiri dari satu laser dioda merah 640 nm 20 mW dari *Roithner Lasertechnik* yang dapat dihubungkan ke laptop menggunakan kabel USB. Daya laser dan modulasi laser dapat diatur melalui program bawaan melalui kabel USB. Penelitian ini dilakukan dengan probe optik untuk menentukan hubungan antara kekerasan buah, tegangan keluaran fotodioda dan tingkat kematangan TBS kelapa sawit. Jarak fotodioda ke sampel adalah 18 cm dijaga konstan agar sampel dapat ditangkap dengan baik oleh fotodioda. Jarak laser ke fotodioda adalah 5 cm dan jarak laser ke sampel adalah 32 cm agar didapat posisi penyinaran yang tepat.

Sampel yang digunakan adalah TBS kelapa sawit yang terdiri dari 23 TBS Tenera. TBS yang digunakan terdiri dari 5 fraksi yang ditentukan oleh pemanen yang berpengalaman yaitu F0 dan F1 (Mentah), F2 dan F3 (Matang) dan F4 (lewat matang).



Gambar 1 Skema penelitian probe optik

Sampel 23 TBS tersebut terdiri dari F0 1 TBS, F1 5 TBS, F2 6 TBS, F3 9 TBS dan F4 2 TBS. Setiap TBS disinari pada tiga bagian yaitu pangkal, tengah dan ujung, setiap bagian terdiri dari tiga buah yang disinari, disinari secara bergantian, dan tegangan keluaran fotodiode dicatat. Data yang dihasilkan diperoleh dari alat ukur multimeter berupa tegangan dalam volt karena rangkaian multiboard telah mengkonversi arus dari fotodiode ke tegangan dalam mV. Selanjutnya, setelah penyinaran dilakukan, 9 buah kelapa sawit dari tiga bagian pada setiap TBS diukur tingkat kekerasannya menggunakan sebuah penetrometer manual. Setelah memperoleh nilai tegangan dan nilai kekerasan tiap fraksi dilakukan pengelompokan tingkat kematangan.

Pengelompokan tingkat kematangan berdasarkan nilai kekerasan dan nilai tegangan dilakukan menggunakan metode *K-means clustering*. Metode *K-means clustering* adalah metode pengelompokan suatu dataset ke dalam beberapa kelompok sebanyak k buah data. K adalah jumlah pengelompokan (*cluster*). Penentuan jumlah k *cluster* sangat menentukan dalam proses pengelompokan. Jumlah k dapat diperoleh menggunakan metode *elbow*. Setiap *cluster* terdapat titik pusat (*centroid*) yang mempresentasikan *cluster* tersebut (Fahim, 2006).

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

1. Memanggil data dalam bentuk excel
2. Membuat variabel data yang mewakili kolom kekerasan dan tegangan
3. Melakukan *feature scaling* pada tiap variabel
4. Melakukan prediksi
5. Menentukan jumlah cluster
6. Melakukan plot *scatter*

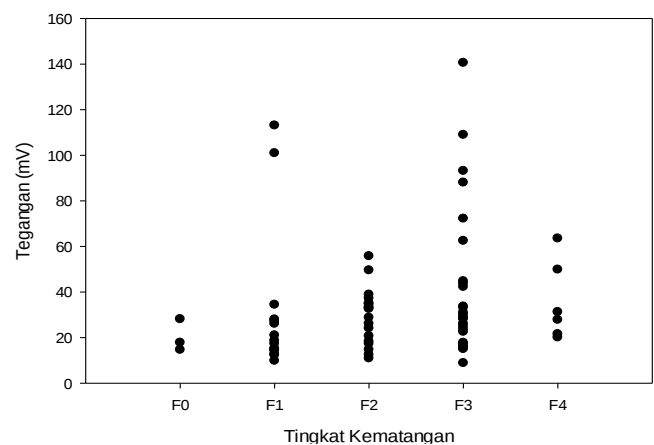
Feature scaling adalah suatu cara untuk membuat numerical data pada dataset memiliki rentang nilai (*scale*) yang sama. Tidak ada lagi satu variabel data yang mendominasi variabel data lainnya. Secara teori *feature scaling* memenuhi rumusan *Standardization* dan *Normalization* (Pers. (1) dan (2)).

$$X_{stand} = \frac{X - \text{mean}(X)}{\text{standar deviation}(X)} \quad (1)$$

$$X_{norm} = \frac{X - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (2)$$

Hasil Penelitian

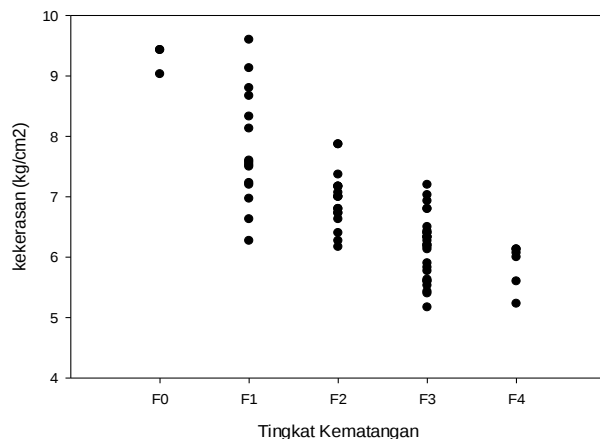
Grafik sebaran tingkat kematangan buah dengan tegangan diperlihatkan pada Gambar 2. Buah yang matang menghasilkan tegangan yang tinggi sebaliknya buah yang mentah menghasilkan tegangan yang rendah. Ini dapat disebabkan oleh intensitas cahaya reflektansi dari buah yang matang lebih tinggi karena warna buah yang semakin terang dari buah yang mentah berwarna gelap. Perubahan warna ini disebabkan berkurangnya kadar antosianin pada kulit buah (Hazir *et al*, 2012).



Gambar 2 Grafik sebaran tingkat kematangan dengan tegangan

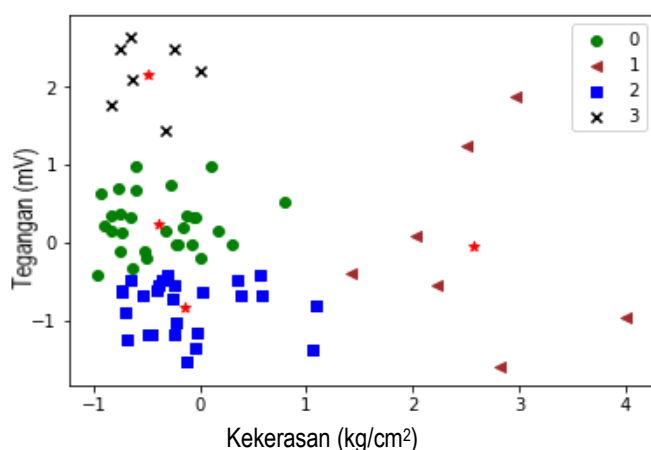
Buah yang mentah memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan buah yang matang. Kekerasan buah bergantung pada kadar air yang terkandung pada buah. Buah yang memiliki kadar air tinggi akan mudah lunak dan cepat busuk sehingga mempengaruhi kekerasan buah (Alfatni *et al*, 2008). Hal ini menunjukkan tingkat kematangan buah berbanding terbalik dengan kekerasan buah. Grafik sebaran tingkat kematangan dengan kekerasan diperlihatkan pada Gambar 3. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan cara manual dengan tangan yang dilakukan oleh dua orang menghasilkan

variasi tekanan berbeda. Pengukuran kekerasan dilakukan setelah pengukuran tegangan.



Gambar 3 Grafik sebaran tingkat kematangan dengan kekerasan

Pengelompokan data berdasarkan tegangan dengan kekerasan dilakukan menggunakan metode *K-means clustering*. Hasil pengelompokan fraksi diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hubungan kekerasan dengan tegangan

Gambar 4 memperlihatkan adanya 4 *centroid*. Data tegangan dan kekerasan buah dari TBS kelapa sawit semula di klasifikasi secara tradisional menjadi 5 tingkat kematangan yaitu (F0, F1) sebagai mentah dan kurang matang, (F2, F3) sebagai matang dan F4 sebagai lewat matang. Optimalisasi *K-mean clustering* berhasil memperlihatkan 4 pengelompokan. Cluster 0 dan 2 mempunyai centroid yang berdekatan. Nilai negatif dapat disebabkan oleh nilai rata-rata nya yang nol. Ketidakberagaman bentuk dan perubahan warna TBS Tenera dapat menyebabkan pengelompokan yang tidak sempurna namun telah dapat

membedakan tingkat kematangan berdasarkan nilai tegangan dan kekerasan buah.

Kesimpulan

Evaluasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan metode probe optik berdasarkan *spectroscopy fluorescence* telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kematangan TBS mempunyai korelasi linier terhadap kekerasan buah dengan kekerasan yang tinggi pada buah mentah sebesar 9,39 kg/cm² dan terendah pada buah terlalu matang sebesar 5,64 kg/cm². Nilai tegangan kecil pada buah mentah dan tinggi pada buah matang kemudian turun pada buah lewat matang. Hasil pengelompokan menggunakan metode *K-means clustering* memperlihatkan perbedaan hasil pengelompokan terhadap pengelompokan dilapangan oleh pemanen tradisional.

Referensi

- Abdullah, N. E, H. Hashim, M. F. Sulaiman, N. K. Madzhi, A. F. Mohd Sampian, F. A. Ismail. 2015. *A Rudimentary Optical System in Detecting Ripeness of Red Watermelon*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 99.
- Alfatni, M.S.M.; Shariff, A.R.M.; Shafri, H.Z.M.; Saaed, O.M.B.; Eshanta, O.M. *Oil palm fruit bunch grading system using red, green and blue digital number*. J. Appl. Sci. 2008, 8, 1444–1452.
- Athmaselvi, K.A., P. Jenne., C. Pavithra., I. Roy. 2014. *Physical and biochemical properties of selected tropical fruits*. International Agrophysics. 28. Pp. 383-388.
- Bodria, L., Fiala, M., Guidetti, R., Oberti, R. 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. Vol.94(3) :397-402.
- Fahim, A. 2006. *An efficient Enhanced K-Means Clustering Algoritma*. Journal of Zhejiang University Science. Vol. 7(10):1626-1633
- Fauzi Y, Widyastuti YE, Satyawibawa I, Hartono R. 2007. *Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis*

- Usaha dan Pemasaran. Jakarta (ID): Penebar Swadaya
- Haryanto, G., 2008. *Probe Optik untuk Mengukur Konsentrasi Fitoplankton, Studi Kasus Scenedesmus SP*. Tesis. UI. (2008)
- 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. Vol. 36: 466-475.
- Harun, N.H., Norisham, M., Roslina, M. S., Ishak, I., Hiroyuki, W., Kuniyoshi, T. 2014. *Dual resonant frequencies effects on an Induction-Based Oil Palm Fruits Sensor*. Journal sensors. Vol. 14: 21923-21940.
- K. Sunilkumar and D. S. Sparjan Babu, *Surface color based prediction of oil content in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) fresh fruit bunch*, African Journal of Agricultural Research 8 564-569 (2013).
- M Kassim, M. S, W. I. Wan Ismail and L. H. Teik *Oil Palm Fruit Classifications by using Near Infrared Images*. 2014. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 7(11): 2200-2207, 2014
- Liew, C. Y dan C. Y. Lau, 2012. *Determination of quality in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy*. International Food Research Journal. Vol. 19:752-758
- 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 S1-001
- 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, Vol 4: 54-63
- Thoriq, A. 2013. *Pengembangan System Deteksi Kematangan Tandan Buah Segar Kelapa Sawit (TBS) Berbasis Spektrum Cahaya Tampak*. Tesis, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Van Beers, R., L. L. Gutierrez., A. Schenk., B. Nicolai., E. Kayacan., W. Saeys. 2014. *Optical Measurement Techniques for the Ripeness Determination of Braeburn Apples*. Proceedings International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 06-10.07.2014
- Zhang, H., J. Huang, T. Li, X. Wu, S. Svanberg, K. Svanberg. 2014. *Studies of tropical fruit ripening using three different spectroscopic techniques*. Journal of Biomedical Optics. 19 (6). Pp. 067001.