

PERUBAHAN KUALITAS SUSU PASTEURISASI DALAM BERBAGAI JENIS KEMASAN

Quality Changes of Pasteurized Milk in Some Packages

Indrie Ambarsari, Qanytah, dan Tri Sudaryono

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah
Bukit Tegalepek, Sidomulyo, Kotak Pos 101 Ungaran 50501
Telp. (024) 6924965, 6924967, Faks. (024) 6924966
E-mail: bhpt-jateng@litbang.deptan.go.id

Diajukan: 15 Mei 2012; Disetujui: 12 Desember 2012

ABSTRAK

Susu pasteurisasi merupakan salah satu produk olahan susu cair yang banyak dikonsumsi masyarakat. Susu pasteurisasi bersifat mudah rusak sehingga umur simpannya pendek. Teknologi pengemasan memegang peranan penting dalam memperpanjang masa simpan produk. Berbagai jenis kemasan digunakan untuk mengemas susu, seperti botol gelas, kotak karton, dan kemasan dari plastik. Setiap bahan kemasan memiliki keunggulan dan kelemahan. Kemasan yang baik dapat menghambat perubahan kualitas susu pasteurisasi selama penyimpanan, baik dari segi mikrobiologi, kimia, maupun sensoris. Paparan cahaya pada kemasan akan memicu terjadinya oksidasi lipid, kehilangan riboflavin, dan kerusakan *flavor* pada susu pasteurisasi. Oleh karena itu, penggunaan kemasan yang dapat menangkal cahaya dapat menghambat kerusakan susu pasteurisasi selama penyimpanan. Namun, kemasan bukan satu-satunya faktor yang menentukan kualitas susu pasteurisasi. Kualitas dan komposisi bahan baku serta migrasi senyawa yang terdapat pada kemasan ke dalam susu yang dikemas juga menentukan kualitas susu pasteurisasi.

Kata kunci: Susu pasteurisasi, kemasan, umur simpan, kualitas

ABSTRACT

Pasteurized milk is one of liquid processed milk that consumed by most community. This product is easily to deteriorate that shorten its shelf life. Packaging technology has an important role in extending shelf life of milk. Many packaging materials were used to package milk such as glass bottle, paperboard carton, and plastic. Each packaging material had its own advantages and disadvantages. Good packaging could protect pasteurized milk from microbiological, chemical, and sensorial changes during storage. Lipid oxidation, riboflavin retention, and flavor defects in pasteurized milk were influenced by light presences. Hence, the use of light protected packaging will be very helpful in inhibiting product deterioration. However, light and oxygen presences were not major factor leading to microbial growth and vitamin A degradation on pasteurized milk. The quality and composition of milk as raw material, as well as migration of material packaging can also affect quality changes in pasteurized milk.

Keywords: Pasteurized milk, packaging, shelf life, quality

PENDAHULUAN

Susu dan produk olahannya merupakan sumber kalsium terbaik. Selain kalsium, susu juga mengandung hampir seluruh zat gizi yang dibutuhkan tubuh manusia. Mahaputra (2001) menyebutkan susu mengandung asam-asam lemak esensial yang tidak dapat dibentuk oleh tubuh dan sangat dibutuhkan dalam membangun kecerdasan otak manusia. Selain itu, beberapa jenis zat gizi yang terkandung dalam susu seperti laktosa dan kasein, tidak dapat ditemukan pada bahan makanan lainnya (GKSI Korda Jatim 1995).

Salah satu produk olahan susu cair yang banyak dikonsumsi masyarakat adalah susu pasteurisasi. Dari beberapa produk olahan susu cair yang ada di pasaran, susu pasteurisasi menempati urutan kedua setelah susu UHT dengan pangsa pasar 42% (Anonymous 2008). Menurut Karya (2001), rendahnya konsumsi susu pasteurisasi disebabkan oleh berbagai hal, antara lain umur simpannya relatif singkat, proses penanganannya sulit, dan adanya persepsi sebagian besar masyarakat bahwa susu pasteurisasi kurang aman dikonsumsi.

Pasteurisasi adalah perlakuan panas dengan suhu lebih rendah dari susu sterilisasi dan biasanya dilakukan di bawah suhu didih air (Idris 1992), yaitu pada suhu 73°C selama 30 menit atau 92°C selama 15 detik. Pemanasan pada pasteurisasi merupakan pemanasan ringan untuk membunuh sebagian mikroorganisme patogenik dengan menekan seminimal mungkin kehilangan nilai nutrisi dan mempertahankan semaksimal mungkin sifat fisik dan cita rasa susu segar (Purnomo dan Adiono 1987). Namun, susu pasteurisasi mudah rusak sehingga umur simpannya pendek.

Penurunan kualitas susu yang paling cepat dirasakan oleh konsumen adalah perubahan *flavor* akibat ternak mendapat pakan yang mengandung bahan tertentu (Palmquist *et al.* 1993) maupun terjadinya perubahan kimia, fisikokimia, dan mikrobiologi pada produk itu sendiri (van Aardt *et al.* 2001). Faktor utama yang memengaruhi kualitas susu pasteurisasi adalah bahan

baku susu, perlakuan panas atau kondisi pengolahan, kontaminasi setelah pasteurisasi, bahan kemasan yang digunakan, dan kondisi penyimpanan (Allen dan Joseph 1985; Zygoura *et al.* 2004).

Industri pengolahan susu terus berusaha mengembangkan teknologi untuk memperpanjang umur simpan susu dan produk olahannya. Teknologi pengemasan memegang peranan penting berkaitan dengan umur simpan produk. Pengemasan yang baik dapat melindungi produk dari kontaminasi mikroba, serta mencegah proses oksidasi karena pengaruh cahaya dan oksigen (Vassila *et al.* 2002; Zygoura *et al.* 2004).

Berbagai jenis bahan kemasan digunakan untuk mempertahankan kualitas dan memperpanjang umur simpan susu pasteurisasi, mulai dari kemasan botol gelas, dus karton, hingga kemasan dari plastik. Setiap jenis bahan kemasan memiliki keunggulan dan kelemahan. Tulisan ini mengulas pengaruh penggunaan bahan kemasan terhadap kualitas susu pasteurisasi, baik dari segi mikrobiologi, kimia maupun perubahan sensorisnya.

JENIS KEMASAN SUSU PASTEURISASI

Jenis kemasan memengaruhi kualitas susu pasteurisasi, karena kemasan secara langsung menentukan jumlah oksigen dan cahaya yang dapat berinteraksi dengan produk, selain melindungi produk dari kontaminasi mikroorganisme setelah pasteurisasi (Vassila *et al.* 2002). Bahan yang sering digunakan sebagai kemasan susu pasteurisasi adalah gelas, karton berlapis (*coated paperboard*), plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE), *polycarbonate* (PC), maupun *polyethylene terephthalate* (PET), serta kemasan fleksibel dalam bentuk *pouch* atau lainnya.

Kemasan Gelas

Gelas merupakan salah satu bahan kemasan tertua. Sebagai bahan kemasan, gelas memiliki sifat-sifat menguntungkan, seperti tidak bereaksi dengan bahan yang dikemas (*inert*), kuat, tahan rusak, serta penghalang yang sangat baik terhadap benda padat, cair maupun gas (Syarief *et al.* 1989). Kemasan gelas juga mudah dibersihkan dan disterilisasi sehingga dapat digunakan kembali atau didaur ulang (Girling 2000). Kemasan gelas mampu memberikan perlindungan hampir mutlak terhadap bahan kimia maupun pengaruh lingkungan. Karena tidak berbau dan tahan terhadap bahan kimia, kemasan gelas dapat digunakan pada hampir semua jenis produk makanan. Sifatnya yang kedap terhadap udara maupun uap air menjadikan kemasan gelas memiliki beberapa keunggulan sebagai pengemas pangan, seperti dapat menjaga kesegaran produk untuk jangka waktu lama tanpa mengubah rasa maupun *flavor* (Marsh dan Bugusu 2007). Karena tahan terhadap suhu tinggi, kemasan gelas sangat

berguna untuk produk pangan yang membutuhkan pemanasan sterilisasi. Selain itu, kemasan gelas bersifat ramah lingkungan karena dapat digunakan kembali (*reusable*) dan dapat didaur ulang (*recyclable*).

Kelemahannya adalah mudah pecah dan kurang menguntungkan bagi produk yang peka terhadap cahaya karena bersifat tembus pandang (Syarief *et al.* 1989). Marsh dan Bugusu (2007) menyebutkan kemasan gelas mudah pecah karena adanya tekanan internal, guncangan, ataupun panas yang tinggi.

Kemasan gelas untuk makanan dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan bentuknya, yaitu botol berleher sempit serta *jar* dan pot yang berleher lebar (Girling 2000). Wadah gelas di pasaran tersedia dalam dua jenis, yaitu gelas bening dan gelas berwarna. Pewarnaan gelas dapat dilakukan dengan menambahkan sejumlah kecil oksida-oksida dari berbagai logam seperti kromium, kobalt, dan besi. Senyawa-senyawa tersebut ditambahkan pada proses pembuatan wadah gelas (Syarief *et al.* 1989). Girling (2000) menyebutkan wadah gelas berwarna amber mampu melindungi produk dari sinar ultraviolet (UV), sedangkan gelas berwarna hijau mampu memberi perlindungan parsial terhadap sinar UV.

Penggunaan wadah gelas sebagai kemasan susu cair saat ini cenderung menurun dan digantikan kemasan plastik dan karton (Girling 2000). Bobot kemasan gelas menjadi pertimbangan utama sehingga penggunaannya tergeser bahan kemasan lain. Kemasan gelas yang tebal akan menambah bobot sehingga meningkatkan biaya penyimpanan dan distribusi produk. Namun, kemajuan di bidang teknologi pengemasan mampu memperbaiki kelemahan kemasan gelas, baik kekuatan, bobot, warna maupun bentuknya (Vacklavic dan Christain 2008).

Kemasan Karton Berlapis (Coated Paperboard)

Kemasan karton memiliki sifat mekanis yang baik, namun sifat hidrofilik alaminya menjadi masalah utama dalam penggunaannya, terutama untuk makanan basah (Popa dan Belc 2007). Untuk mengatasi masalah tersebut, bahan kemasan ini dilapisi dengan pelapis tahan air seperti lapisan tipis dari plastik sintesis. Pemberian lapisan pada kemasan kertas bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat kemasan agar sesuai dengan keinginan pengguna. Umumnya pelapisan dilakukan dengan menggunakan pelarut berbasis air, pelarut bukan air, dispersi dalam air, dengan pelelehan (*hot melt*), atau dengan pelapisan ekstrusi (Syarief *et al.* 1989).

Sebagai kemasan susu cair, kemasan karton umumnya dilapisi plastik polietilen (PE) pada kedua sisinya (Kirwan 2000). Untuk menambah efek perlindungan pada produk, produsen menggabungkan kemasan karton dengan *aluminium foil* atau film plastik PET. Dalam perkembangannya, penggunaan *aluminium foil* untuk laminasi kotak karton mulai digantikan dengan *ethylene vinyl*

alcohol (EVOH). EVOH merupakan penghalang yang sangat baik terhadap oksigen, selain limbahnya mudah ditangani.

Kemasan Plastik

Plastik dibuat melalui proses polimerisasi, baik kondensasi polimerisasi (polikondensasi) atau penambahan polimer dari unit-unit monomer (Marsh dan Bugusu 2007). Awalnya plastik dibuat dari bahan-bahan alami seperti minyak, arang, dan gas (Kirwan dan Strawbridge 2000). Namun dalam perkembangannya, bahan plastik digantikan oleh bahan-bahan sintetis untuk mendapatkan sifat-sifat plastik yang spesifik.

Kemasan plastik memiliki sifat-sifat yang menguntungkan seperti mudah dibentuk, beradaptasi baik terhadap produk, tahan korosi, dan mudah penanganannya (Syarief *et al.* 1989). Plastik tahan terhadap berbagai senyawa serta tidak bersifat reaktif terhadap bahan kimia anorganik seperti asam, basa ataupun pelarut organik, sehingga sesuai sebagai kemasan produk pangan (Kirwan dan Strawbridge 2000). Beberapa jenis plastik mudah di-seal dengan menggunakan panas, mudah dicetak, dan dapat diintegrasikan dalam proses produksi, di mana kemasan dibentuk, diisi, dan di-seal dalam lini produksi yang sama (Marsh dan Bugusu 2007).

Kelemahan utama kemasan plastik adalah permeabilitasnya terhadap cahaya, udara, air, dan molekul rendah (Marsh dan Bugusu 2007). Karena itu, beberapa jenis plastik dapat menyerap komponen makanan, seperti minyak dan lemak (Kirwan dan Strawbridge 2000). Selain itu, terdapat isu kesehatan yang terkait dengan residu monomer dan komponen plastik yang dapat bermigrasi ke dalam makanan (Marsh dan Bugusu 2007).

Dalam perdagangan dikenal plastik untuk kemasan pangan (*food grade*) dan kemasan nonpangan (*nonfood grade*), sehingga pemilihannya untuk kemasan makanan harus hati-hati untuk menghindari gangguan kesehatan. Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan makanan dapat dalam berbagai bentuk, antara lain: 1) wadah plastik kaku seperti botol, *jar*, dan *pot*, 2) plastik film yang fleksibel dalam bentuk kantong (*bag*), *sachet*, atau *pouch*, dan 3) lembaran plastik yang dikombinasikan dengan kotak karton untuk kemasan produk cair seperti susu pasteurisasi (Marsh dan Bugusu 2007). Jenis plastik yang umum digunakan sebagai kemasan susu pasteurisasi adalah plastik PE dan PET.

Polyethylene (PE)

Polietilen merupakan jenis plastik yang paling umum digunakan sebagai bahan kemasan, meskipun 63% lebih mahal dibanding jenis bahan plastik lainnya (Popa dan Belc 2007). PE diproduksi melalui proses polimerisasi adisi dari gas etilen hasil samping industri arang dan minyak

(Syarief *et al.* 1989). Plastik PE paling banyak digunakan dalam industri karena mudah dibentuk, tahan bahan kimia, bening, dan mudah digunakan untuk laminasi.

Berdasarkan densitasnya, kemasan PE dibagi menjadi dua, yaitu polietilen densitas rendah (*low density polyethylene/LDPE*) dan polietilen densitas tinggi (*high density polyethylene/HDPE*). LDPE dihasilkan melalui proses tekanan tinggi dan banyak digunakan untuk kantong. Keunggulannya adalah fleksibel, kuat, mudah di-seal, tahan air, dan murah (Syarief *et al.* 1989; Marsh dan Bugusu 2007). LDPE relatif transparan, sehingga kurang menguntungkan untuk produk pangan seperti susu yang peka cahaya (Marsh dan Bugusu 2007).

HDPE merupakan bahan kemasan plastik yang kaku dan tahan terhadap suhu tinggi (120°C) sehingga dapat digunakan untuk produk yang memerlukan pengolahan dengan pemanasan tinggi (Syarief *et al.* 1989), seperti susu pasteurisasi. Keunggulan kemasan HDPE adalah lebih kuat dibanding kemasan plastik lain, lebih tahan terhadap bahan kimia dan air, serta mudah diolah dan dibentuk. Kelemahan HDPE adalah dapat menyerap udara (Marsh dan Bugusu 2007).

Polyethylene Terephthalate (PET)

Selama dua dekade terakhir, polimer rantai panjang sederhana PET menjadi salah satu jenis kemasan polimer yang paling populer (Park *et al.* 2008). PET banyak digunakan sebagai bahan kemasan makanan karena sifat mekanisnya sangat baik, seperti jernih, tahan terhadap sinar UV, dan sebagai penghalang oksigen yang baik (Ros-Chumillas *et al.* 2007). Selain memiliki permeabilitas yang rendah terhadap oksigen, PET juga tidak bereaksi dengan bahan kimia sehingga dapat mempertahankan nilai nutrisi dan kualitas sensoris bahan pangan cair seperti susu, soda, dan jus berkarbonasi (Park *et al.* 2008). Botol PET mudah dibuka dan ditutup kembali sehingga dapat meminimalkan kontaminasi produk (Mestdagh *et al.* 2005; Papachristou *et al.* 2006). Keunggulan lain dari kemasan PET adalah ringan, tidak mudah pecah, dan dapat didaur ulang untuk bahan kemasan pangan maupun nonpangan (Mestdagh *et al.* 2005). Namun, biaya penggunaan bahan kemasan ini untuk produk pangan relatif tinggi (Ros-Chumillas *et al.* 2007). Selain itu, kemasan PET mengandung asetaldehid sebagai produk degradasi dari PET, sehingga dapat terjadi migrasi senyawa kimia tersebut dari bahan kemasan ke produk pangan yang dikemas (van Aardt *et al.* 2001).

Kemasan Fleksibel

Selain kemasan kaku (*rigid*) seperti kemasan gelas dan kemasan semikaku (*semirigid*) seperti botol plastik, di pasaran juga dikenal kemasan fleksibel. Terdapat sekitar 10.000 jenis kemasan fleksibel di dunia, namun yang

paling banyak digunakan adalah jenis plastik, selulosa, kertas, *aluminium foil*, dan kombinasi berbagai bahan kemasan. Untuk mendapatkan kombinasi ketebalan, kerapatan maupun sifat tertentu pada kemasan fleksibel, umumnya dibutuhkan satu sampai lima jenis bahan (Syarief *et al.* 1989).

Penggabungan beberapa jenis bahan kemasan tersebut dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah *co-extruded*. Menurut Syarief *et al.* (1989), keuntungan menggunakan metode *co-extruded* adalah biaya produksinya rendah dan dapat menggabungkan jenis-jenis polimer yang berlainan. Selain itu, *co-extruded* dapat menghubungkan bahan atau film menjadi lapisan multilapis. Penggabungan beberapa jenis bahan kemasan juga dapat dilakukan dengan metode laminasi adesif. Syarief *et al.* (1989) menyatakan metode laminasi adesif lebih luwes dan lebih menguntungkan dibandingkan *co-extruded*. Metode ini memungkinkan untuk mengombinasikan bahan-bahan yang tidak sesuai, bahan nonplastik, atau bahan yang memiliki kekuatan istimewa.

Kemasan fleksibel tersedia dalam beragam bentuk, antara lain bentuk botol, pembungkus (*wrap*), kantong (*bag*), ataupun *pouch* (Syarief *et al.* 1989). Penggunaan kemasan *pouch* polietilen pada susu segar dan UHT diperkenalkan pada awal tahun 1970-an di Kanada, yang diikuti oleh Amerika Serikat, Norwegia, dan Meksiko. Dibandingkan dengan kemasan kaku yang umum digunakan sebelumnya, kemasan fleksibel dapat menghemat biaya penyimpanan melalui penurunan volume dan bobot kemasan, serta menekan biaya distribusi lebih dari 60% (Vassila *et al.* 2002).

PERKEMBANGAN MIKROBIOLOGIS SUSU PASTEURISASI

Susu merupakan media yang sangat baik bagi mikroba dan dapat menjadi sarana penyebaran bakteri patogen (Rombaut 2005). *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, dan *Micrococcus* spp. merupakan bakteri yang umum terdapat pada susu segar (Chye *et al.* 2004). Susu juga mengandung bakteri patogen yang dapat menyebabkan keracunan berkaitan dengan konsumsi susu, seperti *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Staphylococcus aureus*, *B. cereus*, dan *Clostridium botulinum* (Bean *et al.* 1996). Bakteri pembusuk merupakan faktor utama yang membatasi umur simpan susu pasteurisasi (Petrus *et al.* 2010), yang ditandai dengan perubahan aroma dan rasa sehingga memengaruhi penerimaan konsumen (Fromm dan Boor 2004).

Kerusakan pada susu pasteurisasi dapat disebabkan oleh bakteri Gram-negatif yang mengontaminasi susu setelah pasteurisasi maupun bakteri Gram-positif yang beberapa di antaranya dapat bertahan pada suhu pasteurisasi (Boor dan Murphy 2002). Bakteri psikrotropik

merupakan organisme pembusuk utama yang terdapat pada susu (Simon dan Hansen 2001). Bakteri psikrotropik Gram-negatif merupakan kontaminan yang paling umum ditemukan pada susu cair komersial. Bakteri ini berkembang setelah proses pasteurisasi akibat pengemasan yang kurang tepat maupun sanitasi yang buruk (Gruetzmacher dan Bradley 1998). Bakteri psikrotropik mampu tumbuh pada suhu 0 °C dan tumbuh optimal pada suhu di atas 20 °C (Gounot 1986).

Beberapa jenis bakteri psikrotropik yang banyak ditemukan pada susu dan produk olahannya adalah *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Mycobacterium* (Chye *et al.* 2004). Sebagian besar bakteri psikrotropik, khususnya *Pseudomonas*, menghasilkan lipase dan proteinase yang dapat bertahan pada suhu pasteurisasi (Rowe dan Gilmour 1985). Petrus *et al.* (2010) menyatakan perhitungan jumlah bakteri psikrotropik pada susu sangat penting karena akan menentukan kualitas produk. Aktivitas metabolik bakteri psikrotropik dapat menyebabkan perubahan biokimia pada unsur pokok susu. Bakteri psikrotropik masih dapat melakukan aktivitas metabolisnya pada susu yang disimpan dingin sehingga menyebabkan perubahan rasa, bau, dan tampilan produk, serta proteolisis dan lipolisis yang dikatalisis oleh enzim yang berasal dari mikroba, sehingga membatasi umur simpan susu.

Berbagai penelitian (Vassila *et al.* 2002; Zygoura *et al.* 2004; Papachristou *et al.* 2006) telah dilakukan untuk mengetahui aktivitas mikroba psikrotropik pada susu pasteurisasi dalam berbagai jenis kemasan selama penyimpanan. Tabel 1 menunjukkan bahwa dibanding jenis kemasan lainnya, *pouch* LDPE (bening maupun berwarna) dengan ketebalan 60 µm memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menghambat aktivitas pertumbuhan bakteri psikrotropik pada susu pasteurisasi selama penyimpanan. Botol PET dan HDPE kurang mampu melindungi susu dari aktivitas bakteri psikrotropik. Menurut Erickson (1997), kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan dimensi dan area permukaan bahan yang digunakan untuk mengemas susu.

Komposisi susu yang digunakan sebagai bahan baku juga memengaruhi aktivitas pertumbuhan mikroba dalam produk (Nada *et al.* 2012). Hal ini ditunjukkan oleh hasil penelitian Papachristou *et al.* (2006) dan Vassila *et al.* (2002) dengan menggunakan bahan baku *whole milk*, dan Zygoura *et al.* (2004) dengan *full fat milk*.

Selain bakteri psikrotropik, bakteri mesofilik juga merupakan kontaminan dapat merusak susu selama penyimpanan. Pengaruh penggunaan bahan kemasan terhadap pertumbuhan bakteri mesofilik pada susu pasteurisasi selama penyimpanan dapat dilihat pada Tabel 1. Penambahan penangkal UV (*UV blocker*) pada kemasan botol PET efektif menghambat pertumbuhan bakteri mesofilik dibanding bahan kemasan lainnya. Penambahan lapisan seperti PA pada *pouch* LDPE kurang efektif menghambat pertumbuhan bakteri pada susu pasteurisasi yang dikemas di dalamnya.

Tabel 1. Aktivitas bakteri psikrotropik dan mesofilik pada susu pasteurisasi dalam berbagai kemasan.

Bahan kemasan	Peningkatan jumlah mikroba (%) ¹	Referensi
Aktivitas bakteri psikrotropik		
Botol HDPE <i>co-extruded</i> tiga lapis, berwarna	25,4	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE lapis tunggal, berwarna	27,6	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening	29,9–68,0	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan dari PP film	32,0	Zygoura <i>et al.</i> (2004); Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label warna putih dari PP film	25,5	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET berwarna	39,3	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
<i>Pouch</i> LDPE bening, 60 µm	12,1	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE berwarna, 60 µm	13,8	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> bening LDPE/PA/LDPE, 60 µm	22,7	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE/PA/LDPE, berwarna 60 µm	21,3	Vassila <i>et al.</i> (2002)
Dus karton berlapis (<i>coated paperboard</i>)	21,8–40,2	Papachristou <i>et al.</i> (2006); Vassila <i>et al.</i> (2002); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Aktivitas bakteri mesofilik		
Botol HDPE <i>co-extruded</i> tiga lapis, berwarna	25,4	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE <i>co-extruded</i> tiga lapis, berwarna	4,3	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE lapis tunggal, berwarna	3,0	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening	1,5–33,4	Papachristou <i>et al.</i> (2006); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan dari PP film	0,9	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label warna putih dari PP film	0,6	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET berwarna	3,4	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
<i>Pouch</i> LDPE bening, 60 µm	2,8	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE berwarna, 60 µm	5,7	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> bening LDPE/PA/LDPE, 60 µm	10,6	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE/PA/LDPE, berwarna 60 µm	19,5	Vassila <i>et al.</i> (2002)
Dus karton berlapis (<i>coated paperboard</i>)	0,9–16,3	Papachristou <i>et al.</i> (2006); Vassila <i>et al.</i> (2002); Zygoura <i>et al.</i> (2004)

¹Sampel uji setelah penyimpanan 5–6 hari pada suhu 4°C.

HDPE = *high density polyethylene*; PET = *polyethylene terephthalate*; LDPE = *low density polyethylene*; PP = *polypropylene*.

Pasteurisasi hanya mematikan 95–99% bakteri yang ada (Adnan (1994). Keberadaan mikroba pada susu pasteurisasi bergantung pada suhu penyimpanan serta jumlah dan tipe mikroba yang tahan terhadap perlakuan pasteurisasi (Frazier dan Westhoff 1979). Menurut Kilcast dan Subramaniam (2000), pertumbuhan mikroba selama penyimpanan susu bergantung pada beberapa faktor, antara lain jumlah mikroba pada awal penyimpanan, sifat fisikokimia pangan (kadar air, pH, dan bahan pengawet), cara pengolahan, dan lingkungan eksternal (komposisi gas dan suhu penyimpanan).

PERUBAHAN KIMIAWI SUSU PASTEURISASI

Oksidasi Lipida

Tingkat oksidasi pada susu pasteurisasi meningkat secara bertahap sejalan dengan pertambahan waktu (Vassila *et*

al. 2002; Moyssiadi *et al.* 2004; Papachristou *et al.* 2006). Oksidasi lipida menyebabkan timbulnya bau dan rasa yang tidak diinginkan atau sering kali disebut dengan proses ketengikan. Oksidasi lipida dipicu oleh cahaya (Papachristou *et al.* 2006), sehingga bahan kemasan yang digunakan akan memberikan perlindungan yang berbeda terhadap susu. Tabel 2 menunjukkan penambahan penangkal UV pada kemasan botol PET dapat menghambat laju oksidasi lipida pada susu pasteurisasi. Namun secara umum, tingkat oksidasi lipida pada susu pasteurisasi dalam berbagai jenis kemasan tidak berbeda. Menurut Vassila *et al.* (2002); Moyssiadi *et al.* (2004); Papachristou *et al.* (2006), pada penyimpanan jangka pendek, permeabilitas oksigen tidak memengaruhi tingkat oksidasi lipida pada produk.

Vitamin A

Paparan cahaya, terutama dengan panjang gelombang kurang dari 500 nm dapat merusak vitamin yang sensitif

terhadap cahaya, khususnya riboflavin dan vitamin A (Fanelli *et al.* (1985). Menurut Vassila *et al.* (2002), ada dua mekanisme kerusakan vitamin A. Mekanisme pertama melibatkan proses oksidasi dengan mengaktivasi oksigen bawaan, sedangkan mekanisme kedua dengan mengadsorpsi energi radiasi dengan panjang gelombang kurang dari 415 nm. Penurunan kandungan vitamin A pada susu pasteurisasi dalam berbagai jenis kemasan selama penyimpanan disajikan pada Tabel 3. Botol HDPE memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mencegah penurunan kandungan vitamin A pada susu pasteurisasi dibanding kemasan botol PET, LDPE, maupun kotak karton.

Cahaya dan oksigen memengaruhi dekomposisi vitamin A pada susu pasteurisasi, karena bahan penghalang seperti LDPE/PA/LDPE tidak efektif mencegah degradasi vitamin A (Vassila *et al.* 2002). Namun

Moyssiadi *et al.* (2004) mengemukakan pewarnaan kemasan dengan menggunakan TiO₂ (titanium dioksida) dapat menghambat degradasi vitamin A pada susu pasteurisasi. Sementara itu Vassila *et al.* (2002) menyatakan penambahan bahan pengisi (*filler*) anorganik seperti TiO₂ untuk memblokir radiasi dengan panjang gelombang yang berbahaya, tidak efektif melindungi vitamin A dari kerusakan. Hal ini kemungkinan karena partikel pengisi dapat berperan sebagai pusat penyebaran (*scattering*) bagi sebagian cahaya untuk masuk ke dalam susu (de Man 1978).

Berdasarkan nilai transmisi oksigen, volume *headspace*, nilai oksigen terlarut, dan konsentrasi oksigen *headspace*, Moyssiadi *et al.* (2004) menyimpulkan bahwa dalam masa simpan yang pendek, oksigen bukan merupakan faktor utama yang menyebabkan degradasi

Tabel 2. Tingkat oksidasi lipida pada susu pasteurisasi dalam berbagai kemasan selama penyimpanan pada suhu 4°C.

Bahan kemasan	Tingkat oksidasi lipid ¹	Referensi
Botol HDPE <i>co-extruded</i> tiga lapis, berwarna	0,10	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE lapis tunggal, berwarna	0,11	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening	0,07–0,14	Papachristou <i>et al.</i> (2006); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan dari PP film	0,05	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label warna putih dari PP film	0,05	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET berwarna	0,13–0,15	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004) Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Dus karton berlapis (<i>coated paperboard</i>)	0,07–0,10	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Papachristou <i>et al.</i> (2006);

¹Hasil uji TBA pada sampel setelah penyimpanan 5–6 hari pada suhu 4°C.

HDPE = *high density polyethylene*; PET = *polyethylene terephthalate*; LDPE = *low density polyethylene*; PP = *polypropylene*.

Tabel 3. Penurunan kandungan vitamin A pada susu pasteurisasi dalam berbagai jenis kemasan selama penyimpanan 7–8 hari pada suhu 4°C.

Bahan kemasan	Penurunan kandungan vitamin A (%)	Referensi
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan	15,9	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label warna putih	19,0	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening	22,2–50,8	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
<i>Pouch</i> LDPE bening	73,6	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE berwarna (2% TiO ₂)	69,8	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> bening, LDPE/PA/LDPE	60,4	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> berwarna, LDPE/PA/LDPE	50,9	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch co-extruded</i> berwarna, 60 µm	18,9	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch co-extruded</i> berwarna, 110 µm	15,1	Vassila <i>et al.</i> (2002)
Botol HDPE putih, satu lapis	10,5–11,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE <i>co-extruded</i> , multi lapis	8,8–11,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Dus karton (<i>coated paperboard carton</i>)	14,0–15,9	Papachristou <i>et al.</i> (2006); Vassila <i>et al.</i> (2002)

PET = *polyethylene terephthalate*; LDPE = *low density polyethylene*; PA = *polyamide*.

vitamin A pada produk. Selain itu, pewarnaan kemasan kurang mampu melindungi susu pasteurisasi dari kerusakan vitamin A.

Riboflavin

Kerusakan riboflavin pada susu merupakan reaksi orde pertama pada produk yang terpapar cahaya (Rahardjo 2004). Riboflavin pada produk pangan relatif stabil terhadap panas dan juga stabil pada susu yang dikemas dalam kemasan karton atau botol gelap.

Riboflavin adalah *sensitiser oxygen singlet* yang baik untuk pembentukan *oxygen singlet* pada kondisi terang. Riboflavin memiliki struktur triena dan banyak ikatan rangkap yang dapat bereaksi dengan *oxygen singlet*. Kandungan riboflavin dalam susu akan menurun seiring dengan turunnya kandungan oksigen *headspace* dalam botol kemasan, yang menunjukkan penurunan riboflavin akibat oksidasi.

Hasil penelitian Moyssiadi *et al.* (2004) menunjukkan bahwa botol PET yang diberi warna TiO_2 (pada HDPE maupun PET) mampu memberikan perlindungan yang lebih baik bagi riboflavin dibanding botol PET bening. Hilangnya riboflavin pada susu selama penyimpanan terang (terpapar cahaya) disebabkan oleh oksidasi *singlet* riboflavin. Pewarnaan TiO_2 dengan atau tanpa karbon hitam dapat mengurangi bahkan memotong cahaya dengan panjang gelombang 400–500 nm sehingga menghambat proses oksidasi.

Ada dua mekanisme utama yang menyebabkan penurunan kualitas susu, yaitu oksidasi kimiawi melalui

permeasi O_2 dan oksidasi yang dipicu oleh cahaya (Moyssiadi *et al.* 2004). Ketebalan bahan kemasan dapat mengontrol mekanisme yang pertama, sedangkan pewarnaan TiO_2 dan/atau karbon hitam dapat mengontrol mekanisme yang kedua. Persentase tingkat kehilangan riboflavin pada suhu pasteurisasi dalam berbagai jenis kemasan selama penyimpanan disajikan pada Tabel 4.

Dari beberapa bahan kemasan yang diaplikasikan pada susu pasteurisasi, kemasan *co-extruded* memberikan perlindungan yang lebih baik dalam mencegah kehilangan riboflavin pada susu. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemasan *co-extruded* yang tersusun atas beberapa lapisan bahan mampu menghambat proses oksidasi pada produk selama penyimpanan.

PERUBAHAN SENSORIS SUSU PASTEURISASI

Perubahan sensoris menjadi indikator kerusakan produk yang dapat dideteksi secara langsung oleh konsumen (Solano-Lopez *et al.* 2005). Pada susu pasteurisasi, salah satu indikator utama kerusakan produk adalah perubahan *flavor* (*off-flavor*). *Flavor* adalah kombinasi antara aroma dan rasa yang menjadi karakteristik suatu produk pangan. *Flavor* dapat menjadi identitas suatu produk pangan, yang membedakannya antara jenis yang satu dengan yang lain. Kerusakan *flavor* pada produk pangan disebabkan oleh reaksi oksidasi pada komponen bahan makanan selama proses pengolahan maupun penyimpanan (Rahardjo 2004). Perubahan *flavor* pada produk pangan dapat dilihat melalui tren peningkatan maupun

Tabel 4. Tingkat kehilangan riboflavin pada susu pasteurisasi dalam berbagai kemasan selama penyimpanan 7–8 hari pada suhu 4°C.

Bahan kemasan	Kehilangan riboflavin (%)	Referensi
Botol HDPE satu lapis	20,6–28,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE <i>co-extruded</i> , multilapis	18,4–28,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan	38,3	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label putih	38,3	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening	40,0–47,1	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Papachristou <i>et al.</i> (2006); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET berwarna	30,9–33,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
<i>Pouch</i> LDPE bening	45,3	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> LDPE berwarna (2% TiO_2)	42,2	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> bening dari bahan LDPE/PA/LDPE	36,7	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch</i> berwarna LDPE/PA/LDPE	34,4	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch co-extruded</i> berwarna, 60 μm	21,1	Vassila <i>et al.</i> (2002)
<i>Pouch co-extruded</i> berwarna, 110 μm	18,8	Vassila <i>et al.</i> (2002)
Dus karton (<i>coated paperboard carton</i>)	19,5–35,0	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Papachristou <i>et al.</i> (2006); Vassila <i>et al.</i> (2002); Zygoura <i>et al.</i> (2004)

penurunan senyawa-senyawa volatil pada produk pangan tersebut. Pengelompokan kerusakan *flavor* pada susu berdasarkan standar *American Dairy Science Association* disajikan pada Tabel 5.

Kerusakan *flavor* pada susu pasteurisasi terutama diinduksi oleh cahaya (Papachristou *et al.* 2006). Kerusakan *flavor* ini dapat dibedakan menjadi dua. Pertama, *burnt sunlight flavor* yang umumnya terjadi setelah 2–3 hari penyimpanan dan disebabkan oleh degradasi sulfur yang mengandung asam amino pada *whey protein*. Kedua, timbulnya *flavor* kurang segar atau berbau seperti logam atau kardus (*metallic* atau *cardboard off-flavor*), yang berkembang dua hari setelahnya. Kerusakan *flavor* ini berkaitan dengan oksidasi lipida.

Tabel 6 menunjukkan kerusakan *flavor* pada susu umumnya dideskripsikan dengan ‘agak basi’ atau ‘basi’, ‘rasa plastik’, ‘kurang atau tidak segar’, dan ‘asam’. Rasa plastik pada sampel susu berkaitan dengan migrasi senyawa polimer pada bahan kemasan ke dalam susu yang dikemas (Simon dan Hansen 2001; Papachristou *et al.* 2006). Asetaldehida merupakan produk degradasi PET yang berpotensi untuk bermigrasi ke dalam produk

pangan (van Aardt *et al.* 2001). Asetaldehida merupakan produk samping (*by product*) hasil oksidasi cahaya pada susu. Oleh karena itu, sangat penting untuk memastikan kadar asetaldehida pada susu tidak melebihi ambang batas yang dapat dideteksi oleh konsumen (van Aardt *et al.* 2001). Kadar asetaldehida di atas ambang batas akan memengaruhi *flavor* susu.

Profil volatil yang berbeda selama penyimpanan susu ditunjukkan oleh kemasan yang bersifat *light protected* (terlindung dari cahaya), yaitu dengan terbentuknya produk nonoksidasi (Karatapanis *et al.* 2006). Van Aardt *et al.* (2001) menyebutkan sampel susu dalam kemasan yang terlindung dari cahaya memiliki tingkat oksidasi yang lebih rendah dibandingkan sampel susu dalam kemasan *light exposed* (terpapar cahaya). Oleh karena itu, umumnya *off-flavor* meningkat cepat pada susu yang dikemas dalam wadah yang terpapar cahaya dibanding yang di dalam kemasan terlindung dari cahaya. Hal ini dipertegas oleh hasil penelitian Mestdagh *et al.* (2005) yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan kemasan yang berbeda tidak berpengaruh terhadap perubahan *flavor* susu pasteurisasi, namun kondisi penyimpanan dalam ruang gelap berpengaruh nyata terhadap

Tabel 5. Kategori perubahan/kerusakan *flavor* berdasarkan faktor penyebabnya.

Penyebab kerusakan	Jenis kerusakan
Proses pemanasan (<i>heated flavor</i>)	Matang, terkaramelisasi, hangus/gosong
Keberadaan sinar/cahaya (<i>light-induced flavor</i>)	Bau terbakar matahari (<i>burnt sunlight flavor</i>)
Proses lipolisis	Tengik, butirat, pahit
Mikroba	Kecut, pahit, bau buah-buahan, busuk
Proses oksidasi	Bau kertas/karton, bau logam, bau minyak, amis
Proses transmisi	Bau rumput, kandang, sapi
Lainnya (<i>miscellaneous flavor</i>)	Tawar, bau asing, tidak segar, asin

Sumber: Karatapanis *et al.* (2006).

Tabel 6. Hasil evaluasi *flavor* susu pasteurisasi dalam berbagai kemasan selama penyimpanan suhu 4°C pada kondisi terpapar cahaya.

Bahan kemasan	Indikasi perubahan <i>flavor</i>	Referensi
Botol gelas bening	Agak kurang segar (hari ke-3)	Karatapanis <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening	Rasa plastik (hari ke-3)	Karatapanis <i>et al.</i> (2006); Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol PET bening + penangkal UV + label transparan	Tidak segar (hari ke-13)	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET bening + penangkal UV + label putih	Agak basi (hari ke-13)	Papachristou <i>et al.</i> (2006)
Botol PET berwarna	Agak basi (hari ke-3)	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004)
Botol PET berwarna	Agak basi (hari ke-5)	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE satu lapis berwarna	Agak basi (hari ke-5)	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE satu lapis berwarna	Asam (hari ke-7)	Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE <i>co-extruded</i> , multilapis berwarna	Kurang segar, basi, asam (hari ke-7),	Karatapanis <i>et al.</i> (2006); Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Botol HDPE multilapis berwarna	Agak tidak segar (hari ke-5)	Karatapanis <i>et al.</i> (2006)
Dus karton bergelombang berlapis	Agak tidak segar (hari ke-5)	Karatapanis <i>et al.</i> (2006)
Dus karton berlapis (<i>coated paperboard carton</i>)	Agak basi (hari ke-5)	Moyssiadi <i>et al.</i> (2004); Zygoura <i>et al.</i> (2004)
Dus karton berlapis (<i>coated paperboard carton</i>)	Basi (hari ke-10)	Papachristou <i>et al.</i> (2006)

perubahan *flavor* susu. Penambahan bahan penangkal sinar UV dan pewarnaan kemasan mampu melindungi *flavor* susu pasteurisasi dari kerusakan. Senyawa volatil yang paling umum ditemukan pada susu yang teroksidasi oleh cahaya adalah dimetil disulfida, pentanal, heksanal, 1-octen-3-one, asetaldehida, dan 1-hexen-3-one (van Aardt *et al.* 2001).

KESIMPULAN

Bahan kemasan dapat memengaruhi kualitas susu pasteurisasi, baik kualitas mikrobiologis, kimiawi maupun sensoris. Selain bahan kemasan, kualitas susu pasteurisasi selama penyimpanan juga ditentukan oleh kualitas susu yang digunakan sebagai bahan baku.

Penambahan penangkal sinar UV dan penggunaan kemasan *co-extruded* dapat mencegah oksidasi lipida dan kehilangan riboflavin pada susu pasteurisasi selama penyimpanan. Cahaya dan oksigen bukan faktor utama yang menyebabkan degradasi vitamin A pada susu pasteurisasi. Perubahan kualitas sensoris susu pasteurisasi selama penyimpanan dipengaruhi oleh cahaya dan migrasi bahan penyusun kemasan yang digunakan. Kandungan asetaldehida meningkat dengan adanya cahaya dan dapat bermigrasi ke dalam produk susu. Penggunaan bahan penangkal cahaya sangat membantu dalam mencegah perubahan *flavor* susu pasteurisasi selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 1994. Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu. Andi Offset, Yogyakarta.
- Allen, J.C. and G. Joseph. 1985. Deterioration of pasteurized milk on storage. *J. Dairy Res.* 52: 469–487.
- Anonymous. 2008. The Success of HDPE in Milk Packaging. Saudi Basic Industries Corporation (SABIC). http://plastics.sabic.eu/cases/_en/messageinabottle.htm. [30 Januari 2012].
- Bean, N.H., J.S. Goulding, C. Lao, and F.J. Angulo. 1996. Surveillance of Foodborne Disease Outbreaks. United States Morbidity Mortality Weekly Rep. 45.
- Boor, K.J. and S.C. Murphy. 2002. Microbiology of market milks. pp. 91–122. *In* R.K. Robinson (Ed.). *Dairy Microbiology Handbook: The microbiology of milk and milk products*. 3rd ed. Wiley Interscience, New York.
- Chye, F.Y., A. Abdullah, and M.K. Ayob. 2004. Bacteriological quality and safety of raw milk in Malaysia. *Food Microbiol.* 21: 535–541.
- de Man, J.M. 1978. Possibilities of prevention of light-induced quality loss of milk. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 11: 152–154.
- Erickson, M. 1997. Chemical and microbial stability of fluid milk in response to packaging and dispensing. *Int. J. Dairy Technol.* 5: 107–111.
- Fanelli, A.J., J.V. Burlew, and M.K. Gabriel. 1985. Protection of milk packaged in high density polyethylene against photo-degradation by fluorescent light. *J. Food Prot.* 48: 112–117.
- Frazier, W.C. and D.C. Westhoff. 1979. *Food Microbiology*. 4th ed. McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Fromm, H.I. and K.J. Boor. 2004. Characterization of pasteurized fluid milk shelf-life attributes. *J. Food Sci.* 69(8): M207–M214.
- GKSI (Gabungan Koperasi Susu Indonesia) Korda Jatim. 1995. *Petunjuk Praktis Beternak Sapi Perah*. Cooperative Center Denmark dan Gabungan Koperasi Susu Indonesia Korda Jawa Timur, Pasuruan.
- Girling, P.J. 2000. Packaging of food in glass containers in food packaging technology. *In* R. Coles, D. McDowell, and M.J. Kirwan (Eds.). Blackwell Publishing – CRC Press.
- Gounot, A.M. 1986. Psychrophilic and psychrotrophic micro-organism. *Cell. Mol. Life Sci.* 42(11): 1192–1197.
- Gruetzmacher, T.J. and R.L. Bradley. 1998. Identification and control of processing variables that affect the quality and safety of fluid milk. *J. Food Prot.* 62: 25–31.
- Idris. 1992. *Teknologi Pengolahan Susu*. Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya, Malang.
- Karatapanis, A.E., A.V. Badeka, K.A. Riganakos, I.N. Savvadis, and M.G. Kontominas. 2006. Changes in flavor volatiles of whole pasteurized milk as affected by packaging material and storage time. *Int. Dairy J.* 16: 750–761.
- Karya, N. 2001. Pengendalian Mutu pada Industri Susu Pasteurisasi: Studi Kasus di PT Indomilk Jakarta. Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kilcast, D. and P. Subramaniam. 2000. *The Stability and Shelf Life of Food*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Kirwan, M.J. and J.W. Strawbridge. 2000. Plastics in food packaging. *In* R. Coles, D. McDowell and M.J. Kirwan (Eds.). *Food Packaging Technology* Blackwell Publishing – CRC Press.
- Kirwan, M.J. 2000. Paper and paperboard packaging. *In* R. Coles, D. McDowell and M.J. Kirwan (Eds.). *Food Packaging Technology*. Blackwell Publishing–CRC Press.
- Mahaputra, L. 2001. Ilmu Kebidanan Veteriner. Laboratorium Kebidanan Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Airlangga, Surabaya.
- Marsh, K. and B. Bugusu. 2007. Food packaging – roles, materials, and environmental issues. *J. Food Sci.* 72(3): R39–R55.
- Mestdaghe, F., B. de Meulenaer, J. de Clippelleer, F. Devleghere, and A. Huyghebaert. 2005. Protective influence of several packaging materials on light oxidation of milk. *J. Dairy Sci.* 88: 499–510.
- Moyssiadi, T., A. Badeka, E. Kondyli, T. Vakirtzi, I. Savvadis, and M.G. Kontominas. 2004. Effect of light transmittance and oxygen permeability of various packaging materials on keeping quality of low fat pasteurized milk: Chemical and sensorial Aspect. *Int. Dairy J.* 14: 429–436.
- Nada, S., D. Ilija, T. Igor, M. Jelena, and G. Ruzica. 2012. Implication of food safety measures on microbiological quality of raw and pasteurized milk. *Food Control* 25: 728–731.
- Palmquist, D.L., A.D. Beaulieu, and D.M. Barbano. 1993. Feed and Animal Factors Influencing Milk Fat Composition. *Journal of Dairy Science* 76(6): 1753–1771.
- Papachristou, C., A. Badeka, I. Chouliara, E. Kondyli, L. Kourtis, and M.G. Kontominas. 2006. Evaluation of polyethylene terephthalate as a packaging material for premium quality whole pasteurized milk in Greece – Part II. Storage under fluorescent light. *Eur. Food Res. Technol.* 224: 237–247.
- Park, H.J., Y.J. Lee, M.R. Kim, and K.M. Kim. 2008. Safety of polyethylene terephthalate food containers evaluated by HPLC, migration test, and estimated daily intake. *J. Food Sci.* 73(6): T83–89.
- Petrus, R.R., C.G. Loiola, and C.A.E. Oliveira. 2010. Microbiological shelf life of pasteurized milk in bottle and pouch. *J. Food Sci.* 75(1): M36–M40.
- Popa, M. and N. Belc. 2007. Packaging. *Food Safety Part I*. pp. 68–87.

- Purnomo, H. dan Adiono. 1987. Ilmu Pangan. UI Press, Jakarta.
- Rahardjo, S. 2004. Kerusakan Oksidatif pada Makanan. Pusat Studi Pangan dan Gizi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rombaut, R. 2005. Dairy Microbiology and Starter Cultures. Laboratory of Food Technology and Engineering. Gent University, Belgium.
- Ros-Chumillas, M., Y. Belissario, A. Iquaz, and A. Lopez. 2007. Quality and shelf life of orange juice aseptically packaged in PET bottles. *J. Food Engin.* 79: 234–242.
- Rowe, M. dan A. Gilmour. 1985. The present and future importance of psychrotrophic bacteria. *Dairy Industries Int.* 50(1): 15.
- Simon, M. and A.P. Hansen. 2001. Effect of various dairy packaging materials on the shelf life and flavor of pasteurized milk. *J. Dairy Sci.* 84: 767–773.
- Solano-Lopez, C.E., T. Ji, and V.B. Alvarez. 2005. Volatile compounds and chemical changes in ultrapasteurized milk packaged in polyethylene terephthalate containers. *J. Food Sci.* 70(6): C407–C413.
- Syarief, R., S. Santausa, dan S. Isyana. 1989. Teknologi Pengemasan Pangan. Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, Pusat Antar-universitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Vacklavic, A.V. and W.E. Christain. 2008. *Essentials of Food Science*. Springer, New York. p. 205–230.
- Van Aardt, M., J.S.E. Duncan, E. Marcy, T.E. Long, and C.R. Hackey. 2001. Effectiveness of poly(ethylene terephthalate) and high density polyethylene in protection of milk flavour. *J. Dairy Sci.* 84: 1341–1347.
- Vassila, E., A. Badeka, E. Kondyli, I. Savvaidis, and M.G. Kontominas. 2002. Chemical and microbiological changes in fluid milk as affected by packaging conditions. *Int. Dairy J.* 12: 715–722.
- Zygoura, P., T. Moyssiadi, A. Badeka, E. Kondyli, I. Savvaidis, and M.G. Kontominas. 2004. Shelf life of whole pasteurized milk in greece: Effect of packaging material. *Food Chem.* 87: 1–9.