

PENGAJIAN KARAKTERISTIK MUTU BUAH BELIMBING MANIS (*Averrhoa carambola* L.) DENGAN TEKNIK PENGOLAHAN CITRA

*Quality Characteristic Study of Star Fruit (*Averrhoa carambola* L.) Using an Image Processing Technique*

Yusuf Hendrawan ¹⁾, Sumardi H. S. ¹⁾

¹⁾Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, FTP Unibraw Malang

ABSTRACT

The research aim was to develop image processing algorithms suitable for the determination of star fruits quality by assessing the external appearances of the fruit i.e. physical characteristics used for grading. Based on that, a computer software for star fruit quality grading was then developed. An RGB (Red-Green-Blue) index was used to determine the colour range and classification, while an euclidian method was used to measure the length and diameter of the fruit to classify the quality grade.

The result showed that an image processing has high correlation between fruit length ($r^2=0.97$), fruit diameter($r^2=0.98$),and fruit area based on fruit length ($r^2=0.93$), but less correlated with the fruit area based on the fruit diameter ($r^2=0.62$). The red index was slightly well correlated with the total soluble solid ($^{\circ}$ Brix) of the fruit juice ($r^2=0.74$). On the other hand, the green and blue indexes showed a low correlation with the total soluble solid of the fruit with a correlation value of 0.34 and 0.10 respectively. It can be concluded that the quality characteristics of star fruit may be mostly determined by the red index, fruit length, fruit diameter, and fruit area. The Grade A quality characteristics of the fruit can be expressed with a value of 0.402-0.460 (red index), 186-237 pixels (fruits length), 100-125 pixels (fruits diameter), and 13627-20449 pixels (fruits area). While the values of such parameter of the B Grade were 0.402-0.460, 147-185 pixels, 76-90 pixels, and 8805-13415 pixels, and of C Grade were 0.370-0.401, 147-185 pixels, 76-90 pixels, and 8805-13415 pixels, respectively.

Key Words : Star Fruits, Image Processing, quality.

PENDAHULUAN

Buah belimbing berpotensi ekonomi cukup tinggi dalam perdagangan buah dunia. Hal ini terlihat dari perkembangan impor buah-buahan tropis segar dan kering oleh berbagai negara di dunia cenderung meningkat. Penerapan aspek teknologi sangat penting untuk mendapatkan hasil belimbing yang sesuai dengan standar mutu yang diinginkan pasar. Penerapan aspek teknologi ini sangat kompleks, mulai dari prapanen hingga pasca panen. Pada proses pasca panen belimbing perlu penanganan lebih lanjut, terutama bila jumlahnya melimpah. Tahap-tahap penanganan pasca-panen buah belimbing antara lain adalah (1) pengumpulan, (2) pemilihan (seleksi), dan (3) penyimpanan.

Bila produksi buah banyak dan akan dipasarkan ke pasar swalayan ataupun diekspor, maka penanganan pasca-panennya meliputi tahap-tahap antara lain (1) pengumpulan dan pewadahan, (2) pembersihan dan seleksi buah, (3) pengklasifikasian, (4) pembungkusan buah, (5) pengemasan, dan (6) penyimpanan.

Dari beberapa proses pasca panen di atas, proses seleksi dan pengklasifikasian buah merupakan tahap proses yang sangat penting karena menentukan layak tidaknya buah tersebut masuk pasaran, sehingga perlu adanya penerapan teknologi mengingat produksi cukup banyak. Sistem sortasi dan grading pada buah belimbing berguna bagi penjual dan sekaligus konsumen. Sistem ini akan membuat petani

atau penjual terangsang menghasilkan buah belimbing yang berkualitas sehingga memperlancar usahanya. Konsumen akan merasakan kemudahan untuk membeli buah belimbing sesuai dengan tingkat kualitas yang disukai dan terhindar dari kekecewaan akibat tertipu. Dengan adanya penerapan teknologi, maka akan mempermudah petani dalam melakukan penyeleksian dan pengklasifikasian menjadi lebih tepat dan buah yang masuk ke pasaran tidak mengecewakan konsumen. Pasar dalam negeri maupun luar negeri memiliki kriteria tertentu dalam menerima produk buah. Selama ini sistem sortasi yang dilakukan di tingkat petani masih dilakukan secara manual. Hal ini dapat menghasilkan produk dengan mutu sortasi yang kurang baik karena keragaman visual manusia, faktor kelelahan, dan perbedaan persepsi tentang mutu dari produk yang bersangkutan.

Didasari hal tersebut maka diperlukan suatu metode atau teknik untuk dapat mensortasi buah belimbing secara efektif dan efisien. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan pengolahan citra (*image processing*). Dengan menggunakan metode pengolahan citra ini, maka dapat diperoleh hasil sortasi yang seragam, memiliki tingkat kesalahan yang rendah, dan sesuai dengan standar mutu pasar yang telah ditentukan.

Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual. Citra yang dimaksudkan adalah citra digital untuk membedakan dengan citra lain seperti foto dan lain-lain. Proses ini mempunyai data masukan dan informasi keluaran yang berbentuk citra. Teknik ini cukup banyak digunakan dalam proses pengembangan sortasi menggunakan mata elektronik dengan akurasi tinggi (*Li Zao, 2000*).

Dalam pengambilan citra, hanya citra yang berbentuk digital yang dapat diproses oleh komputer digital, data citra yang dimasukkan berupa nilai-nilai integer yang menunjukkan nilai intensitas cahaya atau tingkat keabuan setiap pixel. Citra digital dapat diperoleh secara otomatis dari sistem penangkap citra membentuk suatu

matrik dimana elemen-elemennya menyatakan nilai intensitas cahaya pada suatu himpunan diskrit dari titik. Sistem tersebut merupakan bagian terdepan dari suatu sistem pengolahan citra (*Usman Ahmad, 2001*).

Sistem visual dipengaruhi oleh jenis perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Perangkat keras salah satunya adalah sensor citra (*image sensor*). Banyak macam dari sensor citra ini yang digunakan, namun untuk saat ini yang sering digunakan adalah *solid-state image sensor* karena mempunyai banyak kelebihan seperti konsumsi daya listrik yang kecil, ukurannya yang kecil dan kompak, tahan guncangan dan sebagainya. Sensor jenis ini dapat diklasifikasikan berdasarkan caranya melakukan *scanning*, yang umumnya dibedakan menjadi dua jenis yaitu *charge-coupled device* (CCD) dan *metal-oxide semiconductor*. Jenis CCD mempunyai kelebihan pada resolusi yang tinggi sedangkan jenis metal-oxide semiconductor mempunyai kelebihan pada hasil citra yang tajam.

Sebuah kamera TV umumnya terdiri dari satu atau lebih sensor citra, sebuah lensa, dan rangkaian komponen lain seperti pembangkit *scanning*, amplifier dan rangkaian pemroses sinyal. Sebuah kamera warna mempunyai tiga sensor citra masing-masing untuk warna merah (R), warna hijau (G), dan warna biru (B), atau mempunyai satu sensor dengan filter RGB. Sinyal yang dihasilkan oleh kamera TV adalah sebuah sinyal citra yang dapat digambarkan sebagai sinyal analog dari bentuk gelombang listrik. Sinyal analog ini kemudian dikonversi menjadi sinyal digital oleh sebuah analog-digital (A/D) converter. Selanjutnya sinyal digital keluaran A/D converter ditransmisikan kepada memori citra digital. Rangkaian perangkat keras yang dilengkapi dengan A/D converter dan memori citra ini disebut penangkap bingkai citra (*image frame grabber*).

Sinyal analog yang diteruskan oleh kamera TV dan diterima A/D converter untuk diubah menjadi sinyal digital ini mempunyai format tertentu sama dengan

format video dan citra yang dipancarkan stasiun-stasiun TV. Ada beberapa format yang umum digunakan yaitu *National Television System Committee (NTSC)* yang digunakan oleh Amerika Utara dan Jepang, *Sequential Couler Avec Memoire (SECAM)* yang digunakan di Perancis, Eropa Timur, Rusia dan Timur Tengah dan *Phase Alternating Lines (PAL)* yang digunakan di seluruh Eropa Barat termasuk Jerman dan Inggris, Asia dan Afrika. Perangkat alat ini disebut alat digitasi citra (*image digitizer*) dan prosesnya disebut digitasi citra (*image digitizing*).

Perangkat lainnya adalah unit display untuk memonitor citra yang ditangkap oleh kamera, menampilkan citra yang sudah diproses, dan sebagainya. Kualitas citra yang dihasilkan dan ditampilkan tidak hanya tergantung pada monitor, tetapi juga pada jenis dan kemampuan *image frame grabber* yang digunakan, serta perangkat lunak yang menyertainya. Selain itu diperlukan peralatan tambahan yaitu lampu-lampu khusus untuk mensuplai cahaya yang cukup dan diatur sedemikian rupa sehingga iluminasi merata pada seluruh obyek yang akan ditangkap citranya.

Pangaribuan (1998), mengembangkan algoritma pengolahan citra untuk menentukan luas bercak pada kulit buah mangga indramayu. Hasil dari penelitian ini dapat diketahui bahwa rata-rata persentase bercak pada mangga Indramayu sebesar 5.8%. Selain itu disimpulkan berat mangga semakin meningkat dengan bertambahnya umur petik buah mangga. Semakin lama umur petik mangga Indramayu maka tingkat kekerasannya akan semakin menurun yang disebabkan oleh degradasi hemiselulosa dan pectin pada proses pematangan buah sampai buah menjadi lunak. Kadar gula meningkat dengan semakin meningkatnya umur petik buah mangga.

Suhandy (2001), melakukan penelitian untuk menduga kematangan buah manggis segar dengan menggunakan algoritma pengolahan citra. Didapatkan bahwa pendugaan kemasakan dapat dilakukan secara tidak langsung oleh sistem

pengolahan citra dengan menggunakan indeks warna biru buah manggis dengan koefisien determinasi sebesar 0,8159.

Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik mutu fisik buah belimbing yang digunakan dalam sortasi dan pemutuan.
2. Menyusun algoritma pengolahan citra untuk melakukan analisis terhadap karakteristik mutu buah belimbing.
3. Membangun program komputer untuk melakukan penggolongan buah belimbing ke dalam kelas mutu yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah buah belimbing manis varietas Demak Kunir dengan tiga macam sortasi, yaitu sortasi mutu yang berupa buah belimbing standar mutu A dan buah belimbing standar mutu B, dan buah belimbing standar mutu C. Sampel yang diambil untuk penelitian ini untuk tiap-tiap kriteria sebanyak 10 sampel. Buah belimbing diperoleh dari petani di kabupaten Blitar, Jawa Timur. Cara pemilihan sampel dengan menggunakan *purposive random sampling*, yaitu pemilihan sampel buah belimbing secara acak dengan batas kriteria tertentu yaitu pemilihan buah belimbing menurut berat buah belimbing, panjang buah belimbing, dan kematangan buah yang sesuai dengan standar tiap-tiap mutu.

Peralatan yang digunakan untuk pengolahan citra adalah kamera digital, seperangkat komputer, lampu TL 25 Watt, penggaris, refraktometer (untuk mengukur kadar gula dalam buah belimbing), dan sebagai perangkat lunaknya adalah program yang dibangun dan beroperasi pada lingkungan Windows.

Pengambilan Citra Buah Belimbing

Pengambilan citra dilakukan pada kondisi sebagai berikut :

1. Buah belimbing diletakkan di atas kain hitam sebagai latar belakang dan di bawah kamera digital dengan ketinggian tertentu.

2. Citra buah belimbing direkam.
3. Citra buah belimbing yang telah direkam, disimpan dalam sebuah arsip (file) dengan extension BMP.

Pengukuran Luas Area Belimbing

Pengukuran luas area dilakukan dengan cara citra warna buah belimbing diubah menjadi citra biner dengan tujuan untuk membedakan obyek buah belimbing dengan latar belakang. Obyek berwarna putih dan latar belakang berwarna hitam. Luas area dihitung dengan cara menghitung jumlah pixel warna putih (objek). Dari pengukuran luas area buah belimbing ini didapat sebaran nilai area minimum dan maksimum untuk tiap mutu buah belimbing. Kemudian dibuat sebaran luas area buah belimbing untuk masing-masing standar mutu. Dari pengukuran luas area buah belimbing (pixel) dibandingkan dengan panjang buah dan lebar buah belimbing untuk tiap mutu, sehingga dihasilkan :

1. Hubungan luas area (pixel) dengan panjang buah (pixel) untuk tiap mutu
2. Hubungan luas area (pixel) dengan lebar buah (pixel) untuk tiap mutu

Pengukuran RGB rata-rata dan Indeks RGB rata-rata buah belimbing

Pengukuran RGB rata-rata dilakukan dengan cara citra warna buah belimbing diambil data nilai RGB-nya untuk tiap-tiap pixel, dari pengambilan data dapat ditentukan nilai R (*red*) sebagai pembagian antara jumlah total nilai R dengan jumlah total pixel (luas area objek), nilai G (*green*) sebagai pembagian antara jumlah total nilai G dengan jumlah total pixel (luas area objek), dan nilai B (*blue*) sebagai pembagian antara jumlah total nilai B dengan jumlah total pixel (luas area objek). Pengukuran Indeks RGB dilakukan dengan cara citra warna buah belimbing diambil data nilai RGB-nya untuk tiap-tiap pixel, kemudian nilai indeks R merupakan pembagian antara nilai R dengan penjumlahan nilai RGB-nya. Penentuan indeks R rata-rata adalah dengan membagi jumlah total indeks R dengan luas area objek, indeks G rata-rata adalah dengan membagi jumlah total indeks G dengan luas

area objek, dan indeks B rata-rata adalah dengan membagi jumlah total indeks B dengan luas area objek. Dari pengukuran nilai RGB rata-rata dan indeks RGB rata-rata buah belimbing ini didapat sebaran nilai RGB rata-rata dan indeks RGB rata-rata minimum dan maksimum untuk tiap mutu buah belimbing. Kemudian dibuat sebaran nilai RGB rata-rata dan indeks RGB rata-rata buah belimbing untuk masing-masing standar mutu. Dari pengukuran nilai RGB rata-rata dan indeks RGB rata-rata buah belimbing dibandingkan dengan kandungan gula (briks) buah belimbing untuk tiap mutu, sehingga dihasilkan : Hubungan nilai RGB rata-rata serta indeks warna RGB rata-rata dengan kadar gula (briks) untuk tiap mutu buah belimbing.

Pengukuran Panjang Buah Belimbing dan Lebar Buah Belimbing

Pengukuran lebar dan panjang buah belimbing dilakukan untuk mengetahui mutu buah belimbing tersebut agar dapat dibedakan berdasarkan kriteria mutu. Pengukuran lebar dan panjang buah belimbing dilakukan karena salah satu parameter mutu buah belimbing adalah lebar dan panjang buah belimbing dengan nilai yang sesuai dengan syarat tiap-tiap varietasnya. Untuk menentukan lebar dan panjang buah belimbing ini digunakan metode jarak *Euclidian*. Dimana jarak yang terjauh diartikan sebagai panjang. Jarak diperoleh dengan mengalikan jumlah pixel dengan ukuran pixel. Rumus yang digunakan untuk mengukur panjang adalah:

$$d([i_1, j_1], [i_2, j_2]) = \sqrt{(i_1 - i_2)^2 + (j_1 - j_2)^2} \dots (1)$$

Dari pengukuran panjang ini didapatkan hasil sebaran nilai panjang dan nilai lebar buah belimbing minimum dan maksimum berdasarkan tiap-tiap mutu. Pengukuran tersebut dihitung dengan satuan pixel. Dengan diketahuinya lebar buah belimbing tiap mutu dan panjang buah belimbing tiap mutu, maka dapat dijadikan parameter untuk penentuan mutu pada proses sortasi. Dari pengukuran nilai lebar

dan panjang buah belimbing (pixel) dibandingkan dengan pengukuran manual lebar dan panjang (cm) buah belimbing untuk tiap mutu, dapat dihasilkan : 1) Hubungan panjang belimbing (cm) dengan pixel untuk tiap mutu; 2) Hubungan lebar belimbing (cm) dengan pixel untuk tiap mutu

Pengolahan Data

Data yang diperoleh adalah nilai RGB rata-rata, indeks RGB rata-rata, luas area, panjang buah, dan lebar buah. Dari data-data panjang dan lebar buah dicari korelasi antara panjang buah belimbing dalam citra dengan panjang buah belimbing sesungguhnya, serta korelasi antara lebar buah belimbing dalam citra dengan lebar buah belimbing sesungguhnya.

Untuk mengetahui hubungan antara hasil sortasi dengan manual (visual) dan dengan menggunakan pengolahan citra digunakan analisa korelasi regresi linier yang dinyatakan dengan persamaan regresi. Dari analisa korelasi regresi ini dicari koefisien korelasi.

Validasi Program

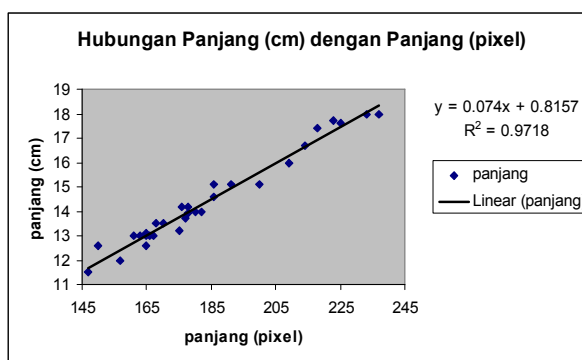
Pembuatan program komputer untuk validasi data citra dengan menggunakan buah belimbing yang berbeda, untuk melihat kemampuan program dalam mengelompokkan mutu buah belimbing yang diambil dari tempat lain.

Dari pengolahan data diatas didapat nilai dasar sebagai patokan nilai minimum dan maksimum parameter buah belimbing berdasarkan karakteristik tiap-tiap mutu, dalam hal ini parameter-parameter tersebut adalah panjang buah belimbing, lebar buah belimbing, luas area buah belimbing, nilai RGB rata-rata, dan indeks RGB rata-rata untuk tiap-tiap varietas. Dengan adanya parameter-parameter tersebut diharapkan program dapat melakukan sortasi buah belimbing secara obyektif dan tepat terhadap produk buah belimbing yang memenuhi standar mutu pasar. Membandingkan antara hasil pengolahan citra menggunakan komputer dengan hasil sortasi mutu yang ada di pasar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

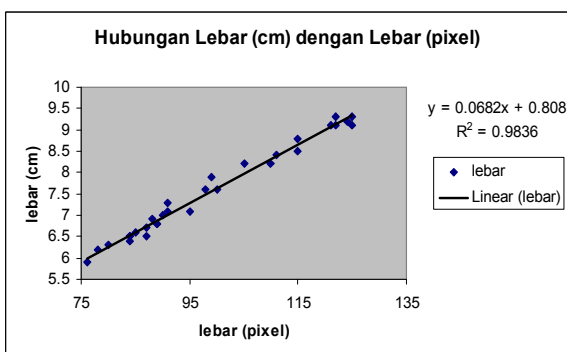
Hubungan Pengukuran Langsung dengan Pengolahan Citra

Hubungan nilai panjang buah belimbing yang diukur secara langsung dengan teknik pengolahan citra ditampilkan pada Gambar 1. Koefisien determinasi (R^2) = 0.97, Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa model linier yang dikembangkan untuk menjelaskan bentuk hubungan kedua peubah cukup handal, yang berarti model yang dibuat mampu menjelaskan perilaku peubah Y (panjang buah belimbing yang sebenarnya) dengan baik. Semakin besar nilai R^2 berarti model semakin mampu menerangkan perilaku peubah Y, dimana kisaran nilai R^2 mulai dari 0% sampai 100%.



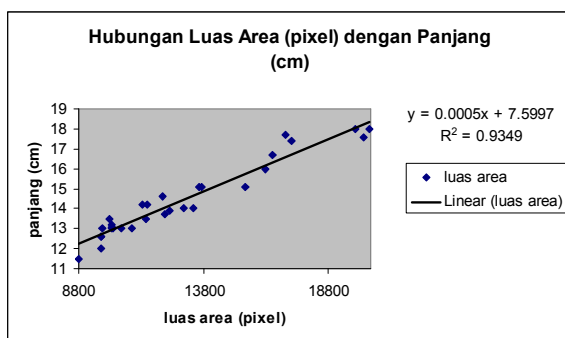
Gambar 1. Hubungan antara pengukuran panjang secara langsung dan pengukuran secara citra.

Hubungan nilai lebar buah belimbing yang diukur secara langsung dengan teknik pengolahan citra ditampilkan pada Gambar 2. Hubungan tersebut mempunyai nilai koefisien determinasi 0.98.



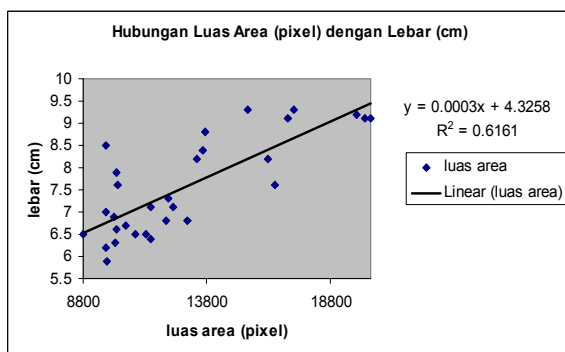
Gambar 2. Hubungan antara pengukuran lebar secara langsung dan pengukuran secara citra.

Hubungan nilai luas area buah belimbing (pixel) yang diukur secara teknik pengolahan citra dibandingkan dengan panjang buah belimbing yang diukur secara langsung memiliki nilai koefisien determinasi (R^2)=0.93 (Gambar 3). Dengan tingginya korelasi antara luas area dengan panjang sesungguhnya, maka parameter luas area ini dapat dijadikan parameter mutu untuk penentuan sortasi mutu buah belimbing.



Gambar 3. Hubungan antara pengukuran panjang secara langsung dan luas area secara teknik pengolahan citra.

Hubungan nilai luas area buah belimbing (pixel) yang diukur secara teknik pengolahan citra dibandingkan dengan lebar buah belimbing yang diukur secara langsung mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2)=0.62 (Gambar 4). Dengan rendahnya korelasi antara luas area dengan lebar sesungguhnya, maka parameter luas area tidak dapat dijadikan parameter mutu untuk penentuan mutu buah belimbing.

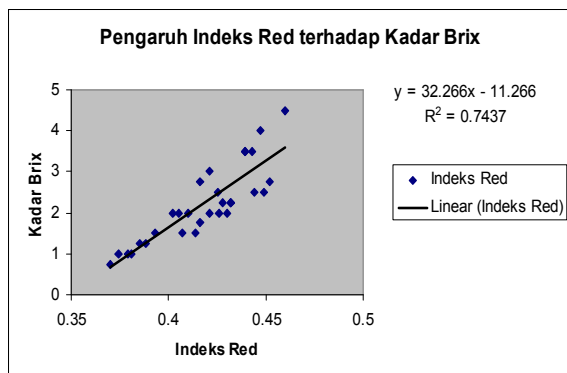


Gambar 4. Hubungan pengukuran lebar secara langsung dan luas area secara teknik pengolahan citra.

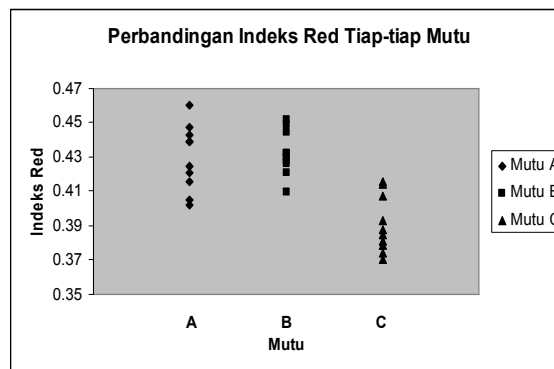
Pengaruh nilai indeks red yang diukur secara teknik pengolahan citra dibanding dengan kadar brix yang diukur dengan refraktometer ditampilkan pada Gambar 5. Hubungan tersebut dalam model linier mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.74. Hubungan yang ditunjukkan antara indeks red dan kadar brix adalah berbanding lurus, dimana semakin tinggi nilai indeks red, maka semakin tinggi pula kadar brix dan semakin tinggi parameter mutunya. Dengan cukup tingginya korelasi antara indeks red dengan kadar brix, maka parameter indeks red ini dapat dijadikan parameter mutu untuk penentuan sortasi mutu buah belimbing.

Pengaruh nilai indeks green yang diukur secara teknik pengolahan citra dibandingkan dengan kadar brix yang diukur dengan refraktometer ditampilkan pada Gambar 6. Hubungan tersebut dalam model linier mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.34. Hubungan yang ditunjukkan antara indeks green dan kadar brix adalah berbanding terbalik, dimana semakin tinggi nilai indeks green, maka semakin rendah kadar brix dan semakin rendah parameter mutunya. Dengan rendahnya korelasi antara indeks green dengan kadar brix, maka parameter indeks green ini tidak dapat dijadikan parameter mutu untuk penentuan sortasi mutu buah belimbing.

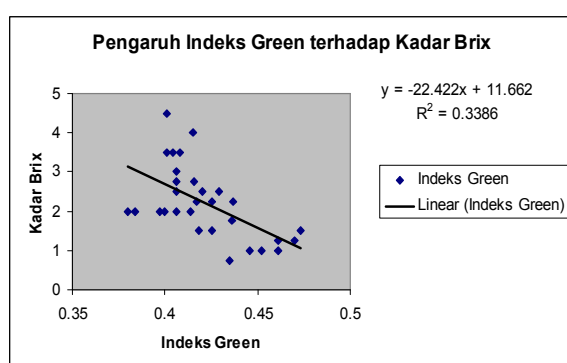
Pengaruh nilai indeks blue yang diukur secara teknik pengolahan citra dibandingkan dengan kadar brix yang diukur dengan refraktometer ditampilkan pada Gambar 7. Hubungan tersebut dalam model linier mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.10. Hubungan yang ditunjukkan antara indeks blue dan kadar brix adalah berbanding terbalik, dimana semakin tinggi nilai indeks blue, maka semakin rendah kadar brix dan semakin rendah parameter mutunya. Dengan cukup rendahnya korelasi antara indeks blue dengan kadar brix, maka parameter indeks blue ini tidak dapat dijadikan parameter mutu untuk penentuan sortasi mutu buah belimbing.



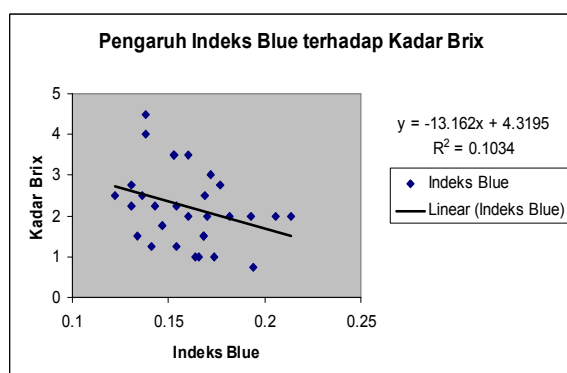
Gambar 5. Pengaruh Indeks Red terhadap Kadar Brix buah belimbing.



Gambar 8. Perbandingan Indeks Red untuk Tiap-tiap Mutu.



Gambar 6. Pengaruh antara Indeks Green dan kadar brix buah belimbing.



Gambar 7. Pengaruh antara Indeks Blue dan kadar brix buah belimbing.

Parameter Mutu Buah Belimbing Berdasarkan Indeks Red

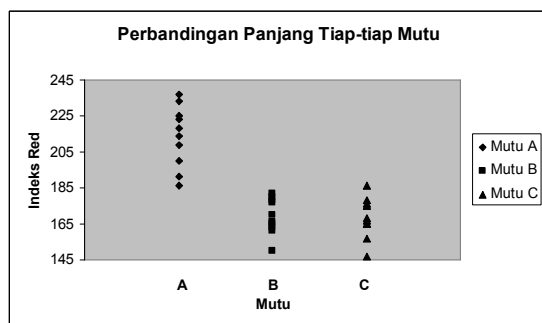
Perbandingan indeks red untuk masing-masing mutu (mutu A, mutu B, dan mutu C) dapat dilihat pada gambar 8.

Dari gambar 8 tampak kurang terlihat perbedaan yang signifikan antara buah belimbing mutu A dan B karena untuk parameter indeks red ini kecenderungan buah belimbing mutu B memiliki karakteristik indeks red berada dalam kisaran range mutu A. Karakteristik indeks red buah belimbing **mutu A** memiliki kisaran nilai **0.402 – 0.46**, sedangkan untuk karakteristik indeks red buah belimbing **mutu B** berada pada kisaran nilai **0.41–0.452**. Dalam hal ini parameter mutu indeks red tidak dapat digunakan untuk membedakan antara belimbing mutu A dengan belimbing mutu B. Namun bila dibandingkan antara karakteristik indeks red buah belimbing mutu A dan B dengan buah belimbing mutu C, terdapat kisaran range nilai indeks red yang cukup signifikan. Karakteristik indeks red buah belimbing **mutu C** memiliki kisaran nilai antara **0.37–0.416**. Dalam hal ini parameter karakteristik indeks red dapat digunakan untuk membedakan antara buah belimbing mutu C dengan buah belimbing mutu A/B. Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa parameter mutu berbanding lurus dengan indeks red, dimana semakin tinggi indeks red buah belimbing maka akan semakin bagus mutunya. Dengan kata lain bila kita lihat grafik pengaruh indeks red terhadap kadar brix buah belimbing (gambar 5) maka semakin tinggi indeks red buah belimbing maka semakin tinggi kadar brix. Indeks red memiliki pengaruh terhadap kadar brix buah belimbing sebesar 74%. Bila dilihat dari data, dimana

buah belimbing mutu B masuk dalam kisaran mutu A, dikarenakan untuk sampel buah belimbing mutu B yang diambil memiliki nilai kematangan secara penampakan fisik yang menyerupai mutu A. Namun dari segi ukuran tidak memenuhi kategori mutu A, sehingga digolongkan dalam mutu B. Berdasarkan indeks red, untuk mutu A dan B memiliki kisaran nilai antara **0.402 – 0.46** dan untuk mutu C memiliki kisaran nilai **0.37–0.401**. Untuk nilai indeks red diatas 0.46 dinilai tidak diterima oleh konsumen. Untuk nilai indeks red kurang dari 0.37 dinilai tidak memiliki nilai mutu karena masih belum terlalu matang, karena indeks red ini berpengaruh terhadap kadar brix atau dengan kata lain berpengaruh terhadap tingkat kematangan buah.

Parameter Mutu Buah Belimbing Berdasar Panjang Buah (pixel)

Perbandingan panjang buah untuk tiap-tiap mutu dapat dilihat pada gambar 9.



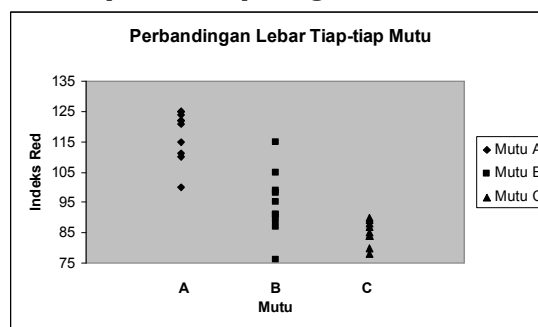
Gambar 9. Perbandingan Panjang Buah untuk Tiap-tiap Mutu.

Dari gambar 9 tampak kurang terlihat perbedaan yang signifikan antara buah belimbing mutu B dan C karena untuk parameter panjang buah ini kecenderungan buah belimbing mutu B memiliki karakteristik panjang buah berada dalam kisaran range mutu C. Karakteristik panjang buah belimbing **mutu B** memiliki kisaran nilai **150 – 182 pixel**, sedangkan untuk karakteristik panjang buah belimbing **mutu C** berada pada kisaran nilai **147–186 pixel**. Dalam hal ini parameter mutu panjang buah tidak dapat digunakan untuk membedakan antara belimbing mutu B dengan belimbing mutu C. Namun bila

dibandingkan antara karakteristik panjang buah belimbing mutu B dan C dengan buah belimbing mutu A, terdapat kisaran range nilai panjang buah yang cukup signifikan. Karakteristik panjang buah belimbing **mutu A** memiliki kisaran nilai antara **186–237 pixel**. Dalam hal ini parameter karakteristik panjang buah dapat digunakan untuk membedakan antara buah belimbing mutu A dengan buah belimbing mutu B/C. Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa parameter mutu berbanding lurus dengan panjang buah, dimana semakin tinggi panjang buah belimbing maka akan semakin bagus mutunya. Berdasarkan panjang buah, untuk mutu A memiliki kisaran nilai antara **186–237 pixel** dan untuk mutu B dan C memiliki kisaran nilai **147–185 pixel**. Untuk nilai panjang buah diatas 237 pixel dinilai tidak diterima oleh konsumen. Untuk nilai panjang buah kurang dari 147 pixel dinilai tidak memiliki nilai mutu karena secara kategori ukuran tidak cukup besar.

Parameter Mutu Buah Belimbing Berdasarkan Lebar Buah (pixel)

Perbandingan lebar buah pada tiap-tiap mutu dapat dilihat pada gambar 10.



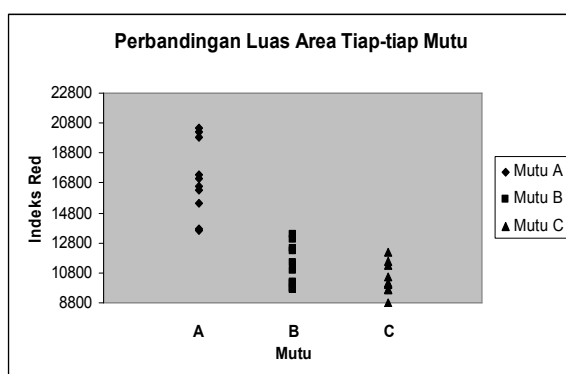
Gambar 10. Perbandingan Lebar Buah untuk tiap-tiap Mutu.

Dari gambar 10 tampak kurang terlihat perbedaan yang signifikan antara buah belimbing mutu B dan C ataupun antara buah belimbing mutu B dengan A, karena untuk parameter lebar buah ini sebagian data buah belimbing mutu B memiliki karakteristik lebar buah berada dalam kisaran range mutu C dan sebagian lagi berada pada kisaran mutu A. Karakteristik lebar buah belimbing **mutu A** memiliki kisaran nilai **100 – 125 pixel**, sedangkan

untuk karakteristik panjang buah belimbing **mutu B** berada pada kisaran nilai **76–115 pixel**. Karakteristik panjang buah belimbing **mutu C** memiliki kisaran nilai antara **78–90 pixel**. Dalam hal ini parameter mutu lebar buah tidak dapat digunakan untuk membedakan antara belimbing mutu B dengan belimbing mutu C ataupun untuk membedakan belimbing mutu B dengan belimbing mutu A. Namun bila dibandingkan antara karakteristik lebar buah belimbing mutu A dengan buah belimbing mutu C, terdapat kisaran range nilai lebar buah yang sangat signifikan. Dalam hal ini parameter karakteristik lebar buah dapat digunakan untuk membedakan antara buah belimbing mutu A dengan buah belimbing mutu C. Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa parameter mutu berbanding lurus dengan lebar buah, dimana semakin tinggi lebar buah belimbing maka akan semakin bagus mutunya. Berdasarkan lebar buah, untuk mutu A memiliki kisaran nilai antara **100 – 125 pixel** dan untuk mutu B dan C memiliki kisaran nilai **76–90 pixel**. Untuk nilai lebar buah diatas 125 pixel dinilai tidak diterima oleh konsumen. Untuk nilai lebar buah kurang dari 76 pixel dinilai tidak memiliki nilai mutu karena secara kategori ukuran tidak cukup besar.

Parameter Mutu Buah Belimbing Berdasarkan Luas Area (pixel)

Perbandingan luas area untuk tiap-tiap mutu dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Luas Area untuk Tiap-tiap Mutu.

Dari gambar 11 tampak kurang terlihat perbedaan yang signifikan antara buah belimbing mutu B dan C karena untuk parameter luas area buah ini sebagian besar buah belimbing mutu B memiliki karakteristik luas area buah berada dalam kisaran range mutu C. Karakteristik luas area buah belimbing **mutu B** memiliki kisaran nilai **9688–13415 pixel**, sedangkan untuk karakteristik panjang buah belimbing **mutu C** berada pada kisaran nilai **8805–12144 pixel**. Dalam hal ini parameter mutu luas area buah tidak dapat digunakan untuk membedakan antara belimbing mutu B dengan belimbing mutu C. Namun bila dibandingkan antara karakteristik luas area buah belimbing mutu B dan C dengan buah belimbing mutu A, terdapat kisaran range nilai luas area buah yang sangat signifikan. Karakteristik panjang buah belimbing **mutu A** memiliki kisaran nilai antara **13627–20449 pixel**. Dalam hal ini parameter karakteristik luas area buah dapat digunakan untuk membedakan antara buah belimbing mutu A dengan buah belimbing mutu B/C. Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa parameter mutu berbanding lurus dengan luas area buah, dimana semakin tinggi luas area buah belimbing maka akan semakin bagus mutunya. Berdasarkan luas area buah, untuk mutu A memiliki kisaran nilai antara **13627–20449 pixel** dan untuk mutu B dan C memiliki kisaran nilai **8805–13415 pixel**. Untuk nilai luas area buah diatas 20449 dinilai tidak diterima oleh konsumen. Untuk nilai luas area buah kurang dari 8805 pixel dinilai tidak memiliki nilai mutu karena secara kategori ukuran tidak cukup besar.

Pendugaan Kelas Mutu

Pendugaan kelas mutu yang dikembangkan didasarkan pada model hubungan linier yang telah dibangun. Pendugaan kelas mutu terbagi dalam tiga golongan, yaitu buah belimbing yang masuk golongan mutu A, mutu B dan mutu C. Pendugaan kelas mutu buah belimbing dilakukan dengan 4 parameter mutu, yaitu: 1) indeks red, 2) panjang buah (pixel), 3) lebar buah (pixel), dan 4) luas area (pixel).

Pendugaan kelas mutu buah belimbing dilakukan dengan 2 cara, yaitu: 1) tiap-tiap parameter mutu, 2) gabungan parameter mutu. Nilai-nilai parameter setiap kelas mutu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter mutu buah belimbing dan nilai batasnya

Mutu	Parameter Mutu			
	IR	PB (pixel)	LB (pixel)	LA (pixel)
Mutu A	0.402 – 0.46	186–237	100 – 125	13627–20449
Mutu B	0.402 – 0.46	147–185	76–90	8805–13415
Mutu C	0.37–0.401	147–185	76–90	8805–13415

Ket.: IR : Indeks Red

LB : Lebar Buah

PB : Panjang Buah

LA : Luas Area Buah

Pendugaan Mutu Berdasarkan Indeks Red

Buah yang masuk golongan mutu A/B adalah buah yang memiliki kisaran Indeks Red antara **0.402 – 0.46**, sedangkan buah yang masuk mutu C adalah buah yang memiliki kisaran Indeks Red **0.37–0.401**.

Tabel 2. Hasil Validasi Pemutuan Indeks Red Menggunakan Teknik Pengolahan Citra

Program / Manual	A/B	C	jumlah
A/B	20	0	20
C	0	10	10
Jumlah	20	10	30

Dari hasil pemutuan berdasarkan indeks red, 20 buah belimbing yang diduga memiliki mutu A/B, tidak terdapat buah (0%) yang menyimpang dari kelasnya, atau dengan kata lain 100% buah yang diujikan sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dengan parameter indeks red dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu C, seluruhnya (100%) sesuai dengan kelas mutu sebenarnya dan tidak ada (0%) yang menyimpang.

Pendugaan Mutu Berdasarkan Panjang Buah

Buah yang masuk golongan mutu A adalah buah yang memiliki kisaran panjang buah antara **186–237** pixel, sedangkan buah yang masuk kategori mutu B/C adalah buah yang memiliki kisaran panjang buah dalam kisaran **147–185** pixel.

Tabel 3. Hasil Validasi Pemutuan Panjang Buah Belimbing Menggunakan Teknik Pengolahan Citra

Program / Manual	A	B/C	Jumlah
A	10	0	10
B/C	4	16	20
Jumlah	14	16	30

Dari hasil program pemutuan, dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki mutu A, tidak terdapat buah atau 0% yang menyimpang dari kelasnya, atau dengan kata lain 100% buah yang diujikan sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dengan parameter panjang buah dapat dilihat bahwa dari 20 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu B/C, terdapat 4 tangkai atau sebesar 20% yang menyimpang dari kelas mutu sebenarnya, sedangkan sisanya 16 tangkai atau sebesar 80% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya.

Pendugaan Mutu Berdasarkan Lebar Buah

Buah yang masuk golongan mutu A adalah buah yang memiliki kisaran lebar buah antara **100 – 125** pixel, sedangkan buah yang masuk kategori mutu B/C adalah buah yang memiliki kisaran lebar buah dalam kisaran **76–90** pixel.

Tabel 4. Hasil Validasi Pemutuan Lebar Buah Menggunakan Teknik Pengolahan Citra

Program / Manual	A	B/C	Jumlah
A	10	0	10
B/C	4	16	20
Jumlah	14	16	30

Dari hasil program pemutuan, dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki mutu A, tidak terdapat buah atau 0% yang menyimpang dari kelasnya, atau dengan kata lain 100% buah yang diujikan sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dengan parameter lebar buah dapat dilihat bahwa dari 20 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu B/C, terdapat 4 tangkai atau sebesar 20% yang menyimpang dari kelas mutu sebenarnya, sedangkan sisanya 16 tangkai atau sebesar 80% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya.

Pendugaan Mutu Berdasarkan Luas Area

Buah yang masuk golongan mutu A adalah buah yang memiliki kisaran luas area antara **13627–20449** pixel, sedangkan buah yang masuk kategori mutu B/C adalah buah yang memiliki kisaran luas area dalam kisaran **8805–13415** pixel.

Tabel 5. Hasil Validasi Pemutuan Luas Area Menggunakan Teknik Pengolahan Citra

Program/ Manual	A	B/C	jumlah
A	10	0	10
B/C	0	20	20
Jumlah	10	20	30

Dari hasil program pemutuan, dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki mutu A, tidak terdapat buah atau sebesar 0% yang menyimpang dari kelasnya, sedangkan 10 buah atau sebesar 100% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dengan parameter luas area dapat dilihat bahwa dari 20 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu B/C, terdapat 0 buah atau sebesar 0% yang menyimpang dari kelas mutu sebenarnya, sedangkan 20 buah atau sebesar 100% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya.

Pendugaan Kelas Mutu dengan Gabungan Parameter Mutu

Buah belimbing, pada gabungan parameter mutu yaitu: parameter indeks red, parameter panjang buah, parameter lebar buah, dan parameter luas area.

Tabel 6. Hasil Validasi Buah Belimbing dengan Gabungan Parameter Mutu

Program/ Manual	A	B	C	Jumlah
A	10 (100%)	0	0	10
B	0	10 (100%)	0	10
C	0	0	10 (100%)	10
Jumlah	10	10	10	30

Dari hasil program pemutuan, dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki mutu A, tidak terdapat buah yang menyimpang dari kelasnya, sedangkan 10 buah atau sebesar 100% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dengan gabungan parameter mutu dapat dilihat bahwa dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu B, terdapat 0% buah yang menyimpang dari kelas mutu sebenarnya, sedangkan 10 buah atau sebesar 100% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Dan dari 10 buah belimbing yang diduga memiliki kelas mutu C, terdapat 0% buah yang menyimpang dari kelas mutu sebenarnya, sedangkan 10 buah atau sebesar 100% sesuai dengan kelas mutu sebenarnya. Gabungan parameter mutu ini memiliki akurasi pemutuan yang cukup akurat dengan nilai kesalahan yang kecil. Hal ini karena tiap-tiap parameter mutu dapat saling melengkapi, dimana buah belimbing dengan kategori mutu A memenuhi persyaratan semua parameter mutu terbaik (indeks red, panjang buah, lebar buah, dan luas area buah), bila ada salah satu parameter mutu terbaik tidak terpenuhi, maka buah tersebut masuk mutu B. Sedangkan bila tidak ada satupun parameter mutu yang terpenuhi, maka buah belimbing tersebut dikategorikan mutu C.

Dengan program validasi untuk mengukur ketepatan klasifikasi mutu buah belimbing yang berdasarkan hasil penyusunan algoritma image processing, terlihat bahwa hasil validasi telah dapat mengklasifikasi buah belimbing mutu A, B, dan C dengan tepat 100%.

KESIMPULAN

Pengolahan citra mempunyai korelasi (R^2) yang kuat terhadap panjang buah, lebar buah, dan luas area buah dengan panjang buah masing-masing yaitu 0.97, 0.98, dan 0.93 tetapi kurang kuat terhadap luas area buah dengan lebar buah yaitu 0.62. Untuk parameter indeks red mempunyai pengaruh cukup besar terhadap kadar brix dengan (R^2)=0.74, namun kurang berpengaruh untuk parameter indeks green dan blue masing-masing 0.34 dan 0.10.

Dari hasil validasi, sortasi dengan pengolahan citra untuk buah belimbing yaitu menggunakan parameter indeks red, panjang buah, lebar buah, dan luas area buah. Dan dengan resolusi citra 256x256 pixel, maka untuk buah belimbing mutu A, kriteria indeks red berkisar antara 0.402-0.46, panjang buah 186-237 pixel, lebar buah 100-125 pixel, dan luas area buah 13627-20449 pixel. Untuk mutu B, kriteria indeks red antara 0.402-0.46, panjang buah 147-185 pixel, lebar buah 76-90 pixel, dan luas area buah 8805-13415 pixel. Dan untuk mutu C kriteria indeks red antara 0.370-0.401, panjang buah 147-185 pixel, lebar buah 76-90 pixel, dan luas area 8805-13415 pixel.

Program validasi yang disusun dalam menunjukkan bahwa ketepatan klasifikasi mutu buah belimbing yang berdasar hasil penyusunan algoritma image processing, telah dapat mengklasifikasi buah belimbing mutu A, B, dan C dengan tepat 100%.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, U, A. Abrar and H. K. Purwadaria. 2001. Determination of Bruise Development Rate on Salak Fruit Using Image Processing. Proceedings of 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural

Applications; Bali, Indonesia, August 22-24.

Li, Z, L. Zhao and N. Y. Soma. 2000. Fractal Color Image Compression. Proceedings of XIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing; Gramado (RS), Brazil, October 17-20.

Mansfield, R. 1997. Visual Basic 5: The Comprehensive Guide. Ventana Communication Group. New York, United States of America.

Mascaranhas N.D.A. 2000. An Estimation Approach to 3-D Image Interpolation. Proceedings of XIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing; Gramado (RS), Brazil, October 17-20,.

Mascaranhas N.D.A., Banon, G.J.F, Candeias, A.L.B., 1996. Multispectral image data fusion under a bayesian approach, International J. Remote Sensing, 17(8),1457-1471.

Mayer H. 2000. Image Based Texture Approach for Real Realistic Image Synthesis. Proceedings of XIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing; Gramado (RS), Brazil, October 17-20.

Pangaribuan, H. 1998. Pengembangan Algoritma Pengolahan Citra untuk Menentukan Luas Bercak pada Kulit Buah Mangga Indramayu. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor.

Petroutsos, E. 1998. Visual Basic 6: Mastering. SYBEX Inc. California.

Suhandy, D. 2001. Pengembangan Algoritma Image Processing untuk Menduga Kemasakan Buah Manggis Segar. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor, Indonesia.

Torreao J. 2000. Shape from Shading and Intensity Gradient. Proceedings of XIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing; Gramado (RS), Brazil, October 17-20.