

Aplikasi Teknik Pengolahan Citra dalam Analisis Non-Destruktif Produk Pangan

Oleh :
Usman Ahmad

RINGKASAN

Aplikasi ilmu teknik dalam bidang pertanian sudah dilakukan sejak lama. Perancangan terhadap lingkungan terkendali telah mengalami evolusi yang signifikan sejak tahun 1980. Sejak beberapa tahun terakhir bahkan kata “presisi” telah digunakan untuk menggambarkan penggunaan teknologi baru seperti komputer, elektronik, dan sensor. Beberapa contoh yang sudah muncul adalah precision farming, precision forestry, precision tillage, dan mungkin hanya masalah waktu saja bagi munculnya istilah precision fisheries and precision horticulture. Semua istilah di atas dapat dirangkum dalam satu pengertian yang berarti penerapan otomatisasi menggunakan teknologi komputer dan elektronika.

Penggunaan pengolahan citra (image processing) diharapkan dapat meningkatkan akurasi sortasi dan pemutuan produk hortikultura berdasarkan kualitas dan kemasakannya. Kondisi buah dapat didekati dari ukuran obyek dalam citra bila diambil dengan latar belakang yang kontras dengan warna buah yang diamati. Tingkat kemasakan buah bisa didekati dari pengamatan warna dan tekstur kulit buah karena biasanya buah seperti mangga mengalami perubahan warna dan tekstur kulitnya seiring dengan perubahan tingkat kemasakan atau kehadiran plek-plek getah pada kulit mangga sehingga mutunya dinilai rendah.

Meskipun masih berada pada tahap penelitian, pengolahan citra telah dikembangkan untuk klasifikasi beberapa produk hortikultura seperti jeruk, mangga, belimbing manis, paprika, tomat, wortel, dan lain sebagainya. Demikian halnya dengan produk pangan lainnya seperti biji-bijian, pengolahan citra dapat digunakan untuk tujuan yang sama. Beberapa contoh hasil penelitian menunjukkan bahwa klasifikasi mutu biji-bijian dengan menggunakan pengolahan citra memberikan hasil yang lebih akurat bila dibandingkan dengan hasil klasifikasi secara manual.

kata kunci: pengolahan citra, evaluasi mutu, hortikultura, biji-bijian

I. PENDAHULUAN

Aplikasi ilmu teknik dalam bidang pertanian sudah dilakukan sejak lama. Albright (1990) mengatakan bahwa proses perancangan terhadap lingkungan terkendali telah mengalami evolusi yang signifikan sejak tahun 1980. Sejak beberapa tahun terakhir bahkan kata “presisi” telah digunakan untuk menggambarkan penggunaan teknologi baru seperti komputer, elektronik, dan sensor, di bidang pertanian dan bidang lainnya. Beberapa contoh yang sudah muncul adalah precision farming, precision forestry, precision tillage,

dan mungkin hanya masalah waktu saja bagi munculnya istilah precision fisheries and precision horticulture. Semua istilah di atas dapat dirangkum dalam satu istilah yang lebih luas yaitu biosystems, yang berarti penerapan otomatisasi dengan menggunakan teknologi komputer dan elektronika (Grift, 2003).

Menurut Kondo dan Ting (1998), otomatisasi pekerjaan di bidang pertanian dapat dilakukan berdasarkan empat pertimbangan berikut: (a) banyak pekerjaan di bidang pertanian yang monoton dan tidak cocok untuk manusia, tetapi diperlukan

semacam kemampuan berpikir seperti manusia untuk mengerjakannya; (b) tenaga kerja di bidang pertanian untuk beberapa negara semakin kecil ketersediannya karena profesi petani kurang menarik bagi generasi muda; (c) masalah kekurangan tenaga kerja dapat menyebabkan mahalnya upah; dan (d) permintaan pasar akan kualitas produk pertanian yang tinggi merupakan faktor yang tak bisa diabaikan.

Untuk kasus Indonesia, alasan pertama, kedua dan ketiga mungkin kurang relevan, akan tetapi alasan keempat, khususnya untuk produk pertanian berorientasi ekspor, cukup relevan untuk dipertimbangkan. Oleh karena itu, penggunaan teknologi maju dalam penanganan pascapanen produk pertanian untuk komoditas ekspor perlu direncanakan dan dikembangkan sejak dini.

Banyak peneliti telah mencoba penggunaan teknologi Near Infra Red (NIR) untuk mengukur kandungan gula (sucrose) dan asam (malic acid) mangga. Hasilnya menunjukkan bahwa ada hubungan antara prediksi dari NIR (near infrared) dengan hasil pengukuran dengan High Precision Liquid Chromatography (HPLC) dalam hal kandungan gula dan asam pada buah mangga. Teknologi NIR dapat digunakan untuk pengukuran kandungan gula beberapa macam buah utuh seperti buah tomat (Suparlan dan Itoh, 2001), buah persik (Kawano, dkk., 1992), dan buah apel (Murakami, dkk., 1999). Teknologi ini telah dikembangkan oleh negara-negara maju untuk diaplikasikan dalam mesin-mesin sortasi maupun pengendalian mutu produk pertanian. Namun, di Indonesia teknologi ini belum banyak dimanfaatkan untuk keperluan sortasi dan pemutuan produk hortikultura karena perengkapannya relatif masih mahal.

Teknologi lainnya yang dapat diterapkan pada mesin sortasi dan pemutuan otomatis adalah pengolahan citra (image processing). Teknologi pengolahan citra adalah salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mendapatkan informasi dari citra dengan cara memodifikasi bagian dari citra yang diperlukan sehingga menghasilkan citra lain yang lebih informatif (Jain, dkk., 1995). Contoh sederhana adalah mengubah citra warna menjadi citra

biner agar ukuran obyek di dalam citra dapat diduga dengan cara menghitung luas bayangan obyek. Bila teknologi pengolahan citra ini diintegrasikan ke dalam satu unit alat di mana informasi yang didapat dari citra akan digunakan untuk menggerakkan bagian lain dari alat tersebut, maka disebut machine vision (Jain, dkk., 1995). Lebih mudahnya, hasil pengolahan citra adalah sama jenisnya yaitu citra juga, sedangkan hasil dari machine vision dapat berupa aksi atau representasi dari citra dalam bentuk lain. Teknologi ini lebih murah karena hanya membutuhkan kamera charge coupled device (CCD) dan komputer yang dilengkapi dengan image frame grabber, yang sudah banyak tersedia di pasaran.

Penggunaan teknologi pengolahan citra diharapkan dapat meningkatkan akurasi sortasi dan pemutuan produk hortikultura berdasarkan kualitas dan kemasakannya. Kondisi buah dapat didekati dari ukuran obyek dalam citra bila diambil dengan latar belakang yang kontras dengan warna buah yang diamati. Tingkat kemasakan buah bisa didekati dari perubahan warna dan tekstur kulit buah karena biasanya kulit buah seperti pada mangga mengalami perubahan warna dan tekstur seiring dengan perubahan tingkat kemasakan atau kehadiran plek-plek getah, sehingga mutunya dinilai rendah. Teknologi pengolahan citra telah dicoba untuk mendeteksi buah tomat mini dalam kerimbunan daun pada tanaman tomat mini dengan memanfaatkan perbedaan warna untuk digunakan pada robot pemanen tomat mini (Kondo, dkk., 1996). Contoh penerapan lainnya adalah pada robot pemanen jamur, untuk mencari dan menemukan lokasi jamur yang sudah saatnya dipanen (Reed, dkk., 1995) dan pada robot pemanen buah semangka untuk melakukan hal yang sama (Tokuda, dkk., 1995).

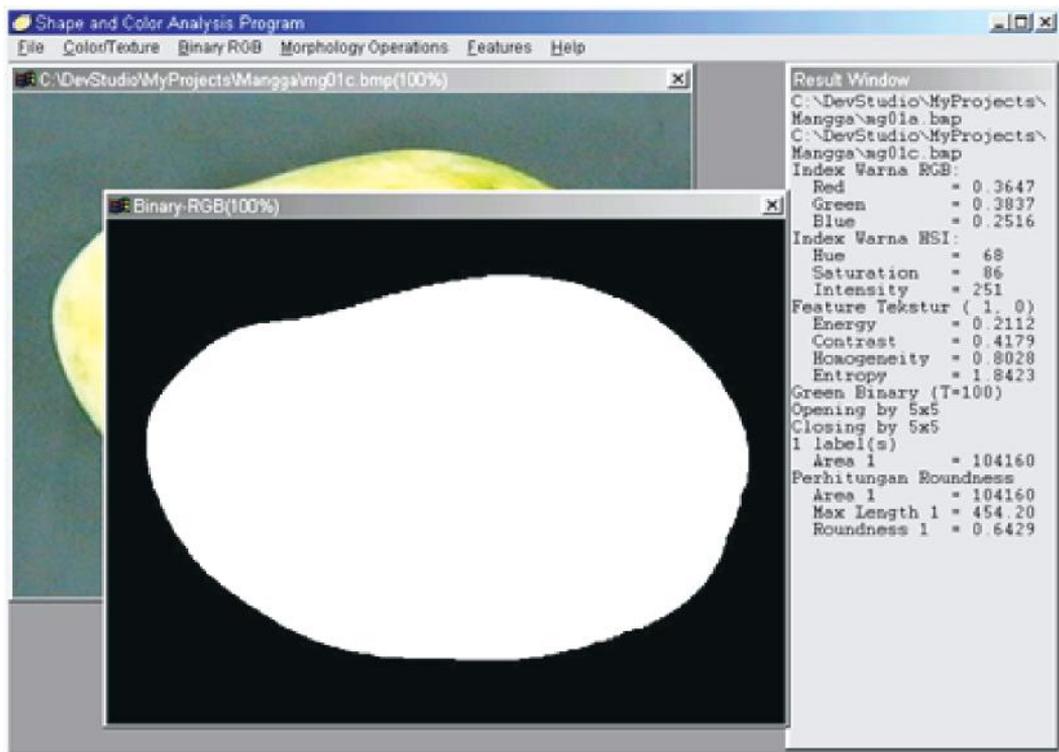
II. Aplikasi Pengolahan Citra untuk Evaluasi Mutu Produk Hortikultura

Ahmad, dkk. (2004) menggunakan pengolahan citra untuk melakukan evaluasi dan pemutuan buah mangga Arumanis dan Gedong. Sebanyak 200 buah mangga Arumanis, masing-masing sebanyak 50 buah

mewakili kelompok mutu A, B, C, dan D, serta 150 buah mangga Gedong, masing-masing 50 buah untuk kelompok mutu A, B, dan C, digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter mutu yang sesuai untuk melakukan klasifikasi mangga Arumanis adalah area dan komponen tekstur kontras, sedangkan untuk mangga Gedong parameter mutu yang sesuai adalah indeks warna merah. Program komputer pengolahan citra yang dikembangkan berhasil melakukan pemutuan dengan tingkat kesesuaian 69.4 persen untuk mangga Arumanis dan 74.3 persen untuk mangga Gedong, bila dibandingkan dengan hasil pemutuan manual. Gambar 1 memperlihatkan program pengolahan citra untuk melakukan analisis mutu mangga Arumanis.

150 buah, masing-masing 50 buah untuk kelas A, B, dan C. Buah belimbing direkam satu persatu menggunakan kamera CCD dan disimpan dalam bentuk citra warna dengan resolusi 400x300 piksel. Parameter mutu yang digunakan dalam pemutuan adalah kekerasan buah yang diwakili oleh nilai warna dalam pengolahan citra, dan ukuran buah yang diwakili oleh area, panjang dan diameter obyek dalam citra. Hasil pemutuan menggunakan pengolahan citra menghasilkan akurasi pemutuan sebesar 88 persen untuk mutu A, 70 persen untuk mutu B, dan 82 persen untuk mutu C menggunakan gabungan parameter mutu area, panjang, dan diameter buah hasil analisis citra.

Prasetyani (2008) menggunakan pengolahan citra untuk melakukan evaluasi



Gambar 1. Program pengolahan citra untuk menganalisis dan melakukan klasifikasi mutu mangga arumanis

Reinamora (2007) mengembangkan algoritma pengolahan citra untuk melakukan pemutuan terhadap belimbing manis varietas Malaya. Sampel yang digunakan sebanyak

terhadap parameter pemutuan buah stroberi. Buah stroberi dengan kelas mutu berbeda yaitu A, B, C, dan D masing-masing berjumlah 70 buah digunakan sebagai sampel untuk

mengetahui korelasi antara hasil pengukuran langsung dengan hasil penilaian oleh pengolahan citra, dan masing-masing 100 buah lainnya untuk setiap kelas digunakan untuk validasi sistem pemutuan yang dikembangkan. Dengan menggunakan kamera CCD, semua stroberi direkam satu persatu ke dalam citra warna dengan resolusi 348x184 piksel, kemudian dianalisis menggunakan program pengolahan citra yang dibuat. Dari hasil analisis citra untuk mengetahui korelasi yang dimaksud didapatkan koefisien determinasi masing-masing 0,92 untuk pengukuran panjang buah, 0,91 untuk pengukuran diameter buah, dan 0,99 untuk pengukuran ukuran buah. Hasil pemutuan dengan pengolahan citra menggunakan parameter mutu panjang buah saja menghasilkan akurasi rata-rata 71,1 persen, menggunakan parameter mutu diameter buah saja menghasilkan akurasi rata-rata 77,6 persen, menggunakan parameter mutu ukuran buah saja menghasilkan akurasi rata-rata 89,4 persen. Bila ketiga parameter mutu digunakan secara bersamaan, akurasi rata-rata pemutuan oleh pengolahan citra adalah 78,3 persen.

Lasmara (2008) menggunakan pengolahan citra untuk melakukan evaluasi terhadap parameter pemutuan wortel. Wortel dengan kelas mutu berbeda yaitu A, B, dan C masing-masing berjumlah 100 buah digunakan sebagai sampel untuk mengetahui korelasi antara hasil pengukuran langsung dengan hasil penilaian oleh pengolahan citra, dan masing-masing 50 buah lainnya untuk setiap kelas digunakan untuk validasi sistem pemutuan yang dikembangkan. Dengan menggunakan kamera CCD, semua wortel direkam satu persatu ke dalam citra warna dengan resolusi 348x184 piksel, kemudian dianalisis menggunakan program pengolahan citra yang dibuat. Dari hasil analisis citra untuk mengetahui korelasi antara hasil pengukuran langsung dengan hasil penilaian oleh pengolahan citra didapatkan koefisien determinasi masing-masing 0,96 untuk pengukuran panjang wortel, 0,78 untuk pengukuran diameter wortel, 0,92 untuk

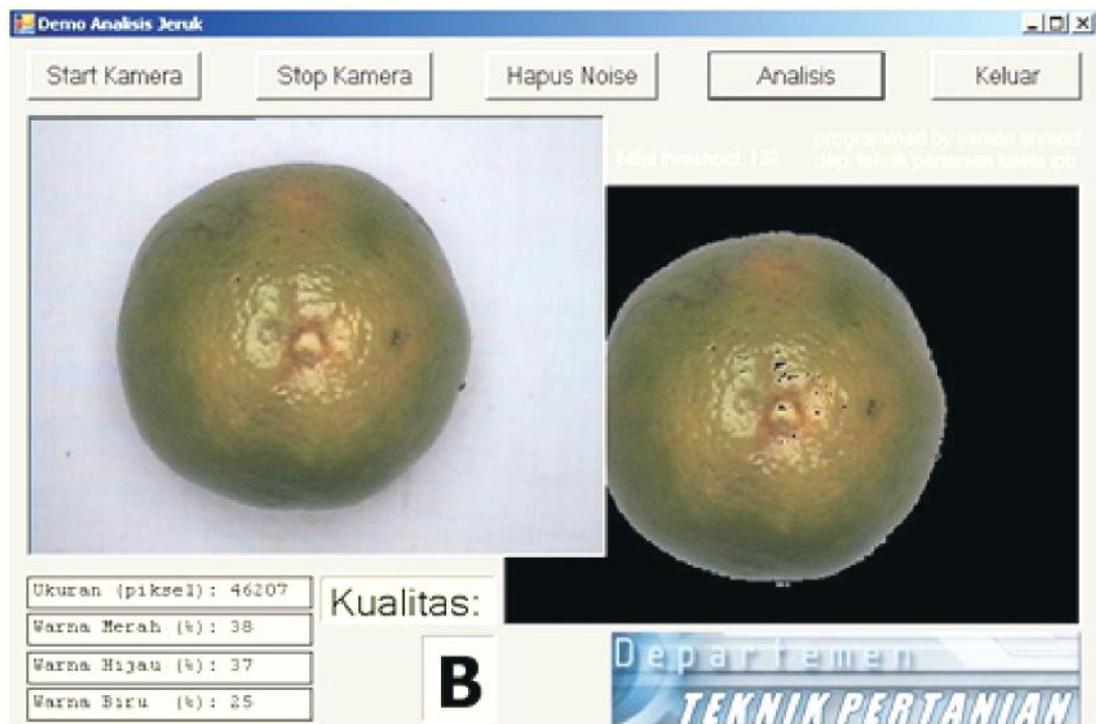
pengukuran ukuran wortel, dan 0,80 untuk feret's diameter. Validasi hasil pemutuan dengan pengolahan citra menggunakan parameter mutu panjang wortel saja menghasilkan akurasi 81,6 persen untuk mutu A, 83,5 persen untuk mutu B, dan 80,0 persen untuk mutu C. Validasi hasil pemutuan menggunakan parameter mutu diameter saja menghasilkan akurasi 72,4 persen untuk mutu A, 87,2 persen untuk mutu B, dan 71,0 persen untuk mutu C. Validasi hasil pemutuan menggunakan parameter mutu ukuran wortel saja menghasilkan akurasi 92,0 persen untuk mutu A, 93,6 persen untuk mutu B, dan 81,8 persen untuk mutu C. Secara umum, hasil pemutuan dengan pengolahan citra, menggunakan salah satu dari ketiga parameter tersebut, memberikan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan hasil pemutuan secara manual.

Astraman (2008) menggunakan pengolahan citra untuk melakukan evaluasi mutu pada paprika. Paprika dengan empat kelas mutu berbeda, yaitu A, B, C, dan D masing-masing berjumlah 50 buah digunakan sebagai sampel. Satu persatu paprika tersebut direkam dan disimpan dalam citra warna dengan resolusi 400x300 piksel menggunakan kamera CCD. Parameter mutu yang digunakan untuk evaluasi mutu paprika adalah ukuran yang diwakili oleh area dan diameter obyek dalam citra, serta kekerasan yang diwakili oleh nilai warna obyek dalam citra. Hasil validasi pemutuan dengan program pengolahan citra yang dibuat menggunakan parameter mutu area adalah 60,0 persen untuk mutu A, 40,0 persen untuk mutu B, 28,0 persen untuk mutu C, dan 88,0 persen untuk mutu D. Adapun dengan menggunakan parameter mutu diameter didapatkan akurasi hasil pemutuan sebagai berikut; 56,0 persen untuk mutu A, 36,0 persen untuk mutu B, 12,0 persen untuk mutu C, dan 88,0 persen untuk mutu D. Sedangkan nilai warna yang diekstrak dari obyek dalam citra tidak mempunyai korelasi dengan kekerasan yang diukur menggunakan rheometer.

Sulistyo (2008) menggunakan pengolahan

citra untuk mengevaluasi mutu jeruk pontianak. Jeruk sebanyak 850 buah yang terdiri dari 125 buah jeruk mutu A, 125 buah jeruk mutu B, dan masing-masing 200 buah jeruk mutu C, D, dan E direkam dan disimpan dalam citra warna dengan resolusi 400x300 piksel menggunakan kamera CCD untuk digunakan dalam penelitian tersebut. Parameter mutu yang diamati diacu dari SNI 01-3165-1992 untuk jeruk keprok, yaitu ukuran (berat dan diameter buah) yang diwakili oleh luas area obyek jeruk dalam citra dan kekerasan yang diwakili oleh nilai warna kulit buah dalam citra, yang juga mewakili satu parameter mutu di luar SNI yaitu total padatan terlarut. Hasil pemutuan oleh pengolahan citra kemudian dibandingkan dengan hasil pemutuan secara manual oleh pedagang besar jeruk di Pontianak, dengan acuan parameter mutu yang diambil dari SNI 01-3165-1992. Akurasi pemutuan oleh pengolahan citra mencapai

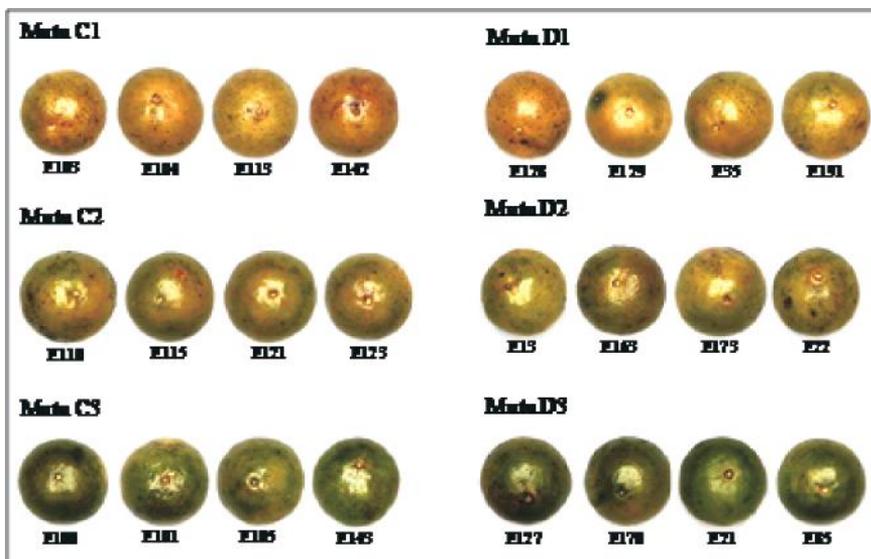
nilai 95,1 persen, sedangkan pemutuan manual hanya 41,3 persen bila dikembalikan kepada standar SNI 01-3165-1992. Selain itu, pemutuan dengan menggunakan pengolahan citra yang dikembangkan juga dapat dipakai untuk memisahkan buah jeruk berdasarkan ukuran dan warna sekaligus. Ini merupakan satu kelebihan lain meskipun SNI 01-3165-1992 tidak mempersyaratkan warna sebagai parameter mutu, karena akan menghasilkan tampilan setiap kelas mutu tidak hanya seragam dalam ukuran, tapi juga dari warna kulitnya. Gambar 2 memperlihatkan contoh program pengolahan citra untuk analisis jeruk pontianak, sedangkan Gambar 3 adalah kelompok mutu jeruk berdasarkan hasil pemutuan manual dan Gambar 4 adalah hasil pemutuan menggunakan pengolahan citra dengan menyertakan warna kulit sebagai salah satu parameter mutu disamping ukuran buah.



Gambar 2. Program pengolahan citra untuk menganalisis dan melakukan klasifikasi mutu jeruk pontianak



Gambar 3. Klasifikasi kelas mutu E (terendah) jeruk pontianak secara manual oleh pedagang pengumpul besar di sentra produksi yang dikirim ke Pasar Induk Kramatjati



Gambar 4. Klasifikasi kembali jeruk pontianak pada Gambar 3 menggunakan pengolahan citra berdasarkan ukuran dan warna kulit untuk meningkatkan keseragaman tampilan.

III. Aplikasi Pengolahan Citra untuk Evaluasi Mutu Beras

Pengolahan citra juga dapat diaplikasikan untuk mengevaluasi mutu beras berdasarkan beberapa kriteria mutu visual seperti ukuran butir dan warna butir. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan di Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

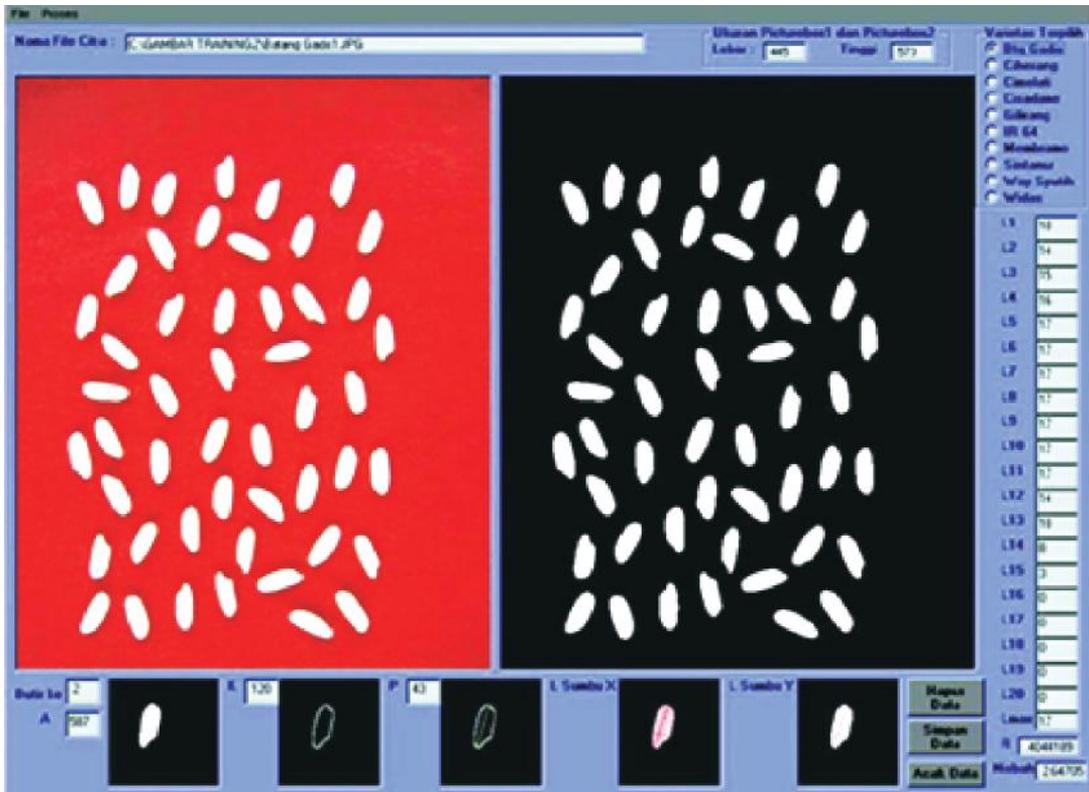
Rasyid (2003) menggunakan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan untuk menduga varietas beras hasil giling. Untuk klasifikasi derajat sosoh, digunakan beberapa parameter citra diantaranya warna merah, hijau, dan biru, hue, saturasi, dan intensitas. Training jaringan syaraf tiruan dengan data yang diperoleh dari hasil pengolahan citra hanya menghasilkan akurasi sebesar 45,5 persen untuk beras IR-64 dan 55,4 persen untuk beras membramo, sedangkan hasil pendugaan pada proses validasi menghasilkan akurasi sebesar 20,7 persen untuk beras IR-64 dan 39,0 persen untuk beras membramo. Diduga parameter-parameter yang digunakan dalam analisis tidak mempunyai kaitan yang erat dengan derajat sosoh kedua jenis beras tersebut. Gambar 5 memperlihatkan citra beberapa varietas beras yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian tersebut, sedangkan Gambar 6 adalah program pengolahan citra yang digunakan untuk menganalisis setiap butir beras.

Pramesti (2003) menggunakan pengolahan citra yang dikombinasikan dengan jaringan syaraf tiruan untuk melakukan klasifikasi butiran beras mengapur dan kuning/rusak. Sekumpulan butir beras direkam menggunakan kamera CCD dari jarak 20 cm dan disimpan dalam citra dengan resolusi 640x480 piksel. Analisis dilakukan berdasarkan sinyal masing-masing warna merah, hijau, dan biru dalam model warna Red Green Blue (RGB), dan komponen-komponen warna hue, saturasi, dan intensitas dalam model warna Hue Saturation Intensity (HSI). Hasil pendugaan jenis butiran terhadap training set data mencapai 74,5 persen, dengan rincian masing-masing untuk butir normal 52,3 persen, butir kapur 74,6 persen, butir kuning/rusak mencapai 93,4 persen. Tingkat akurasi pendugaan terhadap validasi set butiran sejenis mencapai 94,1 persen, dengan tingkat akurasi pada butir normal mencapai 91,3 persen, butir kapur 98 persen, dan butir kuning/rusak mencapai 90,0 persen.

Paramiaty (2003) menggunakan pengolahan citra yang dikombinasikan dengan fuzzy logic untuk melakukan klasifikasi ukuran butiran beras dalam mengevaluasi beras sosoh. Sejumlah butir beras dengan kategori beras utuh, beras kepala, beras patah, dan beras menir direkam menggunakan kamera CCD dari jarak 20 cm dan disimpan dalam citra dengan resolusi 640x480 piksel. Dalam



Gambar 5. Citra beberapa varietas beras yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian



Gambar 6. Program pengolahan citra untuk menganalisis dan melakukan klasifikasi mutu beberapa varietas beras giling

proses penentuan batasan nilai fuzzifikasi, dari 1770 butir yang terdiri dari 500 butir beras utuh, 474 butir beras patah, 490 butir beras patah dan 306 butir menir, hasil pendugaan menggunakan pengolahan citra dan fuzzy logic menunjukkan 94,6 persen beras utuh, 69,0 persen beras kepala, 94,5 persen beras patah, dan 88,9 persen menir. Dengan demikian akurasi pendugaan dalam proses penentuan batasan nilai fuzzifikasi adalah 86,7 persen. Selanjutnya pada proses validasi digunakan 1757 butir dengan rincian 500 butir beras utuh, 403 butir beras kepala, 478 butir beras patah dan 376 butir menir. Hasil pendugaan menunjukkan 94,2 persen beras utuh, 64,5 persen beras kepala, 95,6 persen beras patah, dan 88,0 persen menir. Dengan demikian akurasi pendugaan pada proses validasi adalah 86,7 persen.

Hidayati (2003) juga menggunakan pengolahan citra untuk melakukan pendugaan

ukuran butiran beras dalam mengevaluasi beras sosoh, namun dikombinasikan dengan jaringan syaraf tiruan. Sepuluh varietas beras yaitu batang gadis, cimelati, ciherang, cisadane, gilirang, membramo, sintanur, widas, way seputih, dan IR-64. Dalam proses training jaringan syaraf tiruan, didapatkan akurasi pendugaan adalah 98,7 persen, yang terdiri dari hasil pendugaan 100,0 persen untuk beras utuh, 96,0 persen untuk beras kepala, 99,2 persen untuk beras patah, dan 99,4 persen untuk menir. Hasil pendugaan pada proses validasi berturut-turut adalah 97,4 persen untuk beras utuh, 89,7 persen untuk beras kepala, 92,9 persen untuk beras patah, dan 90,7 persen untuk menir. Dengan demikian akurasi pendugaan pada proses validasi adalah 92,9 persen.

Nayyarah (2003) mengembangkan metoda analisis derajat sosoh beras menggunakan pengolahan citra dan jaringan

syaraf tiruan. Untuk klasifikasi derajat sosoh, digunakan beberapa parameter citra diantaranya warna merah, hijau, dan biru, hue, saturasi, dan intensitas. Training jaringan syaraf tiruan dengan data yang diperoleh dari hasil pengolahan citra hanya menghasilkan akurasi sebesar 45,5 persen untuk beras IR-64 dan 55,4 persen untuk beras membramo, sedangkan hasil pendugaan pada proses validasi menghasilkan akurasi sebesar 20,7 persen untuk beras IR-64 dan 39,0 persen untuk beras Membramo. Diduga parameter-parameter yang digunakan dalam analisis tidak mempunyai kaitan yang erat dengan derajat sosoh kedua jenis beras tersebut.

IV. Penutup

Pengolahan citra merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk melakukan evaluasi mutu produk pangan secara non-destruktif. Evaluasi mutu produk pangan secara non-destruktif memberi kesempatan kepada sistem yang dibangun untuk melakukan evaluasi langsung pada produk tanpa merusak atau pun mengubah sifat-sifat fisik dan kimia produk.

Pengolahan citra ini sangat potensial untuk dikembangkan mengingat kemajuan dunia komputer sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir, sehingga aplikasi komputer sebagai pengendali proses produksi bahan pangan semakin mudah dilakukan dengan biaya yang semakin murah. Dengan bantuan komputer sebagai pengendali, pekerjaan evaluasi terhadap bahan pangan dapat dilakukan secara otomatis dan konsisten sehingga hasilnya diharapkan mampu memenuhi standar mutu yang berlaku. Mutu produk pangan yang memenuhi standar yang berlaku dan konsisten dari waktu ke waktu akan menambah kepercayaan konsumen sehingga mampu meningkatkan daya jual produk.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, U., Subrata, I.D.M. dan Gunayanti, S. (2004). Pemutuan buah mangga berdasarkan penampakkannya menggunakan pengolahan citra. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, Vol. 18

- No. 1, 2004. Perteta dan Departemen Teknik Pertanian, IPB. Bogor.
- Albright, L.D. (1990). *Environment Control for Animals and Plants*. The American Society of Agricultural of Agricultural Engineers, Michigan, USA.
- Astraman, S. (2008). Utilization of image processing for quality evaluation and grading of bell pepper (paprika). A Bachelor's thesis, Department of Food Technology, Faculty of Life Science, Swiss-German University, Serpong, Banten.
- Grift, T. 2003. *Advanced machinery for biosystems applications*. Dept. of Agricultural Engineering, University of Illinois at Urbana-Campaign.
- Hidayati, N. Hernik. (2003). Pendugaan ukuran beras dengan pengolahan citra dan artificial neural network untuk evaluasi mutu beras sosoh. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Jain, R., R. Kasturi, and B.G. Schunck. 1995. *Machine Vision*. McGraw-Hill Book, Inc. New York, USA.
- Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M. (1992) Determination of Sugar Content in Intact Peaches by Near Infrared Spectroscopy with Fiber Optics in Interactance Mode. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 61(2), 445-451.
- Kondo, N., Y. Nishitsuji, P. Ling, and K.C. Ting. 1996. Visual feedback guided robotic for cherry tomato harvesting. *Transaction of ASAE* Vol. 39(6): 2331- 2338.
- Kondo, N. and K.C. Ting. 1998. *Robotics for Bioproduction Systems*. The Society of Agricultural Engineering, Foods, and Biological System (ASAE) Book. St. Joseph, USA.
- Lasmara, I. (2008). Evaluasi parameter pemutuan wortel menggunakan pengolahan citra. Skripsi, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Murakami, M., Himoto, J. and Itoh, K. (1994) Analysis of Apple Quality by Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.* 66(1), 51-61.
- Nayyarah, R. Novie. (2003). Pengembangan metoda analisis derajat sosoh beras dengan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Paramiaty, E. Lintang. (2003). Pengenalan ukuran butiran beras dengan menggunakan pengolahan citra dan metode Fuzzy untuk evaluasi mutu beras sosoh. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Pramesty, P. Lesta. (2003). Pengenalan butiran

-
- menggunakan pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Prasetyani, E. (2008). Evaluasi parameter pemetuan buah stroberi menggunakan pengolahan citra. Skripsi, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rasyid, O. Kamalda. (2003). Pendugaan varietas beras dengan pengolahan citra dan artificial neural network. Skripsi, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Reed, J. N., W. He, and R. D. Tillett. 1995. Picking mushrooms by robot. Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Vol. 1 Hal. 27-34, Kobe, Japan.
- Reinamora, F. (2007). Pengembangan algoritma image processing untuk klasifikasi mutu belimbing manis. Skripsi, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sulistyo, B.S. (2008). Pemetuan buah jeruk siam Pontianak dengan teknik pengolahan citra. Thesis, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Suparlan dan Itoh, K. (2001). Nondestructive method for determining the quality of tomatoes using visible and near-infrared spectroscopy. J. Hokkaido Branch of the Japanese Society of Agricultural Machinery. 41: 21-27.
- Tokuda M., K. Namikawa, M. Sugari, M. Umeda, and M. Iida. 1995. Development of watermelon harvesting robot (1): machine vision system for watermelon harvesting robot, Proceedings of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing. Vol. 2 Hal. 9-16. Kobe, Japan.

BIODATA PENULIS :

Usman Ahmad lahir di Jakarta 28 Desember 1966 menyelesaikan pendidikan tinggi pada Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Bogor pada tahun 1990, dan memperoleh gelar MAg. dari Okayama University, Jepang, pada tahun 1996, serta gelar PhD. dari universitas yang sama pada tahun 1999.