**Evaluasi Kualitas Beras**

Oleh : Yukiharu Ogawa

Fakultas Pertanian, Universitas Chiba, Matsudo, Chiba

271-8510 Jepang

Terjemahan :

Sufyan Saori

140810150068

# Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu jenis biji-bijian komersial utama di seluruh dunia, bersamaan dengan gandum dan jagung. Pada tahun 2005 tercatat 628 juta ton beras diproduksi di seluruh dunia, dan terdapat 29.9 juta ton masuk ke dalam komoditas perdagangan di seluruh dunia, sesuai yang diprediksikan oleh FAO (*Food and Agriculture Organizaion*) (2006). Lebih dari 90% beras diproduksi dan dikosumsi di Asia.

Sejak dimulainya pemetaan genome padi, ilmu genetika, seperti penelitian genome padi, telah berkembang. Oleh karena itu, padi saat ini dipelajari dibanyak bidang akademis, termasuk tentang tanamannya, pembibitannya, penanamannya, dan termasuk ilmu pangan. Meskipun tujuan  
Penelitian padi bervariasi, evaluasi kualitas biji-bijian sebagai bahan makanan adalah salah satu tujuan utama. Teknologi visi komputer, yang terus berkembang secara terus menerus  
baik dalam segi perangkat keras dan perangkat lunak, dapat berkontribusi pada evaluasi kualitas beras dengan menilai kualitas biji padi secara objektif, konsisten, dan kuantitatif.

Dalam bab ini, dijelaskan berbagai teknik dan metode untuk evaluasi kualitas beras  
menggunakan teknologi komputer visi. Penelitian beras memiliki berbagai aspek yang perlu diperhatikan, seperti yang disebutkan di paragraf atas, dan terdapat perbedaan yang signifikan dalam menentukan kualitas dari beras. Misalnya, kualitas beras yang telah dimasak (nasi) berbeda dengan beras mentah.Garis besar kualitas beras diuraikan pada bagian berikutnya. Beras sebagai bahan mentah dan sebagai bahan makanan siap saji (nasi) diklasifikasikan dalam bagian berikut dan dijelaskan bersama dengan teknik evaluasi yang berbeda.

# Kualitas Beras

Kata “kualitas” merupakan sesuatu yang sangat abstrak. Oleh karena itu, sebelum lanjut ke bahasan evaluasi, kita harus mendefinisikan kualitas yang dimaksud seperti apa. Parameter yang menjadi rujukan haruslah dapat diekspresikan secara aktual dan objek atau bagian yang terukur, sangat diperlukan untuk melakukan evaluasi kualitas.

Padi ditanam di sawah dan dipanen dalam bentuk gabah. Gabah yang telah dipanen akan mengalami proses pasca panen meliputi pengeringan, penyimpanan, dan penggilingan. Gabah yang telah digiling disebut dengan *brown rice*. Yang kemudian akan dilanjutkan proses penggilingan untuk mengupas dedak termasuk penghilangan lapisan *pericarp*, *testa*, *aleurone*, dll dari gabah tersebut. Proses ini disebut juga dengan *polishing*. Hasil dari proses ini didapat butiran beras yang berwarna putih, semi-transparan. Tidak seperti biji-bijian yang lain, beras biasanya dibeli dalam bentuk ini dan kemudian akan dimasak oleh konsumen. Dengan demikian, kualitas beras juga berkaitan dengan tahap ini.

Padi dalam bentuk bahan bibit tanaman, butiran coklat, dan produk gilingan dapat dianggap sebagai bahan baku makanan (mentah). Parameter untuk evaluasi kualitas beras dalam bentuk ini difokuskan kepada bagian biologi dan penganan beras pada proses pasca panen. Sifat-sifat ini dipengaruhi oleh karakteristik di bawah kendali genetik, kondisi lingkungan, dan kondisi pengolahan pasca panen. Pada dasarnya, hal itu dapat dianggap sebagai properti fisik (yaitu dimensi terukur seperti ukuran butir, bentuk, dan variasi warna, dll), yang berkaitan dengan kultivar dan lingkungan pertumbuhan, yang merupakan parameter utama untuk evaluasi kualitas beras mentah (gabah) (Hoshikawa, 1993a). Cacat dan retak, kan berdampak terhadap pengolahan pasca panen dan nilai jual gabah tersebut, juga bisa dianggapsebagai parameter. Selain itu, kadar air dan distribusi dalam biji-bijian mentah juga mempengaruhi sifat penyimpanannya. Kandungan dan distribusi kimia dalam biji-bijian terkait dengan sifat morfologi, histologis, dan struktural juga dipertimbangkan dalam menilai kualitas beras mentah. Kandungan senyawa kimia juga mendefinisikan kualitas nutrisi. Aroma dari beras berkaitan dengan senyawa yang ada didalamnya, juga dikaitkan dengan kualitas beras, meskipun saat ini tidak dapat direpresentasikan sebagai parameter visual.

Beras yang dikukus atau direbus merupakan makanan, dan karena itu kualitasnya didasarkan pada kualitas beras sebagai makanan (nasi), yang berhubungan dengan sifat fisik, kimia, dan fisikokimia dari beras yang dimasak. Di antara sifat-sifat ini, tekstur beras setelah matang (nasi) produk beras adalah salah satu sifat yang paling penting dan biasanya telah diukur menggunakan analisis sensorik. Produk beras yang dimasak memiliki kadar air yang tinggi, dan granula pati digelatakan dengan air matang selama memasak. Secara umum, gelatinisasi pati terkait dengan sifat fisikokimia, yang mempengaruhi tekstur nasi yang dimasak. Akibatnya, distribusi air dalam beras yang dimasak selama proses memasak merupakan suatu parameter penting untuk evaluasi kualitas beras yang dimasak. Butiran pati dalam butir-butir tiap beras menjadi gelatin dan bentuk akibatnya beras membengkak dengan proses gelatinisasi tersebut. Akibatnya, struktur makro skala butir beras berubah drastis selama proses memasak, dan perubahan struktural seperti itu untuk interior dan eksterior beras tercermin dalam tekstur beras. Dengan demikian, sifat struktural dari beras yang dimasak, termasuk struktur permukaan (yang berkaitan dengan penampilan), juga merupakan parameter penting untuk evaluasi kualitas. Interior beras-butir sebagian besar terdiri dari pati dan pati granula. Pati dalam sebutir beras diselimuti oleh sel endosperm, yang tersusun bahan sel-dinding. Mikrostruktur histologis, seperti pembentukan dan distribusi sel, oleh karena itu harus terkait dengan sifat fisik dan fisikokimia, seperti kekerasan dan lengket. Struktur mikro skala sel dari beras yang dimasak parameter penting untuk evaluasi kualitas. Kondisi termal, aroma, rasa, dll. juga dapat dianggap sebagai parameter evaluasi kualitas untuk beras yang dimasak, meskipun ini belum divisualisasikan.

# Evaluasi kualitas dari beras mentah

## Sifat-sifat fisik

Inspeksi secara visual menggunakan mata manusia adalah metode utama dalam menentukan kualitas dari beras. Peralatan dan metode inspeksi beras secara otomatis sangatlah penting dan memiliki permintaan yang tinggi. Sistem yang menggunakan *computer-aided vision* dapat menyediakan objektifitas, konsistensi, dan hasil pengukuran yang kualitatif. Termasuk juga dalam hal automasi dan keakuratan inspeksi kualitas secara visual dari kontur, ukuran, variasi warna dan kerusakan dari beras. Pengolahan citra untuk *computer-aided vision system* telah dikembangkan, misalnya untuk menentukan kernel dari dimensi yang beras yang digiling (Goodman dan Rao, 1984). Teknik pengenalan pola juga bisa digunakan sebagai bantuan dalam karakterisasi biji-bijian, dan dapat menjadi metode yang efektif untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan biji-bijian (Lai et al., 1986). Sakai dkk. (1996) menunjukkan penggunaan analisis gambar dua dimensi untuk penentuan bentuk coklat dan butiran beras dari empat varietas. Butiran sampel dipoles tiga metode pemolesan yang berbeda. Varietas padi dapat dipisahkan dengan baik oleh analisis citra menggunakan dimensi dan bentuk faktor yang sesuai, sedangkan butiran dipoles menggunakan metode yang berbeda tidak dapat dibedakan secara akurat. Kondensasi air pada biji-bijian Permukaan disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan suhu dan kelembaban relatif selama penyimpanan, dan menyebabkan penurunan kualitas. Atungulu dkk. (2003) menyelidiki hubungan antara jumlah air yang terkondensasi, diperkirakan oleh simulasi termodinamika dan hasil eksperimen, dan nilai yang diperoleh dari indeks warna seperti RGB dan / atau HSI dalam gambar biji-bijian yang dihasilkan. Mereka menyimpulkan penyimpangan dari rona awal dan intensitas indeks HSI disebabkan oleh kondensasi pada permukaan biji-bijian, dan juga terkait dengan lingkungan sekitaran biji-bijian, seperti suhu dan kelembaban relatif.

Secara umum, Sebuah objek harus ditempatkan di bawah kamera untuk dilakukan pemrosesan gambar, dan gambar yang jelas harus disediakan untuk *machine vision system*. Ekstraksi batas dan pengukuran fitur geometri pada objek yang menyentuh secara fisik merupakan masalah klasik ketika penginspeksian menggunakan mesin secara *real-time* dilakukan. Objek yang menyentuh menghasilkan daerah yang terhubung dalam gambar setelah proses segmentasi terhadap *background*, sehingga membuat pengukuran objek individu menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa pra-pemrosesan lebih lanjut. Mempertimbangkan hal ini, Shatadal et al. (1995a) mengembangkan sebuah algoritma untuk menyegmentasikan daerah kernel-kernel yang terhubung pada gambar. Algoritma mereka menggunakan gambar yang diubah oleh menggunakan morfologi matematis, dan berhasil memisahkan biji padi dalam gambar. Fitur geometris juga diekstraksi dari kedua kernel yang dipisahkan menggunakan perangkat lunak dan dipisahkan secara fisik untuk pola klasifikasi (Shatadal et al., 1995b). Para penulis menggambarkan bahwa ada batasan penting dari algoritma, yang menyebabkan kegagalan ketika kernel terhubung terbentuk sebuah *isthmus* atau jembatan yang relatif panjang. Kemudian, Wang dan Chou (2004) mengembangkan metode yang lebih efisien untuk mensegmentasikan kernel beras yang bersentuhan menggunakan model kontur aktif dan medan aliran vektor gradien terbalik. Bidang aliran vektor gradien terbalik adalah yang pertama diusulkan untuk secara otomatis menghasilkan pusat lapangan untuk setiap individu kernel beras dalam sebuah gambar. Pusat-pusat ini kemudian digunakan sebagai referensi untuk pengaturan awal yang dapat berubah yang diperlukan untuk membangun kontur aktif. Ditemukan bahwa kontur-kontur yang menyentuh objek diidentifikasi oleh pendekatan ini dapat memfasilitasi pemrosesan gambar berikutnya untuk mendapatkan geometri, tekstur, dan karakteristik warna  
objek.

Sebuah sistem inspeksi otomatis dengan beberapa inspeksi gambar kernel dapat mempercepat proses inspeksi tersebut. Namun, seperti yang disebutkan di atas, untuk menyajikan banyak kernel kecil beras dalam bentuk yang sudah terorientasi untuk *machine vision inspection* bukanlah tugas yang mudah, dan untuk menghitung *grading* parameter dari setiap kernel dengan banyak kernel saling menyentuh secara acak sangat sulit dan memakan waktu. Oleh karena itu, diperlukan perangkat yang efisien untukmemisahkan beras agar tidak saling bersentuhan, ketika sistem pemeriksaan mutu otomatis dengan kinerja tinggi dikembangkan. Wan (2002) mengembangkan sistem penanganan kernel otomatis, yang terdiri dari mesin inspeksi otomatis dan unit pemrosesan gambar. Sistem yang dibuat bisa terus menyajikan posisi matriks kernel beras untuk perangkat *charge-coupled device* (CCD), singularisasi setiap gambar kernel dari *backgorund*, dan debit kernel ke kontainer yang ditetapkan. Inspeksi mesin memiliki alat pengurai dan pemosisian, stasiun pemotretan, perangkat yang digunakan secara paralel, dan sabuk konveyor berkelanjutan dengan menyediakam lubang untuk kernel beras. Unit pemrosesan gambar dan mesin inspeksi dirancang untuk bekerja secara bersamaan untuk menyediakan throughput yang tinggi dari gambar kernel tiap individu. Wan et al. (2002) juga menyelidiki aspek yang terkait dengan kinerja kualitas sistem inspeksi otomatisnya untuk mengevaluasi berbagai karakteristik tampilan dari beras, seperti suara, retak, berkapur, belum matang, mati, pecah, dan rusak. Carter dkk. (2006) mengusulkan baik analisis kluster maupun diskriminan untuk menetapkan kesesuaian pengukuran parameter untuk otentikasi granular menggunakan pencitraan digital yang dikembangkan sistem dan logika fuzzy. Hasilnya menunjukkan bahwa ada kemungkinan untuk membedakan antara varietas yang berbeda dari beras yang sama.

Penggilingan beras yang kasar biasanya dilakukan untuk menghasilkan beras yang putih dan berkilau sesuai dengan permintaan konsumen. Parameter penting untuk mengevaluasi kualitas beras yang giling dilihat dari kualitas ukuran butir dan bentuk, putih, dan kebersihan, yang berkorelasi dengan harga pasar beras tersebut. Faktor-faktor ini terkait erat dengan proses penggilingan, di mana beras kasar pertama kali mengalami *dehusking* atau penghapusan kulit, dan kemudian ke penghapusan lapisan bran terluar. Akhirnya, proses pemolesan dilakukan untuk mengeluarkan partikel bran dan untuk memberikan gloss permukaan ke bagian putih yang dapat dimakan. Tingkat penggilingan menentukan tingkat penghapusan lapisan bekatul dari permukaan dari kernel giling, dan dengan demikian terkait dengan putihnya suatu beras. Yadav dan Jindal (2001) mengembangkan teknik yang dapat digunakan untuk memperkirakan hasil kepala dari beras, persentase berat dari kernel yang digiling diwakili oleh tiga perempat dari panjang asli gabah mereka relatif terhadap berat beras kasar dan tingkatan penggilingan, berdasarkan pencitraan dua dimensi dari kernel beras giling. Ada kuantitas kernel beras rusak diperbolehkan ditentukan saat membeli beras giling, dan beras rusak Kernel biasanya hanya setengah dari nilai keseluruhan atau beras kepala. Persentase berat seluruh biji yang tersisa setelah penggilingan adalah salah satu karakteristik fisik yang penting yang menentukan kualitas beras. Jumlah kernel beras yang rusak terutama ditentukan oleh pilihan visual dari kernel ini dari sejumlah besar beras. Panjang dan lebarnya dari kernel beras umumnya diukur menggunakan caliper tunggal. Analisis ini dapat dilakukan jauh lebih cepat dan lebih akurat dengan menggunakan *machine vision sytem*. Dalen (2004) melaporkan bahwa ukuran dan ukuran distribusi beras dan jumlah beras yang rusak kernel dapat ditentukan dengan analisis gambar menggunakan pemindaian flatbed. Dia menunjukkan bahwa pemindai flatbed-nya dengan analisis gambar adalah metode yang cepat, mudah, dan biaya murah.

Adsorpsi cairan secara cepat yang dilakukan oleh butiran beras ketika kelembaban rendap dapat menyebabkan biji beras retak, yang menjadi penyebab menurunnya kualitas nasi ketika dimasak. Kombinasi sifat fisik seperti *stres* dan regangan memiliki pengaruh yang terus-menerus pada butir beras. Seperti kernel yang retak-retak pecah lebih mudah daripada suara kernel selama panen, penanganan, dan penggilingan, dan dengan demikian mengurangi kualitas dan harga jual beras. Deteksi tegangan-fisura masih merupakan tugas penting dalam evaluasi kualitas beras. Lan et al. (2002) mengembangkan sistem visi mesin dengan CCD kamera hitam / putih, gambar frame-grabber, komputer, dan program pemrosesan gambar untuk mendapatkan gambar beras butiran fissured. Perbedaan pola celah antara beras biji-bijian panjang dan didefinisikan setelah menganalisa gambar olahan dari butiran fissured. Prosedur deteksi untuk celah dalam sampel kernel dari beras medium dilakukan menggunakan metode pengolahan citra, seperti koreksi gamma, histogram pemerataan, erosi, peningkatan regional, dan deteksi tepi. Untuk kernel yang panjang, koreksi gamma, *high-pass filtering*, penyesuaian kontras, dan peningkatan regional dilakukan karena perbedaan dalam pola celah antara panjang dan menengah kernel padi yang diamati. Sistem penglihatan komputer mereka mampu mengungkapkan 94 persen dari semua garis fissure yang terdeteksi dalam manusia yang ahli, dan 100 persen dalam biji-bijian panjang.

Distribusi tegangan di dalam kernel beras, yang merupakan asal dari celah kernel, sulit untuk diperkirakan dengan metode pencitraan. Metode analisis elemen terhingga bisa mensimulasikan distribusi tegangan seperti itu di kernel oleh komputer. Jia et al. (2002) memetakan dan menganalisis distribusi tegangan radial, aksial, tangensial, dan geser dalam kernel selama pengeringan dengan simulasi elemen hingga yang dikombinasikan dengan mikroskopi berkecepatan tinggi pencitraan penampilan fisura. Hasilnya, mereka menemukan dua tekanan yang berbeda zona ada di dalam kernel beras selama pengeringan - zona tarik dekat permukaan, dan zona tekan dekat dengan pusat. Juga ditemukan bahwa, seperti pengeringan berlangsung, radial,tangensial, dan tegangan geser secara bertahap mendekati nol dalam besarnya dan menjadi netral dalam arah setelah 60 menit pengeringan pada 60◦C dan kelembaban relatif 17 persen. Hanya stres aksial yang tetap pada tingkat yang diucapkan, bahkan setelah pengeringan, yang membantu menjelaskan fakta bahwa kebanyakan celah menyebar tegak lurus terhadap sumbu longitudinal kernel beras.

## Kandungan air dan persebarannya

Persebaran air di dalam kernel beras merupakan salah satu parameter penting dalam hal evaluasi kualitas dari beras tersebut. Perubahan penyebaran air yang terjadi di dalam beras selama proses perkembangan secara morphologis yang merupakan bagian dari material tumbuhan juga hal yang penting dalam menjelaskan kualitas kematangan dari beras ketika setelah dipanen, karena kandungan pati dan senyawa lainnya diakumulasikan oleh proses transportasi secara asimilasi dengan air selama proses pertumbuhan. Untuk memvisualisasikan perkembengan morphologis caryopsis dari beras dengan menambahkan informasi dai pola persebaran kelembaban suatu beras, pencitraan mikro nuclear magnetic resonance (NMR) digunakan sebagai teknik pengukuran non-destruktif (Horigane et al., 2001). Secara umum, Teknik pencitraan NMR dapat digunakan untuk menentukan distribusi kelembaban dan mobilitas non-destruktif dan non-invasif dalam sebutir biji-bijian. Dengan demikian, pola distribusi kelembaban dapat didiskusikan dalam kaitannya dengan perkembangan morfologis. Gambar Kelembaban dari distribusi jaringan muda, bundel vaskular perikarp, dan endosperm hingga 25 hari setelah bunga mekar telag diperoleh, dan rute untuk suplai air ke atau mengalir dari embrio diamati dalam penelitian mereka. Struktur tiga dimensi dari perkembangan spikelets direpresentasikan sebagai gambar proyeksi intensitas maksimum, yang merekonstruksi gambar dari tampilan transparan melalui objek menggunakan data tiga dimensi. Dengan pengamatan gambar tersebut, kadar air dari caryopses yang lebih tua ditemukan lebih kecil daripada yang lebih muda selama pengembangan karena hasil intensitas sinyal dalam gambar proyeksi intensitas maksimum menurun. Pertambahan lebar dan ketebalan caryopsis dan persimpangan antara palea dan lemma diamati oleh gambar NMR *cross-sectional*. Temuan ini mendukung Fakta bahwa air mengalir dari bundel pembuluh darah perikarp ke *nucellus*.

Kandungan air pada benih padi yang telah dipanen sebagai hasil pertanian dihapus dengan cara dikeringkan. Proses pengeringan sangat mempengaruhi kualitas beras. Ishida et al. (2004) memvisualisasikan perubahan dalam distribusi air dalam benih padi kasar selama pengeringan dengan teknik pemetaan pemetaan titik tunggal yang dikombinasikan dengan *magnetic resonance imaging* (MRI). Mereka menelusuri penurunan air pada benih padi setelah panen diberbagai suhu pengeringan, dan membandingkan penurunan intensitas gambar, yang sebanding dengan kadar air yang dapat dilepas, dengan butiran yang dikeringkan dengan metode oven. Dalam hasil eksperimen, mereka menunjukkan bahwa kandungan air biji yang sudah matang kira-kira 20 persen. Itu adalah konten kelembaban rendah dibandingkan dengan biji biasa karena pengeringan fisiologis pada kulit terjadi sebelum panen. Dengan kadar air kurang dari 20 persen, gambar MRI tidak dapat diperoleh dengan metode spin-echo; Namun, dimungkinkan untuk mendapatkan gambar dalam waktu singkat oleh metode pencitraan pemetaan titik tunggal, dan dengan demikian proses pengurangan air bisa dilacak. Air dalam rentang konsentrasi ini adalah air yang teradsorpsi pada permukaan struktur molekul dalam biji-bijian, sedangkan kadar air kurang dari 7 persen adalah erat terikat. Dalam hasil mereka, air disajikan terutama dalam biji beras tetapi tidak di sekam, dan embrio mengandung air dalam jumlah besar. Sinyal air dalam gambar dikurangi sebagai waktu pengeringan berlalu dan suhu pengeringan meningkat. Hilang secara seragam dari semua area endosperm benih.

Kadar air dan pendistribusinya dalam sebutir beras juga diamati menggunakan metode berdasarkan pencitraan elektromagnetik (Lim et al., 2003). Karena dielektrik konstanta air jauh lebih besar dari pada bahan biji-bijian kering, dielektrik konstan butir berkorelasi dengan kadar airnya. Korelasi semacam itu membentuk dasar untuk penentuan cepat kadar air dari butir padi secara elektrik. Meskipun ini memberikan pengukuran kelembaban yang relatif andal, umumnya tidak memiliki resolusi spasial. Metode berdasarkan pencitraan elektromagnetik memetakan dua dimensi distribusi kelembaban dalam butir padi, dan algoritma rekonstruksi citra kuantitatif dengan rekonstruksi berulang berulang digunakan untuk mencapai konvergensi yang cepat dari solusi penerimaan akhir.

## Kandungan senyawa dan persebarannya

### Pencitraan mikroskopis

Kandungan dan distribusi senyawa kimia dalam biji-bijian, yang mempengaruhi karakteristik morfologis dan histologis, umumnya tetap pada tahap pertumbuhan dan memiliki pengaruh pada kualitas beras. Ilustrasi dan / atau foto-foto digunakan untuk merepresentasikan struktur fisik beras seperti itu sampai *computer vision* dikembangkan (Bechtel dan Pomeranz, 1978a). Struktur internal beras juga ditentukan secara tepat oleh tangan manusia(Hoshikawa, 1993b). Mikroskop histologis dari beras di mana hasil tersebut dicetak sebagai foto menggambarkan sifat anatomis benih padi sebagai bahan tanaman. *Electron micrographs*, termasuk *scanning electron micrographs* (SEM), biasanya digunakan untuk mengamati ultrastruktur dari sampel dalam skala mikrometer. Misalnya, Bechtel dan Pomeranz (1977, 1978b, 1978c) menangkap ultrastruktur dari caryopsis padi yang sudah lama matang dengan mikroskop cahaya dan elektron. Watson dan Dikeman (1977) juga menggunakan SEM untuk pengamatan endosperm, aleurone, kuman, dan lambung gabah, dengan tujuan memperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap ultrastruktur dari beras. Studi anatomi semacam itu berkontribusi pada pemeriksaan sifat biokimia dan karakteristik struktural, yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi pada beras sebagai bahan makanan. Dengan kata lain, kualitas nutrisi bahan makanan secara langsung terkait dengan sifat penyimpanan nutrisi dalam biji-bijian, yang dapat diamati menggunakan sebuah mikroskop (Yiu, 1993). Mikroskop dapat memvisualisasikan degan detail terhadapa struktural yang ada diperlukan untuk menganalisis karakteristik histologis, dan juga dapat memperoleh data gambar dengan penggunaan alat perekam digital.

Struktur anatomi dan histologis, yang dapat dianalis oleh komputer visi,berkaitan jugadengan sifat-sifat fisik. Untuk pengukuran seperti mikrostruktur, dengan kandungan senyawa-senyawa kimia dan kandungan biologi, teknik pembagian tradisional dengan menggunakan mikrotom telah diterapkan. Meskipun teknik ini bersifat merusak, distribusi berbagai senyawa kimia dan nilai-nilai kuantitatif secara kasar dalam suatu bagian dapat divisualisasikan dan dianilisis secara dua dimensi dengan pewarnaan yang sesuai dan atau dengan berbagai metode pencitraan. Ada banyak penelitian yang bertujuan untuk mengamati komponen histologis dalam segmen butir padi dengan menggunakan mikroskop cahaya dengan pewarnaan histokimia. Namun, bagian utuh dari padi yang digunakan haruslah berkualitas tinggi untuk digunakan dalam pengamatan menggunakan mikroskop, belum dapat diperoleh dengan menggunakan metode pembagian standar, karena butiran beras sendiri memiliki sifat mekanis yang buruk untuk pembagian dan sifata infiltrasinya yang rendah dalam pembentukan matriks seperti halnya parafin. Selain itu, kadar air dari butiran beras terlalu rendah untuk dilakukan pengumpulan dengan metode pembekuan. Furukawa dkk. (2003) menunjukkan bahwa gambar *cross-sectional* dari kernel beras yang diwarnai dan diamati dengan mikroskop cahaya dan *confocal laser scanning microscopy*. Penampang beras sepanjang 200 µm diperoleh dengan menggunakan pisau laser dan mikrotom. Mereka kemudian menerapkan pelabelan *imunofluoresensi* dengan spesifik antibodi sebagai teknik pewarnaan histologis, untuk visualisasi distribusi protein yang disimpan dalam jaringan endosperm. Akibatnya, lokalisasi dua jenis protein tubuh dalam jaringan endosperm diamati. Juga ditemukan beras rendah *glutelin* berbeda dari kultivar lainnya tidak hanya dalam komposisi protein penyimpanan utama, tetapi juga dalam distribusi protein penyimpanan dalam jaringan *endosperm*.

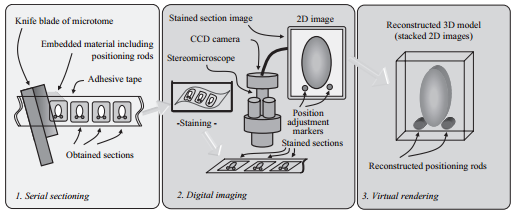
Metode pembagian khusus menggunakan pita selulosa diusulkan oleh Palmgren (1954) untuk studi spesimen besar, keras, dan rapuh. Metode pita perekat memfasilitasi persiapan dan meningkatkan kualitas bagian yang dihasilkan dari keseluruhan pada tubuh tikus bayi, yang kemudian dapat diwarnai secara histologis dan histokimia untuk pengkarakteristikannya (Kawamoto dan Shimizu, 1986). Ogawa et al. (2003a) menggunakan metode pita perekat, dikombinasikan dengan teknik persiapan yang lebih baik untuk menjaga rincian mikrostruktur, untuk mendapatkan bagian beras-kernel utuh. Metode ini adalah kombinasi dari pembagian *tape-aided* pada microtome standar dan *autofluorescence* teknik visualisasi dengan mikroskop dalam rentang ultraviolet (UV) untuk mengamati sifat histologis dari seluruh ukuran dan bentuk lengkap dari bagian beras. Prosedur pembagian tape-aid untuk metode ini adalah sebagai berikut:

* + 1. Sampel didehidrasi dalam seri etanol bergradasi yang diikuti oleh xilena,kemudian ditransfer ke parafin cair, diizinkan untuk dilakukan infiltrasi, dan pengerasan dengan penyisipan parafin.
    2. Bagian kernel beras dipotong oleh mikrotom biasa, pada suhu kamar, dilengkapi dengan pisau sekali pakai. Setiap kernel dipotong sampai porsi yang diinginkan terbuka. Sepotong pita perekat kemudian ditekan dengan kuat ke wajah dari blok spesimen. Sambil memegang kaset, mikrotom dimajukan untuk dipotong sebuah bagian menempel pada rekaman itu. Perhatikan bahwa pita perekat adalah produk khusus yang dibuat poliester dilapisi dengan resin akrilik tipe pelarut yang berfungsi sebagai perekat.
    3. Bagian tape ditempelkan pada slide kaca dengan sisi spesimen menghadap ke atas, dan dideparafinisasi dengan xylene. Setelah itu, bagian yang dapat diamati mikroskopis bisa mudah didapat.

### Visualisasi secara virtual

Untuk mengamati komposisi internal dalam tiga dimensi, Levinthal dan Ware (1972) mengembangkan teknik rekonstruksi tiga dimensi menggunakan gambar bagian serial dan formasi interaktif. Teknik ini diterapkan untuk mengukur tiga dimensi struktur fisik sistem saraf pusat hewan sederhana. Pembentukan metode interaktif diuntukkan rekonstruksi tiga dimensi didasarkan pada garis besar bagian objek yang dibangun, dan dengan demikian tidak dapat direkonstruksi secara tepat.

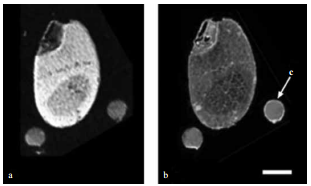
Ogawa et al. (2000, 2001) mengembangkan teknik rekonstruksi dan visualisasi tiga dimensi yang telah dimodifikasi. Teknik ini merupakan kombinasi dari serial berbantuan *Tape-aided serial sectioning*, pewarnaan dan pencitraan digital, dan virtual *rendering* dengan rekonstruksi terkomputerisasi. Konsep teknik ini diwujudkan dalam diagram skematik yang disajikan pada Gambar 3.1. Dengan bagian microtome tape-aided, ditemukan bahwa satu set serial Bagian padi-padian bisa disiapkan dan diawetkan dengan seperangkat kerabat mereka sendiri posisi datanya. Dua batang pemosisian juga ditanamkan secara hati-hati dengan kapak panjangnya tegak lurus dengan bidang bawah cetakan *embedding* dan dipotong dengan sampel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Setelah *sectioning*, satu set bagian serial diwarnai  
oleh pewarna histokimia yang cocok dan ditangkap oleh *charge-coupled device* (CCD)  
kamera. Sebagai daerah bernoda mewakili daerah yang mengandung kompleks pewarna-target, yang distribusi setiap senyawa di bagian itu divisualisasikan dalam dua dimensi. Sejak  
semua bagian dari butir sampel menempel pada pita perekat dan batang pemisah, posisi relatif dari setiap bagian seri dapat disesuaikan dengan merujuk penanda penyesuaian posisi jika posisi yang ditangkap dari gambar bagian berbeda dari yang satu ke yang lain. Semua gambar bagian yang disesuaikan dari satu set bagian serial ditumpuk dalam memori komputer untuk menghasilkan model perencanaan tiga dimensi, menggunakan metode *rendering* volume.



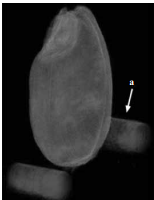
Gambar ‎3.1 Diagram skematis dari teknik rekonstruksi dan visualisasi tiga dimensi virtual menggunakan bagian serial tape-aid dengan penanda penyesuaian posisi. (Schematic diagram of the virtual three-dimensional reconstruction and visualization technique using the tape-aid serial sections with position adjustment markers)

Distribusi berbagai senyawa dalam kernel beras dapat divisualisasikan dalam model tiga dimensi virtual. Gambar 3.2 menunjukkan gambar bagian sampel dan hasil yang telah diwaranai. Ketebalan bagian adalah 10 µm. Bagian beras dan batang pengiris irisan sebagai penanda penyesuaian posisi ditempelkan pada pita perekat, dan oleh karena itu posisi relatif antara bagian serial dapat disesuaikan seperti yang dijelaskan di atas. Metode pewarnaan ganda dengan kombinasi larutan *coomassie brilliant blue* (CBB) dan larutan yodium diterapkan pada bagian untuk visualisasi distribusi protein dan pati (Gambar 3.2b); protein diwarnai biru oleh CBB, dan pati diwarnai ungu atau coklat oleh larutan iodin. Distribusi senyawa pada bagian, yang jelas dibedakan berdasarkan warna, divisualisasikan. Protein terutama didistribusikan di sekitar tepi bagian, sedangkan pati didistribusikan di daerah dalam.

Gambar 3.3 menunjukkan gambar perencanaan tiga dimensi yang direkonstruksi dari satu set bagian serial berwarna ganda pada komputer. Distribusi dari protein dan pati senyawa berwarna dalam sebutir beras divisualisasikan dalam tiga dimensi. Embrio butir menunjuk ke arah atas, dan rasio opasitas 1/10 digunakan. Karena model perencanaan tiga dimensi direkonstruksi menggunakan metode rendering volume, data voxel, yang dihasilkan oleh data piksel dan ketebalan bagian, dapat mewakili posisi senyawa dalam model perencanaan. Ukuran satu voxel dari model ini adalah 10 × 13 × 13 µm, karena ukuran piksel dari gambar dua dimensi adalah 13 × 13 µm dan ketebalan bagian adalah 10 µm. Oleh karena itu, setiap voxel tidak hanya mewakili bentuk butir yang digambar oleh poligon, tetapi juga informasi posisi mengenai senyawa sebagai data voxel, dan ini dapat dikurangi secara nyata oleh teknik pemrosesan data.

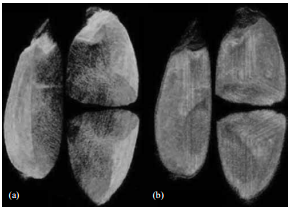


Gambar ‎3.2 Gambar (a) bagian sampel dan (b) hasil yang telah diwarnai. Area melingkar (c) adalah penanda penyesuaian posisi, dan ketebalannya 10μm. Bagian-bagian ini ditempelkan pada pita perekat, dan dengan demikian posisi relatif dari setiap bagian seri dapat disesuaikan dengan referensi penyesuaian posisi penanda jika posisi yang ditangkap bervariasi. Pewarnaan dilakukan dengan merendam dalam larutan iodin 0,05-N selama 30 detik dan mencuci dengan air suling, kemudian oaking dalam larutan CBB selama 30 detik dan cuci dengan larutan penghilang. Bilah pembesaran adalah 1mm. (Images of (a) a sample section and (b) its stained result. The circular areas (c) are the position adjustment markers, and their thickness was 10µm. These sections were stuck to an adhesive tape, and thus the relative position of each serial section could be adjusted by referencing the position adjustment markers if the captured position varied. Staining was performed by soaking in 0.05-N iodine solution for 30 seconds and washing with distilled water, then oaking in CBB solution for 30 seconds and washing with removal solution. The magnification bar is 1mm.)



Gambar ‎3.3 Gambar model penggambaran tiga dimensi direkonstruksi dari serial bagian berwarna ganda pada komputer. Kedua batang pemisah (a) juga direkonstruksi dari penanda pengaturan posisi. Metode volume-rendering digunakan untuk teknik rekonstruksi ini. Kerutan dari gambar-gambar contoh, yang terlihat seperti garis kontur dari peta kontur, disebabkan oleh ketebalan bagian. ini adalah kekhasan teknik visualisasi ini. ( An image of a three-dimensional plotting model reconstructed from a serial of double-stained sections in a personal computer. The two positioning rods (a) are also reconstructed from position adjustment markers. The volume-rendering method is used for this reconstruction technique. The wrinkles ofthe plotting images, which look like the contour lines of a contour map, are caused by section thickness. This is a peculiarity of this visualization technique.)

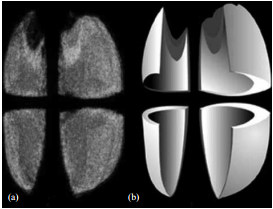
Gambar 3.4 menunjukkan gambar yang dibagi secara virtual dari distribusi protein dan pati dalam sampel butir beras. Gambar-gambar ini diekstraksi dari Gambar 3.3, berdasarkan perbedaan warna dalam pewarnaan senyawa. Sehingga, dapat divisualisasikan dan diamati bahwa protein, yang diwakili oleh daerah gelap pada Gambar 16.4, terletak di bagian sekitar butir dan embrio. Pati terletak di bagian interior. Karena teknik visualisasi tiga dimensi ini didasarkan pada teknologi histokimia, maka dapat memvisualisasikan distribusi berbagai senyawa dalam sebutir beras.



Gambar ‎3.4 Gambar yang dibagi secara virtual dari distribusi protein dan pati dalam sampel butir padi: (a) protein didistribusikan di bagian luar biji dan embrio; (B) pati terletak di bagian interior.( Virtually divided images of the distributions of protein and starch in a sample rice grain: (a) protein is distributed at the outer parts of the grain and embryo; (b) starch is located in the interior portions.)

Ogawa et al. (2002a) juga mengembangkan teknik visualisasi tiga dimensi lainnya untuk pengamatan struktur benih padi dalam tiga dimensi. Sistem observasi struktur internal tiga dimensi (3D-ISOS, Toshiba Machine Co. Ltd, Numazu, Jepang) diaplikasikan untuk mengamati struktur caryopses beras selama pengembangan. Sistem ini dapat mengiris material sampel secara berurutan dan menangkap setiap penampang melintang menggunakan perangkat pencitraan CCD warna (DXC-930, Sony Co., Tokyo, Jepang), yang menggabungkan kondisi pencahayaan seragam. Karena gambar yang diambil dari penampang secara sekuensial digital, mereka dapat secara virtual ditumpuk dalam komputer pribadi menggunakan metode penghitungan. Akibatnya, struktur tiga dimensi dari bahan sampel dapat divisualisasikan dengan menampilkan set gambar yang ditumpuk. Untuk mendapatkan sampel benih padi yang dicelup, batang potong yang mengandung malai, dikumpulkan 30 hari setelah berbunga (sebelum tahap masak), ditempatkan dalam 0,1% larutan rhodamin B dalam air suling selama 2 hari untuk menyerap pewarna. Gambar 16.5 menunjukkan gambar dari model tiga dimensi yang dihasilkan dari benih padi yang dihasilkan oleh susunan gambar seri secara virtual dari penampang melintang. Gambar 3.5a menunjukkan gambar model tiga dimensi sederhana, sementara Gambar 3.5b mewakili bentuk tiga dimensi dari bundel vaskular. Model ini diekstraksi dari Gambar 3.5a oleh pemrosesan gambar untuk menekan voxels hijau dan putih. Dengan menggunakan teknik ini, struktur tiga dimensi dari bundel vaskular dapat diamati dengan ekstraksi warna berdasarkan pigmentasi alami atau pewarnaan buatan.

Ogawa et al. (2002b) juga menentukan distribusi lipid dari kernel beras coklat dalam tiga dimensi dengan penerapan teknik pembagian menggunakan *tape-aided*. Lipid adalah salah satu konstituen utama padi, dan distribusinya tidak seragam dalam kernel gabah, yang diukur dengan analisis kimia untuk tepung hasil penggilingan bergradasi (Kennedy et al., 1974). Dilaporkan juga bahwa lapisan luar biji beras, yang termasuk dalam dedak termasuk kuman, memiliki jumlah lipid yang lebih besar daripada bagian dalam, yaitu inti atau bagian dalam endosperm. Beras yang disimpan, terutama yang disimpan dalam waktu lama setelah panen, tidak memiliki bau yang menyenangkan ketika dimasak. Bau ini terkait dengan reaksi enzim dan / atau lipid autoxidation (Yasumatsu dan Moritaka, 1964). Autoxidasi lipid, yang mempengaruhi kualitas beras, segera dipicu oleh kontak udara. Lipid yang terletak di bagian terluar dari kernel dianggap lebih mudah teroksidasi daripada yang ada di bagian dalam. Pengamatan distribusi lipid dalam tiga dimensi dengan demikian merupakan peningkatan yang signifikan terhadap penelitian yang dilakukan pada titik ini. Secara umum, teknik histokimia telah diterapkan untuk pengamatan distribusi kimia dalam suatu bagian. Untuk mendapatkan bagian dari bahan, parafin umumnya digunakan sebagai bahan proses *embedding*. Akibatnya, langkah-langkah *paraffinization* dan *deparaffinization* diperlukan, termasuk proses perendaman-*xylene*. Karena tidak hanya parafin tetapi juga kandungan lipid yang dihilangkan dari bagian tipis oleh proses perendaman xilena, metode parafin-embedding umumnya tidak cocok untuk pengamatan distribusi lipid secara nyata di dalam bagian biji-bijian. Meskipun metode resin-embedding menggunakan resin polimerik, atau metode potongan beku untuk bahan dengan kandungan air yang tinggi telah digunakan untuk pengamatan lipid, sepotong kecil spesimen cincang diperlukan untuk mendapatkan bagian. Oleh karena itu, distribusi lipid di daerah seluas keseluruhan bagian padi sulit diukur dengan teknik histokimia yang biasa kecuali dengan pembelahan *tape-aided*. Dengan aplikasi pembagian *tape-aided*, langkah-langkah persiapan untuk pembagian (seperti prosedur dehidrasi sampel, parafinisasi, dan deparaffinisasi, yang akan mempengaruhi kandungan lipid) dapat dengan aman dihilangkan untuk kernel dan bagiannya. Sampel biji-bijian dapat langsung tertanam dalam parafin cair, tetapi parafin cair tidak dapat menyusup ke dalam butir karena kelembaban di kernel. Selain irisan parafin lilin, yang ada di sekitar bagian beras dan juga menempel pada pita perekat untuk mengusir larutan pewarna, hanya bagian butir yang diwarnai. Gambar 3.6 menunjukkan gambar yang dihasilkan dari model yang terbagi secara virtual untuk distribusi lipid terisolasi tiga dimensi, dan bentuk skematiknya. Distribusi lipid yang berbeda pada tiap bidang yang dibagi dapat ditunjukkan. Jelas bahwa lipid cenderung menyebar di sisi dorsal lebih jelas daripada di sisi perut dalam sampel kernel. Juliano (1972) dan Takeoka dkk. (1993) melaporkan bahwa lipid dalam endosperm beras paling menonjol dalam sel-sel lapisan aleuron, dan isinya sangat kecil dalam jaringan penyimpanan pati, yang terletak di bagian dalam kernel beras. Dengan teknik visualisasi ini, perbedaan distribusi lipid dalam kernel padi berbagai kultivar, kondisi pertumbuhan, dan pengolahan pasca panen dapat diukur. Selain itu, tidak hanya pada varian **Sudan Black B** tetapi juga pewarnaan lain yang dapat diterapkan untuk teknik ini. Sebagai contoh, untuk visualisasi isi lipid terdiferensiasi, yang dapat diklasifikasikan dalam asam lemak, lipid netral, dan sebagainya, ia memiliki potensi untuk menjelaskan banyak fenomena, seperti mekanisme *autoxidation* lipid dalam sebuah kernel beras.



Gambar ‎3.5 (a) Sebuah gambar model visualisasi tiga dimensi yang terbagi-bagi untuk distribusi lipid yang terisolasi dan (b) bentuk skematiknya. Dalam model tiga dimensi, bagian yang diwarnai hitam seperti kulit biji dan embrio secara sengaja dihapus untuk pengamatan yang lebih baik dari distribusi lipid internal. Dengan demikian, model ini mewakili area di bawah lapisan biji dari kernel beras secara tiga dimensi. Meskipun model ini mewakili daerah di bawah lapisan biji dari kernel beras dan jumlah dari semua daerah bernoda tidak berkorelasi secara kuantitatif dengan jumlah dari semua jaringan yang mengandung lipid, tampilan distribusi lipid harus dipertimbangkan untuk memiliki karakter kualitatif lebih dari nilai kuantitatif.( (a) An image of a virtually-divided three-dimensional visualizing model for the isolated lipid distribution and (b) its schematic form. In the three-dimensional model, black-stained parts such as the seed coat and the embryo are intentionally erased for better observation of the internal lipid distribution. Thus, this model represents areas below the seed coat of the rice kernel three-dimensionally. Although this model represents areas below the seed coat of the rice kernel and the sum of all the stained areas does not correlate quantitatively to the sum of all lipid-containing tissues, the display of the lipid distribution must be considered to have a qualitative character more than a quantitative value.)

### Teknik pencitraan lainnya

*Atomic force microscopy* (AFM) adalah teknik pencitraan mikro di mana *sharp* dan *probing* dipindai di atas permukaan sampel. Interaksi antara ujung dan sampel diterjemahkan ke dalam gambar tiga dimensi dengan resolusi mulai dari nanometer hingga mikrometer. Dengan menggunakan teknik pencitraan AFM, fitur morfologi dalam keadaan alami dan informasi topografi mengenai sampel biologis, seperti membran biologis, permukaan sel, dan struktur molekul berbagai makromolekul biologis, dapat diperoleh. Dang dan Copeland (2003) menerapkan pencitraan AFM pada permukaan potongan biji-bijian dari beberapa varietas padi yang dipilih berdasarkan rasio amilase-amilopektin dan teknik memasak yang berbeda. Struktur pati sudut (3-8 µm dalam ukuran) disusun dalam lapisan sekitar 400 nm terpisah. Lapisan mewakili cincin pertumbuhan pembentukan granula pati, dan striations silang di setiap lapisan berhubungan dengan blocklet daerah amorf dan kristal di dalam granula pati. *Blocklets* tersebut memiliki ukuran rata-rata 100 nm, dan diusulkan untuk terdiri dari sekitar 280 gugus rantai samping amilopektin.

Teknik pencitraan *photoluminescence*, yang didasarkan pada karakteristik spektral cahaya tampak yang dipancarkan dari senyawa organik dan anorganik di bawah radiasi UV, dengan pencitraan video dan pengolahan citra digital, cocok untuk kontrol kualitas yang cepat dan tidak merusak dalam berbagai jenis pengolahan. *Photoluminescence* cahaya yang terlihat dari beras yang dipoles dan beberapa pati lainnya dievaluasi menggunakan teknik pencitraan *photoluminescence* dua dimensi dalam sistem kontrol kualitas untuk makanan (Katsumata dkk., 2005). Fotoluminescence cahaya yang terlihat memiliki puncak yang luas pada panjang gelombang 462 nm. dari makanan bertepung di bawah iluminasi sinar ultraviolet pada 365 nm. Intensitas puncak *photoluminescence* bervariasi dengan varietas dan sumber beras. Kecerahan atas gambar *photoluminescence* beras dari breed tunggal, dari satu sumber, mendistribusikan sesuai dengan kurva distribusi Gaussian. Deviasi hasil fitting kecerahan dari kurva distribusi Gaussian, yang diperkirakan sebagai nilai χ2, dan koefisien korelasi meningkat pada spesimen beras dari berbagai jenis beras campur. Sebagian besar biji-bijian, termasuk beras, terdiri dari amilopektin, amilosa, asam amino, asam lemak, dan mineral anorganik, dll. Meskipun asal cahaya yang terlihat luminescence dari makanan bertepung tidak teridentifikasi, banyak senyawa memancarkan *photoluminescence* cahaya tampak di bawah penyinaran UV. Dengan demikian, kandungan relatif dari amilopektin dan amilosa, konsentrasi asam amino dan mineral anorganik seperti Ca, Na, dan K, dapat mempengaruhi intensitas fotoluminesen beras. Karena kualitas beras dipengaruhi oleh senyawa ini, Katsumata dan rekannya menyimpulkan bahwa teknik pencitraan *photoluminescence* berpotensi berguna untuk evaluasi kualitas beras. Sebagai contoh, beras campuran dari spesies yang berbeda dapat dideteksi menggunakan teknik pencitraan fotoluminesen dua dimensi.

# Evaluasi kualitas dari beras masak

## Persebaran air

Perubahan distribusi air dan struktur internal dari butiran beras selama memasak terkait erat dengan karakteristik gelatinisasi, yang mempengaruhi profil tekstur beras yang dimasak. Perubahan gravimetri dalam gabah selama mendidih dianalisis menggunakan *a shell and core model* yang dikembangkan oleh Suzuki et al. (1997). Model ini mengasumsikan bahwa gelatinisasi jauh lebih cepat dari pada laju difusi air dalam sebutir. Ini berarti bahwa biji-bijian yang direbus sebagian memiliki inti yang tidak ditutupi oleh cangkang yang dilapisi gelatin, yang mempengaruhi kualitas makan nasi yang dimasak. Oleh karena itu inti dan cangkangnya harus dapat diukur oleh profil kelembaban dalam sebutir biji-bijian. Perubahan geometris dalam biji-bijian selama memasak, yang diikuti oleh studi kinetik menggunakan berbagai model, dapat diukur dengan akuisisi citra *on-line*. Ramesh (2001) memeriksa karakteristik pembengkakan padi-padian padi di bawah berbagai suhu menggunakan sistem analisis citra digital secara *real-time*, dan mengevaluasi kinetika memasak seluruh butir padi. Untuk menentukan kinetika hidrasi air panas, ia melakukan analisis gambar dua dimensi pada beras basmati, yang merupakan jenis biji-bijian panjang, dan tidak dapat menerapkan model matematika bola untuk gerakan kelembaban dalam beras. Daerah yang diproyeksikan dari butiran beras diubah menjadi rasio pembengkakan untuk perbandingan pembengkakan pada temperatur yang berbeda. Konstanta laju reaksi dan energi aktivasi untuk hidrasi air panas diperoleh dari data pembengkakan. Data hidrasi selanjutnya dianalisis untuk menggeneralisasi persamaan polinomial yang menghubungkan rasio pembengkakan ke waktu dan suhu pemanasan. Ramesh juga menyimpulkan bahwa hal ini membantu desain peralatan memasak dengan memberikan peningkatan volume yang progresif menuju ujung pembuangan untuk mengakomodasi pembengkakan sebagai hasil pemasakan.

Takeuchi et al. (1997a, 1997b) mengembangkan teknik pengukuran real-time untuk visualisasi profil kelembaban dalam sebutir beras selama dididihkan oleh pencitraan *nuclear magnetic resonance* (NMR) cepat dan satu dimensi dengan adaptasi teknik *multi-echo*. Perubahan distribusi kelembaban dalam butir beras selama mendidih dievaluasi dengan teknik yang diusulkan. Kadar air beras meningkat selama mendidih, dan dengan demikian mempengaruhi gelatinisasi pati dalam sel yang disimpan pati. Peta populasi kelembaban, yang diwakili oleh sepotong objek virtual dari biji-bijian yang direbus sebagian, menunjukkan kemajuan asimetris dari serapan kelembaban dalam biji-bijian. Oleh karena itu, mereka berhipotesis bahwa difusi air (absorbansi air) dalam biji-bijian mungkin dibatasi oleh komponen dinding sel dari sel yang disimpan pati dan lapisan protein seperti aleuron dan subaleuron. Mereka menemukan, bagaimanapun, bahwa bahan sel kayu memiliki sedikit efek pada menolak migrasi kelembaban. Watanabe dkk. (2001) mengusulkan model matematika difusi *non-Fickian* untuk migrasi air dalam butir padi selama memasak berdasarkan teknik pencitraan NMR. Migrasi air didorong oleh gradien permintaan air, yang didefinisikan sebagai perbedaan antara kadar kelembaban langit-langit dan kadar air yang ada dalam model. Model mereka terbukti memiliki potensi untuk menggambarkan fitur karakteristik anomali migrasi air dalam sebutir selama memasak. Total kandungan air yang terbatas dalam butir beras dihitung dan digunakan sebagai indikator baik konsentrasi dan distribusi air dalam gandum selama memasak, diamati oleh teknik pencitraan NMR (Kasai et al., 2005)

## Struktur makro skala biji

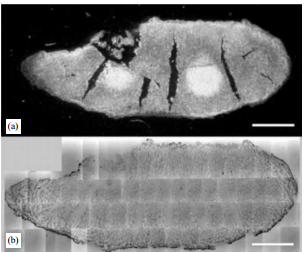
Horigane dkk. (1999) menemukan adanya lubang dalam butir beras yang dimasak, dan mengusulkan mekanisme untuk menjelaskan formasi mereka, menggunakan *NMR micro-imaging of protons* (1H). Teknik pencitraan mikro NMR mereka terbatas terutama pada sampel tabung uji, sehingga hanya beberapa butir saja yang dapat dianalisis pada satu waktu, meskipun perlu untuk menganalisis beberapa sampel untuk memastikan kesimpulan yang cepat dan baik secara statistik. Sampel diamati dan dianalisis dengan menggunakan gambar dua dimensi dari bagian longitudinal dan transversal dari gambar mikro NMR tiga dimensi. Bintik-bintik gelap ditemukan di bagian melintang dan dikelilingi oleh lapisan perifer dari kepadatan proton tinggi. Bintik-bintik hitam seperti itu hanya ada di dalam butir, dan tidak menyebabkan kerusakan pada permukaan butir. Oleh karena itu Horigane menghipotesiskan bahwa titik gelap disebabkan oleh substansi proton-densitas rendah, atau gas yang muncul sebagai *hollow*. Kehadiran gas di daerah berongga hanya diketahui terjadi di celah atau celah, dan mereka dikonfirmasi, oleh *photomicrograph* dari bagian longitudinal, bahwa bintik-bintik gelap itu tertutup di daerah berongga dari biji-bijian yang dimasak. Lubang-lubang itu terkait dengan perubahan struktural yang harus terjadi selama proses memasak, karena tidak ada lubang yang diamati dalam butiran mentah kecuali retakan atau pecahan. Mereka juga menemukan bahwa cekungan muncul dalam pengukuran gambar *time-series* dari lapisan tengah dalam biji-bijian selama memasak, yang menunjukkan perubahan dalam struktur internal dan distribusi air. Dengan demikian, mereka menyimpulkan bahwa cekungan berasal dari retakan atau celah dari biji-bijian mentah, dan disebabkan oleh pemeteraian laserasi tersebut dengan pati gelatinized di lapisan perifer dalam kombinasi dengan ekspansi biji-bijian selama memasak. Lubang dalam sebutir beris membuat jaringan endosperm kurang homogen, dan karena itu mempengaruhi tekstur dan sifat struktural dari nasi yang dimasak. Lubang-lubang juga terdeteksi oleh teknik pencitraan lainnya. Suzuki dkk. (1999) menerapkan pencitraan X-ray dan teknik fotografi cahaya transmitansi untuk mendeteksi cekungan dalam butir. Mereka menyimpulkan bahwa fotografi transmitansi cahaya adalah teknik yang efektif dan berguna, meskipun pencitraan NMR, operasi yang sangat sulit, dapat memberikan gambar yang lebih tepat dan pengukuran tiga dimensi dan kuantitatif dari kedalaman dan volume lubang. Suzuki dkk. (2002) juga melaporkan bahwa ukuran berongga, mudah diukur dengan metode transmitansi cahaya, berbeda di setiap kultivar.

Volume berongga diukur dengan teknik pencitraan mikro NMR (Horigane et al., 2000). Ukuran, bentuk, dan volume total lubang untuk lima kultivar dengan berbagai konten amilosa diukur. Faktor-faktor yang mempengaruhi bentuk dan volume berongga harus terkait dengan ekspansi butir atau karakteristik gelatinisasi dari lapisan pati di endosperm.Konten Endosperm amilosa adalah salah satu faktor tersebut. Namun, mereka menemukan bahwa volume meningkat selama gelatinisasi, yang berhubungan negatif dengan kandungan amilosa. Celah dan retakan pada butiran, yang juga penting untuk pembentukan cekungan, terjadi sebelum dimasak di sebagian besar kultivar karena perendaman atau perubahan kelembaban relatif. Tampaknya tidak mungkin bahwa perbedaan dalam pembentukan berongga di antara kultivar dapat dijelaskan dengan ada atau tidak adanya retakan dan celah. Dengan demikian, volume harus diukur, misalnya, perubahan dalam rasio berongga selama memasak, dan dihitung dari gambar tiga dimensi yang dibangun dari gambar irisan seri sampel. Dalam karya penelitian Horigane et al. (2000), volume lubang meningkat dengan volume dan panjang serat selama memasak di bawah 100◦C. Dibandingkan dengan ini, volume kemudian menurun selama perebusan berkepanjangan. Itu juga diasumsikan bahwa ada hubungan antara konten amilosa dan pembentukan berongga, berdasarkan model hipotetis mereka. Namun, disimpulkan bahwa tidak ada korelasi antara volume dan bentuk cekung akhir, dan parameter individu seperti gelatinisasi tepung dan kandungan amilosa. NMR micro-imaging dilakukan pada spektrometer 7.1 T NMR, dan pengaturannya menghasilkan total waktu akuisisi 4,6 jam. Oleh karena itu, pendekatan ini pasti melibatkan waktu akuisisi yang lama dan tidak cocok untuk pengamatan real-time dari transportasi air dalam mikrostruktur yang rumit. Karena waktu pemindaian yang lama dan resolusi spasial yang rendah menyebabkan hasil yang salah, waktu pemindaian yang singkat dan resolusi spasial yang tinggi merupakan faktor penting dalam penyelidikan perilaku memasak nasi.

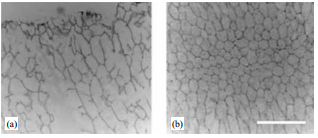
Mohoric dkk. (2004) mengusulkan pengoptimalan pencitraan NMR tiga dimensi dengan resolusi spasial tinggi *resolution based on the rapid acquisition relaxation enhanced* (RARE) untuk pemantauan proses memasak satu kernel beras secara *real time*. Mereka bertujuan untuk mencapai resolusi spasial tinggi dan temporal yang tinggi untuk membangun hubungan antara profil kandungan kelembaban, struktur mikro kernel beras, dan tingkat gelatinisasi, dan untuk mengembangkan pola umum masuknya air. Mereka menggunakan urutan pencitraan RARE tiga dimensi untuk merekam gambar resolusi 128x32x16 voxels dengan volume 117 × 156 × 313 μm3. Sebuah gambar dipindai dalam 64 detik, dan gambar dalam seri waktu membentang 30 menit dari proses memasak. Hasil diperoleh dari pengamatan real-time pada resolusi tinggi, dan pengambilan air ditentukan oleh analisis *magnetic resonance imagin*g (MRI). Hasilnya dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, dan pola umum kelembaban masuk - yaitu bentuk profil kelembaban dan fakta aktual - yang umum. Berdasarkan hasil ini, model canggih pengambilan air dalam struktur substrat tiga dimensi selama berbagai jenis difusi air, dan pembengkakan substrat, dapat dikembangkan untuk simulasi dan interpretasi pola ingress tiga dimensi kelembaban seperti yang diamati. oleh pencitraan MRI.

## Struktur sel skala mikro

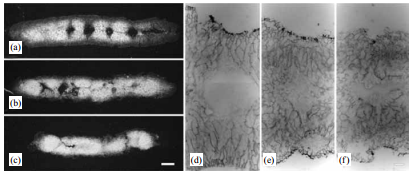
Distribusi komposisi senyawa secara histologis, terkait dengan sifat fisik, kimia dan fisikokimia dari beras yang dimasak, hal yang penting juga dalam mengevaluasi kualitas nasi yang dimasak. Secara umum, sifat tekstur dari beras yang dimasak memiliki korelasi yang besar dengan struktur morfologi dari kernel tunggal, dan pengamatan struktur histologis (seperti distribusi senyawa dalam gandum yang dimasak) sehingga memberikan kontribusi pada pemeriksaan kualitas dan evaluasi beras yang dimasak. Teknik mikroskopis dapat diterapkan pada biji beras individu untuk mengidentifikasi karakteristik histologis beras yang dimasak, dan juga dapat memvisualisasikan detail struktural yang diperlukan untuk evaluasi karakteristik histologis. Untuk memungkinkan kecernaan protein beras, Bradbury et al. (1980) memotret kondisi komponen histologis di segmen kecil dari kernel beras rebus menggunakan mikroskop elektron. Namun, kernel beras memiliki struktur tidak homogen (Takeoka et al., 1993), dan karena itu tidak hanya segmen kecil tetapi juga seluruh bagian kernel diperlukan untuk evaluasi beras yang dimasak. Meskipun metode potongan beku dapat diusulkan untuk pengumpulan seluruh bagian dari kernel yang dimasak, tetapi tidak dapat menghasilkan bagian yang berkualitas karena kernel beras yang dimasak memiliki sifat fisik yang buruk untuk pembagian. Ogawa et al. (2003b) dengan demikian menerapkan metode kombinasi pembelahan *tape-aided* pada mikrotom standar dan teknik visualisasi *autofluorescence* oleh mikroskop dalam rentang ultraviolet (UV) untuk mengamati sifat histologis, seperti lokasi bahan dinding sel fenolik, yang bertanggung jawab. untuk autofluorescence yang dihasilkan menggunakan sinar UV (Fulcher, 1982). Akibatnya, distribusi sel, formasi sel, dan gangguan dapat divisualisasikan. Mereka juga menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) sebagai alat pelengkap untuk mikroskopi fluoresensi. Gambar 4.7 menunjukkan mikroskopi dan gambar sampel autofluoresensi dari bagian memanjang yang sama (20 µm tebal) dari kernel beras yang dimasak, yang menempel pada pita perekat.



Gambar ‎4.1 (A) Contoh mikroskopi dan (b) gambar autofluorescent dari bagian longitudinal yang sama dari kernel beras yang dimasak menempel pada sepotong pita perekat. Algoritma pemrosesan gambar sederhana untuk membalikkan citra negatif dan peningkatan kontras ke gambar autofluorescent dilakukan untuk pengamatan yang lebih baik dari distribusi sel yang divisualisasikan. Ketebalan bagian adalah 20μm; bilah pembesaran adalah 1mm. ((a) Sample microscopy and (b) autofluorescent images of the same longitudinal section of cooked rice kernel stuck to a piece of adhesive tape. A simple image-processing algorithm for inverting the negative image and contrast enhancement to the autofluorescent image is carried out for better observation of visualized cell distributions. The section thickness is 20µm; the magnification bar is 1mm.)



Gambar ‎4.2 Pembesaran (a) pinggiran dan (b) area sentral dari gambar autofluoresensi pada Gambar 16.7. Bilah pembesaran adalah 100μm. (Magnifications of (a) the fringe and (b) the central area of the autofluorescent image in Figure 16.7. The magnification bar is 100µm.)

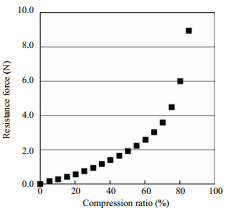


Gambar ‎4.3 Gambar mikroskopi untuk bagian histologis dari sampel beras terkompresi dan gambar autofluorescent mereka terfokus pada area kosong. Rasio kompresi adalah 30% (a, d), 50% (b, e), 70% (c, f). Ini tegak lurus dengan arah longitudinal. Bilah pembesaran untuk gambar mikroskopi adalah 1mm, dan untuk gambar autoflurescence adalah 100μm. (Images of microscopy for the histological sections of the compressed rice sample and their autofluorescent images focused in the void area. The compression ratios were 30% (a, d), 50% (b, e), 70% (c, f). These are perpendicular to the longitudinal direction. The magnification bar for the microscopy images is 1mm, and for the autoflurescence images is 100µm.).

Gambar-gambar ini membuktikan bahwa bagian-bagian kualitas untuk kernel beras yang sudah dimasak dapat diperoleh dengan menggunakan metode *tape-sectioning*. Dalam gambar autofluorescent (Gambar 4.1b), dapat dilihat bahwa dinding sel dihancurkan di bagian luar kernel. Dinding sel di sekitar area dalam tidak hancur di bagian non-void (Gambar 4.2). Seperti yang ditunjukkan oleh distribusi sel dan formasi dinding sel di berbagai area di bagian, itu mengemukakan bahwa dinding sel cenderung rusak pada sel di sekitar perbatasan antara beras dan air selama memasak, karena area internal bagian kosong memiliki distribusi sel-sel yang mirip dengan biji beras giling. Ketika nasi dimasak, beberapa senyawa (seperti karbohidrat dan lipid) dilarutkan ke dalam air rebusan, yang secara bertahap menjadi terkonsentrasi dan berubah menjadi cairan kental selama mendidih. Cairan ini menjadi penutup membran permukaan biji gandum yang dimasak pada tahap memasak akhir, dan dengan demikian terkait dengan kualitas nasi (Hoshikawa, 1993a). Gangguan sel memungkinkan pembubaran senyawa internal tersebut ke dalam air rebusan. Selanjutnya, gangguan sel berhubungan dengan tekstur. Karena dianggap bahwa keseimbangan antara gangguan sel dan pembubaran senyawa menjadi air masak tergantung pada proses memasak, perbedaan kualitas makan, yang disebabkan oleh perubahan dalam kondisi memasak dan diakui oleh pengalaman, harus dipengaruhi oleh histologis dan struktural. sifat biji gandum yang dimasak.

Teknik visualisasi Ogawa dapat mengungkapkan hubungan antara sifat histologis, struktural, dan tekstur dari nasi yang dimasak. Ogawa et al. (2006) mempelajari perubahan struktural yang terjadi pada beras yang dimasak, setelah dikompresi pada persentase tertentu, untuk menunjukkan hubungan antara tekstur dan struktur. Gambar ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Suatu butiran nasi yang dikompresi diamati dengan gaya resistensi (Gambar 4.4). Gaya resistensi, yang meningkat dengan rasio kompresi, adalah linier hingga 40 persen kompresi dan non-linear meningkat ketika rasio kompresi di atas 50 persen (Gambar 16.10). Sampel mikroskopi dibagi menjadi paralel dan dilihat tegak lurus terhadap arah kompresi. Bagian dikumpulkan sekitar titik tengah dari setiap kernel untuk memvisualisasikan efek kompresi. Ketika rasio kompresi meningkat, daerah yang kosong (rongga kosong atau berisi air) dalam sampel menurun dan menghilang dengan rasio kompresi yang lebih tinggi. Pada fase awal kompresi, area yang kosong hanya memberikan sedikit perlawanan terhadap penghancuran. Ketika kompresi meningkat, bahan padat dan kanji dari kernel menyerap tekanan dan sel-sel mulai hancur. Perbedaan struktur pada berbagai titik kompresi menjelaskan perilaku linier gaya tahanan versus rasio kompresi hingga 40 persen, dan perilaku non-linear ketika rasio kompresi meningkat di luar tingkat ini. Di dalam kernel yang tidak terkompresi, sel yang relatif utuh ditemukan di area yang kosong. Di sekitar area kosong ada sel-sel dengan dinding sel yang terganggu dan, karenanya, granula pati bebas. Granula pati dalam sel yang terganggu telah memiliki akses ke air dan menjadi sepenuhnya gelatin dengan memasak, sehingga rongga disegel oleh pati gelatin. Rincian struktur dari area yang kosong menunjukkan cara bahwa void dan jaringan sekitarnya berubah selama kompresi. Dalam kernel yang tidak terkompresi, kekosongan relatif sempit dan menunjuk ke arah sisi lateral. Kompresi kernel pada 30 persen menyebabkan kekosongan menjadi lebih luas di pusat dan mungkin terbagi lebih banyak ke arah pinggiran kernel, sedangkan sel-sel individual yang mengelilingi kekosongan menjadi sedikit terdistorsi. Kompresi 50 persen dan 70 persen, menurunkan volume kekosongan, dan bentuk sel yang terdistorsi agak mempengaruhi integritas sel. Efek kompresi pada 50 persen lebih kecil dari pada 70 persen. Area tanpa void juga dibandingkan secara struktural dengan yang berada di tepi kernel. Sel-sel dari kernel yang dimasak dan tidak terkompresi secara radial berorientasi seperti pada kernel mentah, dan sel-sel tampak sebagian besar masih utuh. Kompresi pada 70 persen menyebabkan sel menjadi lebih bundar karena efek penghancuran, dengan sangat sedikit area di mana dinding sel telah robek. Dinding sel jelas mampu deformasi plastik tidak hanya pada saat memasak tetapi juga dengan kompresi. Sejauh mana struktur kernel berubah selama berbagai tes kompresi, dikombinasikan dengan perilaku linear dan kemudian non-linier dari kekuatan perlawanan versus rasio kompresi, menunjukkan bahwa area kosong dan dinding sel memiliki efek pada tekstur.



Gambar ‎4.4 Kekuatan resistensi rata-rata dari kernel beras yang dimasak terhadap kompresi. (Averaged resistance force of cooked rice kernels against compression.)

Gambar hasil SEM (*scanning electron micrographs*) juga digunakan untuk memvisualisasikan perubahan formasi senyawa yang terkandung dalam butir padi selama proses memasak atau pengolahan. Sandhya dan Bhattacharya (1995) menentukan kekakuan / kerapuhan relatif butiran pati dengan SEM. Mereka melaporkan bahwa pati beras rendah amilosa menunjukkan jumlah granul disintegrasi setelah 60 menit memasak di 95◦C, tapi itu butiran tinggi amilosa menunjukkan hanya disorganisasi marjinal di pekat (12%) berbentuk pasta. Butiran pati lilin hancur bahkan pada 70◦C. Terlepas dari ini, butiran membengkak tanpa gangguan yang cukup besar dan dengan demikian tampaknya lebih banyak dalam pati amilase rendah daripada dalam pati amilosa tinggi di encer (1%) berbentuk pasta. Hasil mereka juga menunjukkan bahwa butiran pati amilosa rendah bersifat lemah dan rapuh, dan dengan demikian membengkak dan hancur dengan mudah. Pati beras amilosa tinggi bersifat relatif kaku dan kaku, sehingga menolak pembengkakan atau disintegrasi. Oleh karena itu mereka menyimpulkan bahwa kekakuan / kerapuhan granula pati relatif adalah kunci untuk perbedaan dalam kualitas beras.

# Kesimpulan

Penggunaan teknologi visi komputer untuk evaluasi kualitas beras mentah dan yang sudah dimasak(nasi), dan hasil dari teknik ini, telah diringkas dalam bab ini, meskipun mungkin ada penelitian yang lebih terkait seperti pencitraan *near-infrared spectroscopic imaging* dan *ultra-weak photon-emission imaging*. Karena teknologi visi komputer masih berkembang seiring dengan perkembangan perangkat keras dan perangkat lunak, banyak karakteristik yang tidak teridentifikasi akan terungkap. Teknik komputerisasi seperti untuk evaluasi kualitas beras harus diikuti tidak hanya dengan "*real imaging techniques*" tetapi juga dengan "*real imaging techniques*" -seperti misalnya, distribusi kekerasan dengan mekanika tekstur oleh pemodelan parametrik.

# Referensi

Atungulu G, Nishiyama Y,Koide S (2003) Evaluation of condensation phenomenaon grains by image analysis. *Agricultural Engineering Journal*, 12 (1&2), 65–78.

Bechtel DB, Pomeranz Y (1977) Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oriza Sativa*) caryopsis. The caryopsis coat and the aleurone cells. *American Journal of Botany*, 64 (8), 966–973.

Bechtel DB, Pomeranz Y (1978a) Implications of the rice kernel structure in storage, marketing, and processing: a review. *Journal of Food Science*, 43 (5), 1538–1542.

Bechtel DB, Pomeranz Y (1978b) Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oriza Sativa*) caryopsis. The germ. *American Journal of Botany*, 65 (1), 75–85.

Bechtel DB, Pomeranz Y (1978c) Ultrastructure of the mature ungerminated rice (*Oriza Sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. *American Journal of Botany*, 65 (6), 684–691.

Bradbury JH, Collins JG, Pyliotis NA (1980) Methods of separation of major histological components of rice and characterization of their proteins by amino acid analysis. *Cereal Chemistry*, 57 (2), 133–137.

Carter R M,Yan Y,Tomlins K (2006) Digital imaging based classification and authentication of granular food products. *Measurement Science and Technology*, 17, 235–240.

Dalen GV (2004) Determination of the size distribution and percentage of broken kernels of rice using flatbed scanning and image analysis. *Food Research International*, 37, 51–58.

Dang J M C, Copeland L (2003) Imaging rice grains using atomic force microscopy. *Journal of Cereal Science*, 37, 165–170.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2006) I. Production. FAO *Rice Market Monitor*, 9 (1), 3.

Fulcher RG (1982) Fluorescence microscopy of cereals. *Food Microstructure*, 1, 167–175.

Furukawa S, Mizuma T, KiyokawaY, Masumura T, Tanaka K, WakaiY (2003) Distribution of storage proteins in low-glutelin rice seed determined using fluorescent antibody. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 96 (5), 467–473.

Goodman DE, Rao RM (1984) A new, rapid, interactive image analysis method for determining physical dimensions of milled rice kernels. *Journal of Food Science*, 49, 648–649.

Horigane AK, Toyoshima H, Hemmi H, Engelaar WMHG, Okubo A, Nagata T (1999) Internal hollows in cooked rice grains (Oryza sativa cv. Koshihikari) observed by NMR micro imaging. *Journal of Food Science*, 64, 1–5.

HoriganeAK, EngelaarWMHG,Toyoshima H, Ono H, Sasaki M, OkuboA, NagataT (2000) Differences in hollow volumes in cooked rice grain with various amylose contents as determined by NMR micro imaging. *Journal of Food Science*, 65, 408–412.

Horigane AK, Engelaart WMHG, Maruyama S, Yoshida M, Okubo A, Nagata T (2001) Visualization of moisture distribution during development of rice caryopses (Oriza sativa L.) by nuclear magnetic resonance microimaging. *Journal of Cereal Science*, 33, 105–114.

Hoshikawa K (1993a) Quality and shape of rice grains. In *Science of the Rice Plant*. Vol.1. Morphology (MatsuoT, Hoshikawa K, eds). Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, pp. 377–412.

Hoshikawa K (1993b) Rice seed, germination and seedlings. In *Science of the Rice Plant*. Vol. 1. Morphology (MatsuoT, Hoshikawa K, eds). Tokyo: Food andAgriculture Policy Research Center, pp. 91–109.

Ishida N, Naito S, Kano H (2004) Loss of moisture from harvested rice seeds on MRI. *Magnetic Resonance Imaging*, 22, 871–875.

Jia CC, Yang W, Siebenmorgen TJ, Bautista RC, Cnossen AG (2002) A study of rice fissuring by finite-element simulation of internal stress combined with high-speed microscopy imaging of fissure appearance. *Transactions of the ASAE*, 45 (3),741–749.

Juliano BO (1972) The rice caryopsis and its composition. In *Rice, Chemistry and technology* (Houston DF, ed). St Paul: American Association of Cereal Chemists, pp. 16–74.

Kasai M, LewisA, Marica F,Ayabe S, Hatae K, Fyfe CA (2005) NMR imaging investigation of rice cooking. *Food Research International*, 38, 403–410.

KatsumataT, SuzukiT,Aizawa H, Matashige E, Komuro S, MorikawaT (2005) Nondestructive evaluation of rice using two-dimensional imaging of photoluminescence. *Review of Scientific Instruments*, 76 (7), 073702, 1–4.

Kawamoto T, Shimizu M (1986) A method for preparing whole body sections suitable for autoradiographic, histological and histochemical studies. *Stain Technology*, 61, 169–183.

Kennedy BM, Schelstraete M, Del Rosario AR (1974) Chemical, physical, and nutritional properties of high-protein flours and residual kernel from the overmilling of uncoated milled rice. I. Milling procedure and protein, fat, ash, amylose, and starch content. *Cereal Chemistry*, 51, 435–448.

Lai FS, Zayas I, Pomeranz Y (1986) Application of pattern recognition techniques in the analysis of cereal grains. *Cereal Chemistry*, 63 (2), 168–172.

Lan Y, Fang Q, Kocher MF, Hanna MA (2002) Detection of fissures in rice grains using imaging enhancement. *International Journal of Food Properties*, 5 (1), 205–215.

Levinthal C, Ware R (1972) Three dimensional reconstruction from serial sections. *Nature*, 236, 207–210.

Lim MC, Lim KC, Abdullah MZ (2003) Rice moisture imaging using electromagnetic measurement technique.*Transactions of the Institution of Chemica lEngineers*, PartC, 81 (3), 159–169.

Mohoric A, Vergeldt F, Gerkema E, de Jager A, van Duynhoven J, van Dalen G, Van As H (2004) Magnetic resonance imaging of single rice kernels during cooking. *Journal of Magnetic Resonance*, 171, 157–162.

OgawaY, Sugiyama J, Kuensting H, OhtaniT, Hagiwara S, Kokubo K, Kudoh K, Higuchi T (2000) Development of visualization technique for three-dimensional distribution of protein and starch in a brown rice grain using sequential stained sections. *Food Science and Technology Research*, 6 (3), 176–178.

Ogawa Y, Sugiyama J, Kuensting H, Ohtani T, Hagiwara S, Liu XQ, Kokubo M, Yamamoto A, Kudoh K, Higuchi T (2001) Advanced technique for three-dimensional visualization of compound distributions in a rice kernel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (2), 736–740.

Ogawa Y, Kuensting H, Sugiyama J, Ohtani T, Liu XQ, Kokubo M, Kudoh K, Higuchi T (2002a) Structure of a rice grain represented by a new three-dimensional visualization technique. *Journal of Cereal Science*, 36 (1), 1–7.

OgawaY, Kuensting H, Nakao H, Sugiyama J (2002b)Three-dimensional lipid distribution of a brown rice kernel. *Journal of Food Science*, 67 (7), 2596–2599.

Ogawa Y, Orts WJ, Glenn GM, Wood DF (2003a) A simple method for studying whole sections of rice grain. *Biotechnic & Histochemistry*, 78 (5), 237–242.

Ogawa Y, Glenn GM, Orts WJ, Wood DF (2003b) Histological structures of cooked rice grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (24), 7019–7023.

OgawaY, Wood DF, Whitehand LC, Orts WJ, Glenn GM (2006) Compression deformation and structural relationships of medium grain cooked rice. Cereal Chemistry, 83 (6), 636–640.

Palmgren A (1954) Tape for micro sectioning of very large, hard or brittle specimens. *Nature*, 174, 46.

Ramesh MN (2001) An application of image analysis for the study of kinetics of hydration of milled rice in hot water. *International Journal of Food Properties*, 4 (2), 271–284.

Sakai N, Yonekawa S, Matsuzaki A, Morishima H (1996) Two-dimensional image analysis of the shape of rice and its application to separating varieties. Journal of Food Engineering, 27, 397–407.

Sandhya MR, Bhattacharya KR (1995) Microscopy of rice starch granules during cooking. *Starch/Starke*, 46 (9), 334–337.

Shatadal P, Jayas DS, Bulley NR (1995a) Digital image analysis for software separation and classification of touching grain: I. disconnect algorithm. *Transactions of the ASAE*, 38 (2), 635–643.

Shatadal P, Jayas DS, Bulley NR (1995b) Digital image analysis for software separation and classification of touching grain: II. classification. *Transactions of the ASAE*, 38 (2), 645–649.

Suzuki K, Aki M, Kubota K, Hosaka H (1997) Studies on the cooking rate equations of rice. *Journal of Food Science*, 42 (6), 1545–1548.

Suzuki M, Horigane AK, Toyoshima H, Yan X, Okadome H, Nagata T (1999) Detection of internal hollows in cooked rice using a light transmittance method. *Journal of Food Science*, 64, 1027–1028.

Suzuki M, KimuraT,Yamagishi K, Shinmoto H (2002) Discrimination of cooked mochiminori and koshihikari rice grains by observation of internal hollows using light transmittance photography. *Food Science and Technology Research,* 8 (1), 8–9.

Takeoka Y, Shimizu M, Wada T (1993) Morphology and development of reproductive organs. In Science of the Rice Plant. Vol. 1. Morphology (Matsuo T, Hoshikawa K, eds). Tokyo: *Food and Agriculture Policy Research Cente*r, pp. 339–376.

Takeuchi S, Fukuoka M, GomiY, Maeda M,Watanabe H (1997a)An application of magnetic resonance imaging to the real time measurement of the change of moisture profile in a rice grain during boiling. *Journal of Food Engineering*, 33, 181–192.

Takeuchi S, Maeda M, Gomi Y, Fukuoka M, Watanabe H (1997b) The change of moisture distribution in a rice grain during boiling as observed by NMR imaging. *Journal of Food Engineering*, 33, 281–297.

Wan YN (2002) Kernel handling performance of an automatic grain quality inspection system. *Transactions of the ASAE*, 45 (2), 369–377.

Wan YN, Lin CM, Chiou JF (2002) Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system. *Transactions of the ASAE*, 45 (2), 379–387.

Wang YC, Chou JJ (2004) Automatic segmentation of touching rice kernels with an active contour model. *Transactions of the ASAE*, 47 (5), 1803–1811.

Watanabe H, Fukuoka M, Tomiya A, Mihori T (2001) A new-Fickian diffusion model for water migration in starchy food during cooking. *Journal of Food Engineering*, 49,1–6.

Watson CA, Dikeman E (1977) Structure of the rice grain shown by scanning electron microscopy. *Cereal Chemistry*, 54 (1), 120–130.

Yadav BK, Jindal VK (2001) Monitoring milling quality of rice by image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33, 19–33.

Yasumatsu K, Moritaka S (1964) Fatty acid compositions of rice lipid and their changes during storage. *Agricultural and Biological Chemistry*, 28 (5), 257–264.

Yiu SH (1993) Food microscopy and the nutritional quality of cereal foods. *Food Structure*, 12, 123–133.