

Kecukupan Pasteurisasi Sistem Kontinyu Krimer Kental Manis dan Pengaruhnya Terhadap Stabilitas Selama Penyimpanan

Thermal Adequacy of Continuously Pasteurized Sweetened Condensed Creamer and its Effect on Product Stability during Storage

Anis Zamaluddin¹⁾, Feri Kusnandar^{2,3)*}, Eko Hari Purnomo^{2,3)}

¹⁾ Program Studi Magister Teknologi Pangan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor

²⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

³⁾ Southeast Asian Food and Agricultural Science and Technology Center, LPPM, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Abstract. A sweetened condensed creamer (SCC) is a well-known dairy-based product used in various food products. SCC has pH of 6.00 and water activity (a_w) of less than 0.8. A pasteurization process is applied in SCC processing to inactivate potential pathogenic microorganism in order to yield safely consumed product with a long shelf-life. The aim of this study was to evaluate thermal process adequacy of SCC in a commercial scale continuous pasteurization at 85°C and 95°C. Thermal process adequacy was determined by comparing the pasteurization value (P) of the process with standardized P value at different D cycles (2D, 3D, and 6D) of targeted microorganism and lipase enzyme. Pasteurization process at both 85°C and 95°C satisfactorily inactivated targeted microorganism (vegetative cells, coliform, yeast and mould, *Salmonella*, *S aureus*, and *L monocytogenes*). However, the designed pasteurization did not sufficiently inactivate lipase enzyme. SCC processed at 85°C had a longer shelf-life in term of its viscosity (292.4 days) than that of pasteurized at 95°C (174.5 days).

Keywords: pasteurization value, rheology, shelf-life, sweetened condensed creamer, thermal process

Abstrak. Krimer kental manis (KKM) merupakan produk olahan susu yang dikenal di Indonesia untuk berbagai aplikasi dalam produk pangan. KKM memiliki pH sekitar 6.00 dan aktifitas air aktivitas air (a_w) kurang dari 0.8. Dengan karakteristik tersebut, proses pasteurisasi dapat diterapkan untuk membunuh mikroba patogen pada proses pembuatannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecukupan proses pasteurisasi dalam skala komersial pada suhu pasteurisasi 85°C and 95°C. Kecukupan proses pasteurisasi dilakukan dengan membandingkan nilai pasteurisasi pada kedua suhu dengan nilai pasteurisasi standar pada berbagai siklus D (2D, 3D, dan 6D) dari mikroorganisme target dan enzim lipase. Proses pasteurisasi pada kedua suhu 85°C and 95°C mencukupi untuk menginaktivasi sel vegetatif, kapang, khamir, *Staphilococcus aureus*, *Salmonella*, dan *Lysteria Monocytogenes*, namun tidak mencukupi untuk menginaktivasi enzim lipase. Berdasarkan parameter viskositas, umur simpan KKM yang diproses pada suhu pasteurisasi 85°C adalah 292.4 hari yang lebih lama dengan yang diproses pada suhu 95°C (174.5 hari).

Kata Kunci: krimer kental manis, nilai pasteurisasi, proses termal, reologi, umur simpan

Aplikasi praktis: Penelitian ini memberikan informasi ilmiah dalam menentukan kecukupan proses pasteurisasi krimer kental manis (KKM) yang diproses dalam pasteurizer sistem kontinyu pada skala pilot komersial. Tahapan penelitian ini dapat diadopsi di industri pangan lain, khususnya industri pengolahan susu, dalam merancang dan memvalidasi kecukupan proses termal sehingga produk yang dihasilkan aman dikonsumsi dan bermutu.

PENDAHULUAN

Konsumsi susu dan produk turunannya di Indonesia mengalami pertumbuhan, salah satunya adalah krimer kental manis (KKM). KKM banyak digunakan untuk memasak, campuran teh dan kopi, atau diminum langsung setelah dilarutkan, dan sebagai bahan baku industri seperti permen dan coklat bar (Nieuwenhuijse 2011). Rata-rata pertumbuhan konsumsi KKM selama

periode 2013-2017 adalah 11.19% (Kementan 2017). Dengan kecenderungan pertumbuhan tersebut, industri pengolahan susu meningkatkan produksi KKM yang memiliki mutu yang baik dan aman dikonsumsi agar produknya menjadi pilihan konsumen.

Berdasarkan kategori pangan (BPOM 2015), KKM memiliki kode 01.3.1 yang didefinisikan sebagai produk susu berbentuk cairan kental, yang diperoleh dari susu yang telah ditambahkan gula dan lemak nabati yang

kemudian sebagian airnya dihilangkan hingga mencapai kepekatan tertentu, atau merupakan hasil rekonstitusi susu bubuk dengan penambahan gula dan lemak nabati/minyak nabati dan bahan lain. Produk dipasteurisasi dan dikemas secara kedap (hermetis). Codex-Stan No 282-1971 (Codex 2011) mensyaratkan kandungan lemak susu minimum 8%, padatan susu 28%, dan padatan non-lemak 34% dalam KKM, namun Indonesia belum mensyaratkannya. KKM komersial mengandung lemak sekitar 10.13%, total padatan 72% dan sukrosa 47.63%.

KKM berbentuk cairan pekat yang memiliki pH 5.9-6.1 dan aktivitas air (a_w) kurang dari 0.80. Nilai a_w yang rendah dari KKM disebabkan oleh proses pemekatan (evaporasi) dan kandungan gula yang tinggi. Oleh karena itu, gula yang ditambahkan bukan hanya berfungsi sebagai pemanis, tetapi juga menghambat kerusakan produk dengan mencegah pertumbuhan mikroba, terutama bakteri patogen. Walaupun pH dari KKM di atas 4.6 yang memungkinkan *Clostridium botulinum* tumbuh, namun dengan nilai a_w kurang dari 0.85, maka pertumbuhan mikroba tersebut dapat dihambat. Brocklehurst *et al.* (1995) melaporkan bahwa pada konsentrasi sukrosa 45%, pertumbuhan *Salmonella typhimurium* LT2 juga dapat dihambat. Madriz (2003) menyatakan bahwa gula menyebabkan berpindahnya air dari dalam ke luar sel bakteri melalui osmosis yang menyebabkan plasmolisis dan menghambat perkembangan mikroba tersebut.

Produk pangan yang memiliki pH lebih dari 4.6 dan a_w kurang dari 0.85 lebih mudah ditumbuhi mikroba dari kelompok kapang, khamir dan beberapa bakteri yang tidak tahan panas (Hariyadi 2017). Produk yang memiliki pH dan a_w tersebut dapat diawetkan dengan proses pasteurisasi dengan membunuh mikroba target sehingga produk tersebut aman dikonsumsi, namun mutu produk masih dapat dipertahankan. Proses pasteurisasi susu juga dapat menginaktivasi enzim lipase (Hudson *et al.* 2003; Vervoort *et al.* 2011). Selain itu, pasteurisasi juga dapat meminimalkan kerusakan mutu organoleptik dan memperpanjang umur simpan produk (Silva dan Gibs 2010; Shah *et al.* 2017).

Pasteurisasi merupakan tahapan dalam proses produksi KKM yang bertujuan untuk mengurangi jumlah mikroba, khususnya mikroba patogen dan pembusuk. Di antara mikroba yang menjadi target proses pasteurisasi dalam produksi KKM adalah *Staphylococcus aureus*. BPOM (2016) mensyaratkan KKM dengan batas maksimum kandungan *Staphylococcus aureus* (10^2 koloni/mL), kapang dan khamir (10 koloni/mL). Dalam praktek di industri pengolahan susu, mikroba lain seperti angka lempeng total, *Salmonella*, dan *Listeria monocytogenes* digunakan sebagai parameter keamanan sebelum produk didistribusikan.

Proses pasteurisasi yang dilakukan oleh industri KKM umumnya menerapkan pasteurisasi sistem kontinu, yaitu berlangsung sebelum produk dikemas di bagian *holding tube*. Proses pasteurisasi dilakukan dalam waktu singkat pada suhu di bawah 100°C. Setelah proses pasteurisasi, produk masih mengalami proses penguapan, penambahan laktosa dan *ageing* sebelum dilakukan

pengemasan. Adanya proses penguapan setelah proses pasteurisasi dan kandungan gula yang tinggi menurunkan a_w KKM di bawah 0.85, sehingga pengawetan KKM bukan hanya disebabkan oleh proses pasteurisasi, tetapi juga oleh adanya penurunan a_w .

Kecukupan panas proses pasteurisasi dalam sistem kontinu ditentukan oleh sifat reologi bahan (viskositas dan sifat aliran bahan yang masuk ke dalam *holding tube*), dan kinerja mesin (*holding temperature*, laju alir bahan, panjang pipa, dan diameter pipa) (Heldman dan Singh 2009). Proses pasteurisasi yang diterapkan harus menjamin mikroba target yang dipersyaratkan telah dibunuh. Evaluasi kecukupan proses pasteurisasi pada skala industri telah dilakukan oleh Hafzian *et al.* (2014) untuk produk nata de coco, namun dilakukan pada sistem *batch*. Kecukupan proses pasteurisasi bahan cair dalam sistem kontinu dihitung berdasarkan pada partikel yang paling cepat bergerak yang dinyatakan sebagai kecepatan maksimum atau v_{max} (Tomasula dan Kozempel 2004). Pemilihan kombinasi suhu dan waktu proses pasteurisasi juga mempengaruhi umur simpan dari produk yang dihasilkan (Vegara *et al.* 2013; Sobral *et al.* 2016).

Beberapa penelitian tentang produk KKM yang telah dilaporkan terkait dengan mutu produk (Asaduzzaman 2007; Pereira *et al.* 2017), formulasi KKM dengan bahan baru dan stabilitasnya selama penyimpanan (Saragih 2011). Namun, belum ada penelitian untuk mengevaluasi kecukupan proses pasteurisasi KKM dalam sistem kontinu dan pengaruhnya terhadap stabilitas produk selama penyimpanan yang menjadi fokus dari penelitian ini.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan adalah KKM yang dibuat dengan mencampurkan air, susu segar, gula, maltodekstrin, *skim milk powder*, *sweet whey powder*, minyak sawit, penstabil dan vitamin. Susu yang digunakan mengandung total padatan 11%. KKM yang dihasilkan memiliki pH 6.0, sukrosa 45%, total padatan 69%, dan berat jenis 1.240-1.262 g/mL.

Penelitian dilakukan di suatu industri pengolahan susu di Indonesia. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pengolahan KKM pada skala komersial yang terdiri dari mesin *mixer*, *homogenizer*, *pasteurizer*, *flash cooler*, *storage tank*, dan *filler*. Kapasitas produksi KKM untuk setiap *batch* adalah 6700 kg. Proses pasteurisasi dilakukan pada mesin *pasteurizer* APV Baker seri N35 dengan kapasitas 5 m³/jam yang dipasang *holding tube* jenis *sanitary pipe* 2.5 in (*inside diameter* 0.06019 m) dengan panjang pipa 22.45 m. Peralatan analisis yang digunakan di antaranya adalah pH-meter (Methrom, seri 780), viskometer (Brookfield, Seri DV3TJTJ0), hidrometer, *Near Infra Red* (NIR Bruker seri MPA), dan alat kromameter (Lovibond, seri RT 100).

Proses pembuatan KKM

Proses pembuatan KKM diawali dengan mencampur bahan-bahan, yaitu air, susu segar, gula, maltodekstrin, skim milk powder, sweet whey powder, minyak sawit, penstabil dan vitamin. Bahan yang sudah dicampur kemudian dipasteurisasi dalam sistem kontinyu yang merupakan proses utama dalam penelitian ini. Pasteurisasi dilakukan pada dua suhu yang berbeda, yaitu 85°C dan 95°C, dengan *holding time* 30 detik untuk kedua suhu tersebut. Setelah proses pasteurisasi, dilakukan proses penguapan dan penambahan kristal laktosa. Proses berikutnya adalah *ageing* dalam waktu 1-2 jam sebelum dilakukan pengisian ke dalam kemasan kaleng dengan tinggi 8 cm dan diameter 7 cm. Sampel sebelum dan setelah proses pasteurisasi dianalisis total padatan, analisis mikrobiologi, densitas, viskositas, indeks tingkah laku aliran (*n*) dan indeks konsistensi (*K*).

Analisis fisikokimia

Analisis kimia KKM meliputi kadar lemak, protein, sukrosa, dan total padatan menggunakan alat *Near Infra Red* (NIR Bruker), sedangkan analisis fisik mencakup densitas (menggunakan hydrometer) dan pH (menggunakan pH-meter). Hasil analisis fisikokimia KKM dibandingkan dengan persyaratan yang diatur dalam Kategori Pangan kode 01.3.1 (BPOM 2015).

Analisis mikrobiologi

Analisis mikrobiologi mencakup angka lempeng total (metode SNI 2987:2008), koliform (metode BS ISO 4832:2006), kapang khamir (metode SNI 19-2897:1992), *Staphylococcus aureus* (metode SNI ISO 6888:2012), dan *Salmonella* (metode SNI ISO 6579:2015). Hasil uji mikrobiologi ini dibandingkan dengan persyaratan batas maksimum mikrobiologi pangan olahan yang diatur dalam Perka BPOM Nomor 16 Tahun 2016 (BPOM 2016).

Analisis sifat reologi

Viskositas. Sebanyak 500 mL sampel susu yang telah diformulasi dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan diukur viskositasnya dengan menggunakan Brookfield viscometer LV2 pada kecepatan rotasi 40 rpm dengan *spindle* berbentuk silinder (panjang (*L*) = 0.684 cm; jari-jari (*R*) = 0.9345 cm. Viskositas yang terukur merupakan *apparent viscosity* (μ_a) dan dinyatakan dalam satuan cP.

Nilai *n* dan *K*. Sebanyak 500 mL sampel yang diukur sebagai hubungan *shear rate* (γ) dan *shear stress*-nya (τ) dengan Brookfield viscometer LV2. *Shear rate* divariasikan dengan mengatur kecepatan rotasi (N), 20, 30, 40, 50, 60, dan 70 rpm, sedangkan *shear stress* berdasarkan nilai *torque* (A, %) pada kecepatan rotasi yang bersesuaian. *Shear rate* (γ , 1/detik) dihitung dengan menggunakan persamaan (1), sedang *shear stress* (τ , N/m²) dihitung dengan persamaan dan (2). Jarak antara dinding silinder dengan dinding wadah pengukuran (σ) adalah 3.815 cm.

$$\text{Shear rate } (\gamma) = \frac{2\pi RN}{\sigma} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Shear stress } (\tau) = \frac{A}{2\pi r^2 L} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan menggunakan persamaan *power law*, maka nilai *n* dan *K* dapat ditentukan dengan persamaan (3). Nilai *n* digunakan untuk mengelompokkan sifat bahan apakah bersifat Newtonian atau non-Newtonian (pseudo-plastik bila $n < 1$ atau dilatan bila $n > 1$). Nilai *n* menunjukkan index tingkah laku aliran (tanpa satuan), sedangkan *K* menunjukkan koefisien kekentalan (dyne detik/cm²).

$$\tau = K(Y)^n \dots\dots\dots(3)$$

Evaluasi kecukupan proses pasteurisasi

Perhitungan *holding time*. Perhitungan kecukupan proses pasteurisasi dalam sistem kontinyu ditentukan oleh *holding time* (*t*) dari fluida yang paling cepat bergerak dalam pipa (Morison *et al.* 2013). Dengan menggunakan persamaan gerak lurus beraturan untuk menghitung waktu tempuh sebagaimana persamaan 4a, *holding time* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4b, dimana *S* (m) merupakan jarak tempuh dapat diasumsikan dengan panjang pipa *L* (m). Dengan demikian *holding time* (detik) dihitung berdasarkan pada panjang pipa (*L*, m) dan kecepatan maksimum (v_{max} , m/detik).

$$\text{Waktu tempuh } (t, \text{ detik}) = \frac{\text{Jarak } (S)}{\text{Kecepatan } (m/s)} \dots\dots\dots(4a)$$

$$\text{Holding time } (t, \text{ detik}) = \frac{L}{v_{max}} \dots\dots\dots(4b)$$

Nilai v_{max} dipengaruhi oleh sifat fluida dan model aliran fluida di dalam pipa. Sifat fluida yang berpengaruh adalah viskositas, nilai *n* dan nilai *K*, sedangkan model aliran fluida di dalam pipa dapat bersifat laminar atau turbulen. Model aliran laminar atau turbulen dihitung dengan menggunakan bilangan Reynold (*Re*) (persamaan 5), dimana *Re* kurang dari 2100 menunjukkan aliran laminar, sedangkan *Re* lebih dari 2100 menunjukkan aliran turbulen. Nilai ρ adalah densitas fluida (g/mL), *D* adalah diameter pipa (m), \bar{v} adalah kecepatan rata-rata (m/detik) dan μ adalah viskositas fluida (cP). Untuk fluida non-Newtonian, *Re* dihitung dengan persamaan (6) dimana *R* adalah jari-jari pipa (m).

$$Re = \frac{\rho D \bar{v}}{\mu} \dots\dots\dots(5)$$

$$Re = \frac{8(\bar{v})^{2-n}(R)^n \rho}{K \left[\frac{3n+1}{n} \right]^n} \dots\dots\dots(6)$$

Nilai v_{max} dihitung dari kecepatan rata-rata (persamaan (7)) dan dengan mempertimbangkan jenis fluida dan sifat aliran. Untuk fluida Newtonian dengan aliran laminar, maka kecepatan maksimum fluida dalam pipa dapat dihitung menggunakan persamaan (8), sementara untuk fluida non-Newtonian dengan aliran laminar, kecepatan fluida dapat dihitung menggunakan persamaan

(9). *Holding time* dari fluida yang paling cepat bergerak di dalam *holding tube* dihitung dengan persamaan (4b). Nilai Q menunjukkan debit aliran fluida (m³/detik) sedangkan A menunjukkan luas penampang pipas (m²). Debit aliran ditentukan berdasarkan debit tertinggi dari empat *batch* proses.

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(7)$$

$$V_{max} = 2\bar{v} \dots\dots\dots(8)$$

$$V_{max} = \frac{3n+1}{n+1} \bar{v} \dots\dots\dots(9)$$

Standar kecukupan proses pasteurisasi. Suhu pasteurisasi (85°C dan 95°C) dihitung nilai *lethal rate-nya* dibandingkan dengan suhu standar (82.2°C) dengan menggunakan persamaan (10). Nilai pasteurisasi (P) aktual dihitung dengan menggunakan persamaan (11), dimana t adalah *holding time* (dari persamaan (4)).

$$LR = 10^{T-T_{ref}/z} \dots\dots\dots(10)$$

$$P = \int_0^x LR \cdot dt \dots\dots\dots(11)$$

Mikroba yang menjadi target proses pasteurisasi, nilai D dan z pada suhu referensi, serta nilai D di suhu 82.2°C dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai pasteurisasi (P) hitung pada suhu 82.2°C (P_{82.2}) untuk berbagai siklus nilai D yang berbeda (2D, 3D dan 6D). Kecukupan proses pasteurisasi dilakukan dengan membandingkan nilai P pada suhu 85°C dan 95°C dengan nilai P_{82.2} untuk masing-masing mikroba. Apabila nilai P lebih kecil dari nilai P_{82.2} maka proses pasteurisasi tidak mencukupi untuk membunuh mikroba atau enzim target, sedangkan apabila nilai P lebih besar dari nilai P_{82.2} maka proses pasteurisasi mencukupi (Hafzialman *et al.* 2014).

Evaluasi stabilitas penyimpanan dan umur simpan

KKM yang diproses pada suhu pasteurisasi yang berbeda dievaluasi stabilitasnya selama penyimpanan dan ditentukan umur simpannya. Analisis dilakukan dengan metode akselerasi model Arrhenius, yaitu dengan menyimpan sampel KKM pada suhu yang lebih tinggi dari suhu penyimpanan normal (Faridah *et al.* 2013; Loebis dan Junaidi 2013; Rakcejeva *et al.* 2013; Haryati *et al.* 2015; Phimolssiripol dan Suppakul 2016). Suhu penyimpanan yang dipilih adalah 35, 45, dan 55°C. Perubahan

mutu produk yang disimpan di masing-masing suhu penyimpanan diamati secara periodik pada hari ke-0, 4, 7, 11, 14, 21, 28 dan 35 hari. Pengamatan yang dilakukan mencakup nilai viskositas dan warna yang masing-masing dilakukan secara duplo. Viskositas diukur dengan *Brookfield viscometer* pada kecepatan rotasi 40 rpm, sedangkan warna (L, a dan b) diukur dengan *Lovibond colorimeter* dilakukan dengan mengukur sampel sehingga diperoleh nilai L, a dan b, dimana L menunjukkan tingkat kecerahan, a menunjukkan intensitas warna merah hingga hijau dan b menunjukkan intensitas warna kuning hingga biru.

Umur simpan. Perhitungan umur simpan dengan model Arrhenius mengacu pada Kusnandar *et al.* (2010) sebagaimana persamaan (12) dan (13). Nilai konstanta laju reaksi (k) dari perubahan mutu pada masing-masing suhu ditentukan dengan model persamaan ordo nol atau satu, kemudian ditentukan model persamaan Arrhenius-nya. Berdasarkan model persamaan Arrhenius tersebut, maka dapat ditentukan nilai k pada suhu penyimpanan normal sehingga dapat dihitung umur simpannya.

$$t \text{ orde nol} = \frac{(A_0 - A)}{k} \dots\dots\dots(12)$$

$$t \text{ orde satu} = \frac{(\ln A_0 - \ln A)}{k} \dots\dots\dots(13)$$

dimana, t = prediksi umur simpan (hari); A₀ = nilai mutu awal; A = nilai mutu produk yang tersisa setelah waktu t; k = konstanta penurunan mutu pada suhu normal.

Batas mutu untuk viskositas dan warna ditentukan berdasarkan batas penerimaan secara organoleptik, yaitu penerimaan terhadap kekentalan untuk menentukan batas mutu viskositas dan penerimaan terhadap warna untuk penentuan batas mutu warna. Mutu organoleptik diamati oleh 10 orang panelis terlatih dengan menggunakan uji penerimaan dengan skala nilai 1-7 untuk masing-masing atribut. Untuk atribut warna dan penerimaan keseluruhan, nilai skor 1 menunjukkan sangat tidak suka dan nilai skor 7 menunjukkan sangat suka. Adapun untuk atribut ketengikan, nilai skor 1 menunjukkan sangat tidak tengik, dan nilai skor 7 menunjukkan sangat tengik. Batas penerimaan secara sensori ditentukan saat nilai skor penerimaan keseluruhan panelis mulai menunjukkan tingkat ketidak-sukaan terhadap KKM (nilai <4). Umur simpan KKM ditentukan pada suhu distribusi (32°C).

Tabel 1. Nilai D dan Z dari mikroba dan enzim target untuk mengevaluasi kecukupan proses pasteurisasi KKM

Target	Suhu Ref (°C)	Nilai Z (°C)	D (menit)	Nilai Pasteurisasi (P _{82.2} , menit)			
				D _{82.2} (menit)	2D _{82.2}	3D _{82.2}	6D _{82.2}
Sel vegetatif, kapang, khamir ¹	65.5	3.7	3	0.00009	0.00018	0.00027	0.00054
<i>Salmonella spp</i> ²	68.3	5	0.01	0.0003	0.0006	0.0009	0.0017
<i>L monocytogenes</i>	68.9	6.8	0.1	0.0011	0.0022	0.0033	0.0066
<i>Staphylococcus spp</i> ³	60	9	6	0.0205	0.0410	0.0615	0.1229
Lipase ⁴	140	38.9	2	61.2917	122.4394	183.6591	367.3182

Keterangan: ¹Toledo (2007), ²Fernandes (2008), ³Necidova *et al.* (2016), ⁴Anderson *et al.* (1979)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemenuhan persyaratan

Tabel 2 menunjukkan hasil analisis fisika kimia, kandungan lemak susu memenuhi batas minimal yang dipersyaratkan dalam Kategori Pangan (nomor 01.3.1) (BPOM 2015). Adapun hasil analisis mikrobiologi sampel susu yang diformulasi sebelum dan setelah proses pasteurisasi dapat dilihat pada Tabel 3. Angka lempeng total, koliform, kapang khamir, *Staphilococcus aureus*, *Salmonella*, dan *Listeria* menunjukkan hasil yang rendah. Dengan demikian, kandungan mikroba dari KKM telah memenuhi persyaratan batas maksimum cemaran mikrobiologi untuk pangan olahan (BPOM 2016).

Tabel 2. Komposisi fisik dan kimia KKM

Komponen	(%)
Air (%bb)	28.00±0.11
Lemak (%bb)	10.13±0.12
Protein (%bb)	2.23±0.06
Sukrosa (%bb)	47.63±0.21
Total padatan (%bb)	72.00±0.30
Densitas (g/cm ³)	1.282±0.00
pH	5.96±0.02

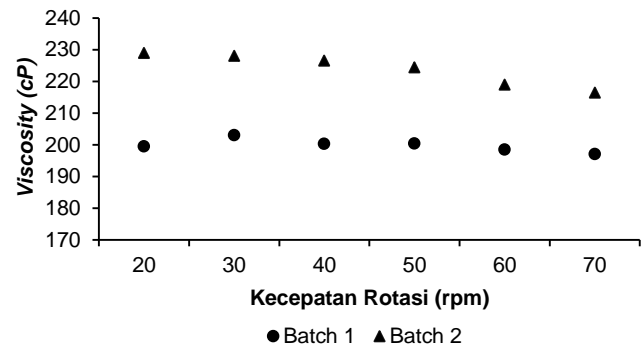
Tabel 3. Kandungan mikroba KKM sebelum dan setelah pasteurisasi

Parameter	Sebelum Pasteurisasi	Setelah Pasteurisasi	Standar
ALT (koloni/g)	1000 – 5000	<100	SNI 2897:2008
Koliform (koloni /g)	<10	<10	BS ISO 4832:2006
Kapang (koloni /g)	<10	<10	SNI 19-2897:1992
Khamir (koloni /g)	<10	<10	
<i>S aureus</i> (koloni /g)	<10	<10	SNI ISO 6888:2012
<i>Salmonella</i> (Negatif / 25 g)	Negatif	Negatif	SNI ISO 6579:2015

Sifat reologi

Hasil pengukuran viskositas pada berbagai kecepatan rotasi menunjukkan sampel susu sebelum proses pasteurisasi memiliki nilai viskositas yang cenderung menurun dengan meningkatnya kecepatan rotasi (Gambar 1). Hal ini menunjukkan susu yang diformulasi cenderung bersifat pseudoplastik. Hasil ini sejalan dengan yang dilaporkan oleh Bienvenue *et al.* (2003) dan Karlsson *et al.* (2005). Hasil pengukuran *shear rate* dan *shear stress* (Tabel 4) dan plot hubungan antara *shear rate* dan *shear stress* menunjukkan ketergantungan nilai *shear stress* terhadap *shear rate*, yaitu diperoleh persamaan *Power Law*, yaitu $\tau = 0.77\dot{\gamma}^{0.91}$. Dari persamaan ini dapat

diketahui nilai *n* dan *K* secara berturut-turut adalah 0.91 dan 0.77 dyne.detik/cm². Nilai *n* dari sampel memiliki nilai *n* di bawah 1, sehingga susu yang telah diformulasi dikategorikan fluida jenis non-Newtonian pseudoplastik (Toledo 2007). Proses penguapan dan penambahan laktosa terhadap susu setelah pasteurisasi dapat menurunkan nilai *n* dan meningkatkan nilai *K*, namun dalam hal ini perhitungan sifat aliran fluida dalam *holding tube* berdasarkan pada susu sebelum proses tersebut. Morison *et al.* (2013) menunjukkan bahwa KKM dengan konsentrasi total padatan di atas 30% bersifat pseudoplastik.



Gambar 1. Viskositas krimier kental manis yang diukur pada beberapa kecepatan rotasi

Kecukupan proses pasteurisasi

Debit aliran dan kecepatan susu yang diformulasi mengalir di dalam *holding tube* dapat dilihat pada Tabel 5, yaitu minimal 7130 kg/jam (0.0019 m³/detik) dan maksimal 7175 kg/jam (0.0020 m³/detik). Kecukupan proses pasteurisasi ditentukan berdasarkan *holding time* (waktu tinggal) yang paling pendek pada *holding tube*, sehingga dipilih debit maksimal. Dengan menggunakan persamaan (7), maka kecepatan rata-rata bahan (\bar{v}) dari debit maksimal adalah 0.69 m/detik.

Karena bahan yang masuk ke dalam *holding tube* bersifat non-Newtonian, maka perhitungan bilangan Reynold (*Re*) menggunakan persamaan (6) dan diperoleh bilangan *Re* sebesar 891.92. Toledo (2007) menyatakan bahwa fluida yang memiliki bilangan *Re* kurang dari 2100 dikelompokkan sebagai aliran laminar. Fluida Newtonian yang mengalir secara laminar memiliki kecepatan maksimum (v_{max}) dua kali dari kecepatan rata-ratanya (\bar{v}). Dengan menggunakan persamaan (8), maka kecepatan maksimum (v_{max}) adalah 1.39 m/detik. Dari persamaan (9), maka *holding time* adalah 16.66 detik atau 0.27 menit. Nilai pasteurisasi untuk suhu pasteurisasi 85°C dan 95°C untuk jenis mikroba yang berbeda disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Nilai viskositas dan torque pada berbagai kecepatan rotasi, dan nilai *shear rate* dan *shear stress* yang diperoleh

Speed Rotasi (N) (rpm)	% Torque	Suhu (°C)	Viscosity (cP)	Torque (A)	Shear Rate (1/detik)	Shear Stress (dyne/cm ²)
20	12	42.6	229	109.813	29.25	30.79
30	17.8	42.0	228	153.604	40.91	46.19
40	22.8	39.0	226.5	203.457	54.19	61.58
50	28.3	38.4	224.4	251.964	67.11	76.98
60	33.5	38.5	219	295.081	78.59	92.37
70	39.2	38.7	216.4	340.219	90.61	107.77

Nilai pasteurisasi untuk sel vegetatif, khamir, kapang, *Salmonella*, *Staphylococcus*, dan *Listeria monocytogenes* baik pada suhu 85°C dan 95°C lebih besar dari nilai pasteurisasi target (3D dan 6D), yaitu yaitu minimal 0.57 menit untuk suhu 85°C dan 7.34 menit untuk suhu 95°C. Namun demikian, proses pemanasan tidak cukup untuk menurunkan enzim lipase, dimana pada suhu yang dipilih hanya memberikan nilai pasteurisasi sebesar 0.33 menit untuk suhu 85°C dan 0.59 menit untuk suhu 95°C. Hal ini karena enzim lipase cukup tahan panas, yaitu dengan nilai D₁₄₀ sebesar 2 menit dan nilai Z sebesar 38.9°C sebagaimana dapat dilihat pada Tabel (1) (Anderson *et al.* 1979).

Tabel 5. Debit aliran krimer kental manis dalam pipa

Batch	Debit Aliran (kg/jam)	Kecepatan (m/detik)
1	7130	0.6886
2	7154	0.6909
3	7140	0.6896
4	7175	0.6930

Tabel 6. Nilai Pasteurisasi pada suhu 85°C dan 95°C untuk target mikroorganisme dan enzim lipase

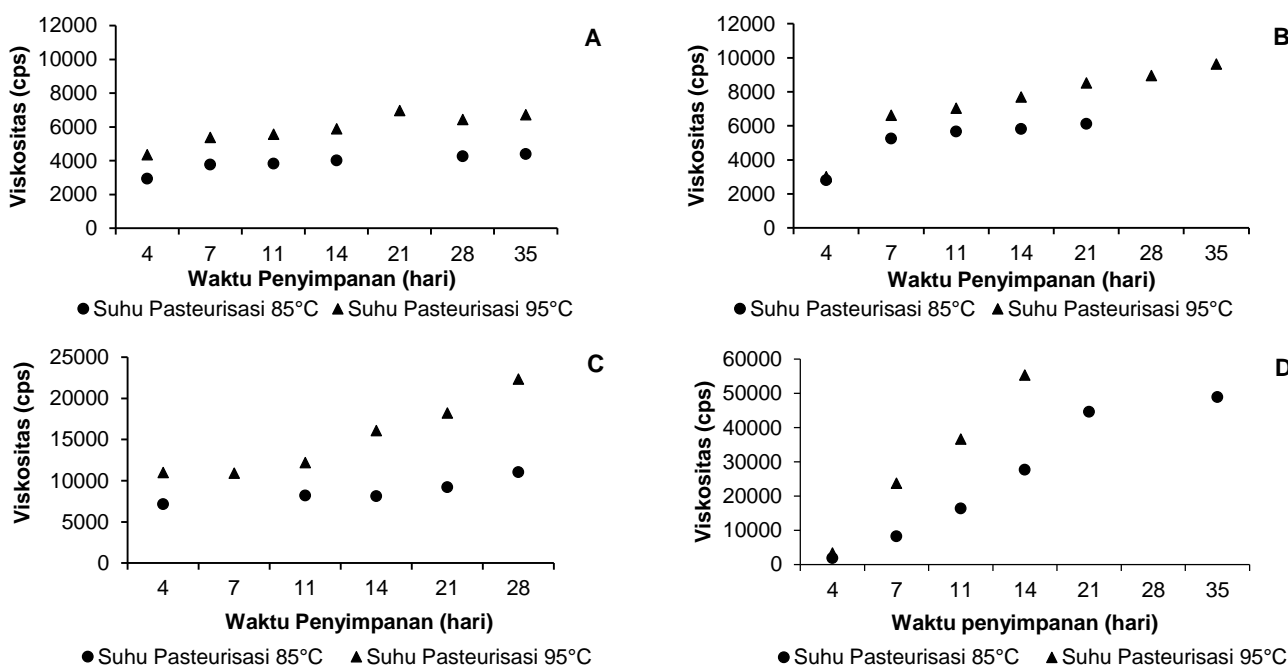
Target	Nilai Z (°C)	Nilai Pasteurisasi (menit)	
		P ₈₅	P ₉₅
Sel vegetatif, kapang, khamir	3.7	1.59	799.80
<i>Salmonella spp</i>	5.0	1.01	100.82
<i>Staphylococcus spp</i>	9.0	0.57	7.34
<i>L. monocytogenes</i>	6.8	0.72	21.18
Lipase	38.9	0.33	0.59

Keberadaan enzim lipase berpengaruh terhadap penurunan mutu KKM selama penyimpanan, karena lipase dapat menyebabkan reaksi oksidasi asam lemak yang berkontribusi pada pembentukan bau tengik secara berangsur-angsur pada KKM selama penyimpanan.

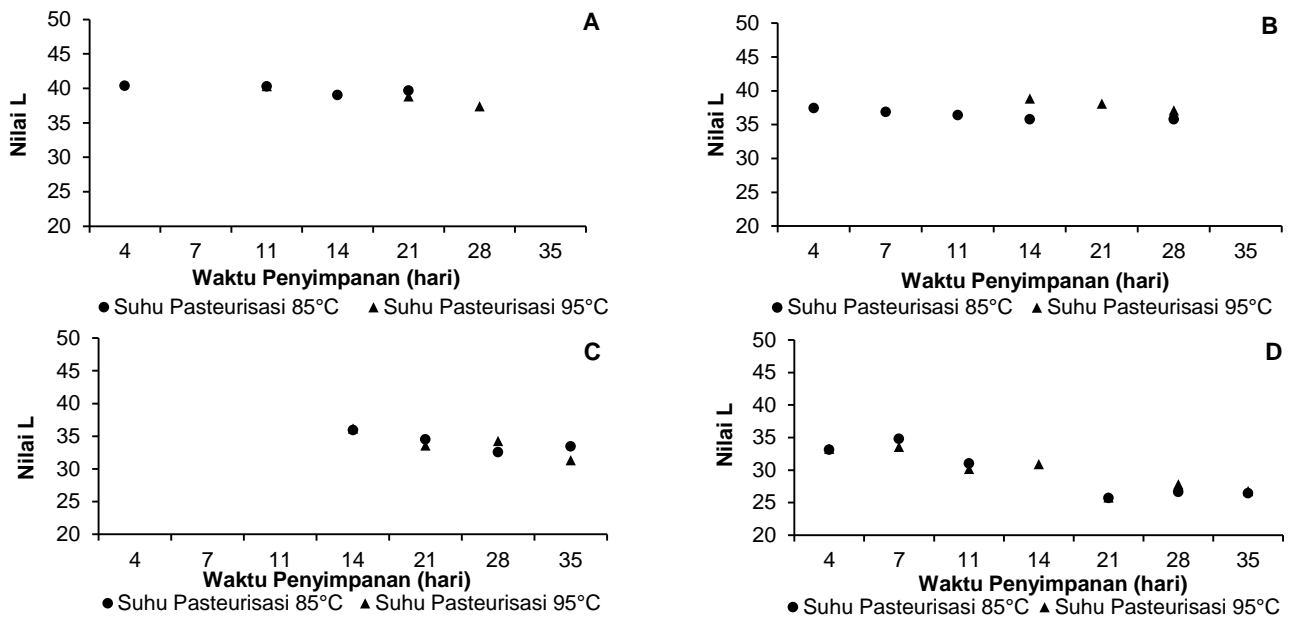
Menurut Walstra *et al.* (2006) enzim lipolitik umumnya menyerang posisi 1 dan 3 dari trigliserida sehingga menghasilkan asam lemak bebas yang bersifat volatil. Inaktivasi lipase yang lebih besar dapat dilakukan dengan meningkatkan suhu proses pasteurisasi (Hetrick dan Tracy 1948) atau dengan meningkatkan waktu pasteurisasi (Vercet *et al.* 1997), dengan mempertimbangkan penerimaan sensori dan umur simpan.

Stabilitas dan umur simpan KKM

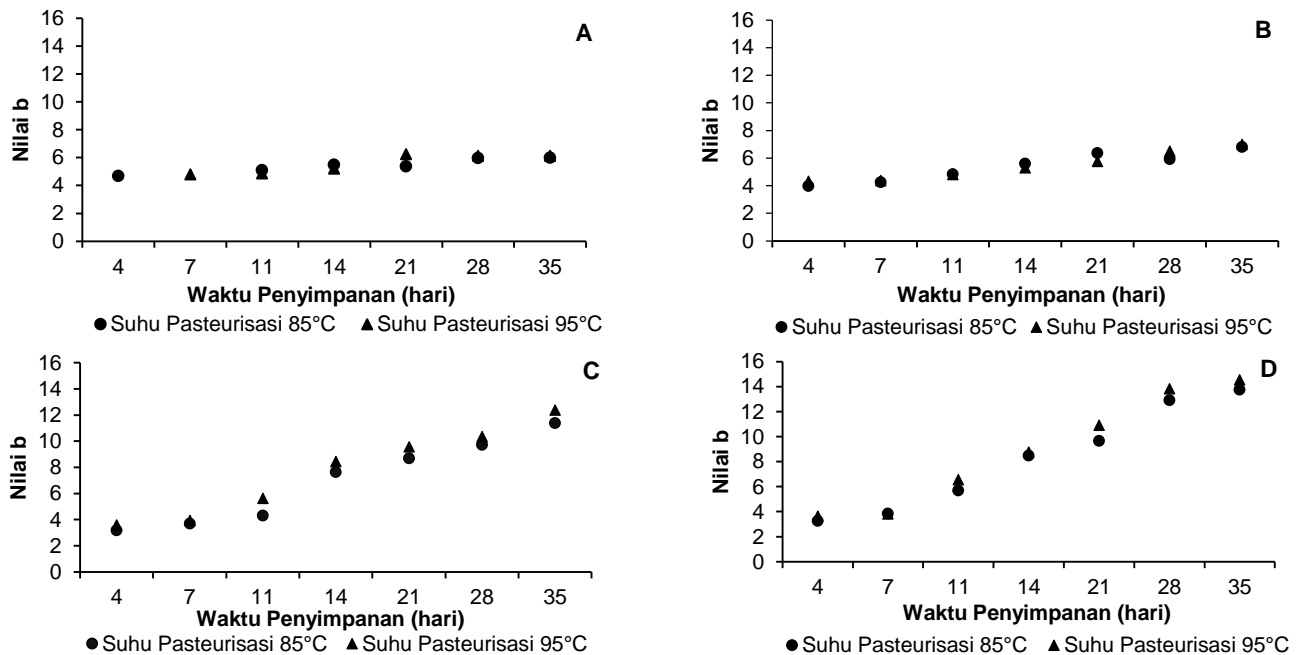
Selain faktor keamanan pangan, mutu KKM penting diperhatikan untuk melihat penerimaan konsumen terhadap produk tersebut. Atribut mutu yang umumnya digunakan sebagai parameter kerusakan adalah perubahan nilai viskositas (Kalyankar *et al.* 2016). Viskositas KKM disebabkan oleh kandungan total padatan yang tinggi, di samping juga adanya penambahan pati sebagai bahan pengental. Secara umum viskositas meningkat terhadap lama waktu penyimpanan (Gambar 2). Mengacu kepada Bienvenue *et al.* (2003) kenaikan viskositas selama penyimpanan disebabkan oleh adanya penyatuan kembali struktur tiga dimensi selama penyimpanan, menghasilkan kontak yang lebih besar antara partikel terdispersi yang meningkatkan viskositas. Adapun menurut Saragih (2011) kenaikan viskositas KKM dapat terjadi karena adanya retrogradasi molekul pati, yaitu terjadinya re-asosiasi amilosa dan amilopektin melalui ikatan hidrogen yang terjadi secara perlahan-lahan selama penyimpanan. Secara umum, warna KKM yang dinyatakan dengan nilai L, a dan b mengalami perubahan selama penyimpanan. Tingkat kecerahan (nilai L) cenderung menurun (Gambar 3), pembentukan warna kemerahan dan kuning (nilai b) meningkat (Gambar 4).



Gambar 2. Perubahan viskositas KKM selama penyimpanan pada suhu 27°C (a), 35°C (b), 45°C (c) dan 55°C (d)



Gambar 3. Perubahan intensitas nilai L KKM selama penyimpanan pada suhu 27°C (A), 35°C (B), 45°C (2C) dan 55°C (D)



Gambar 4. Perubahan intensitas nilai b KKM selama penyimpanan pada suhu 27°C (A), 35°C (B), 45°C (C) dan 55°C (D)

Menurut Saragih (2011) nilai b dapat digunakan untuk menentukan parameter mutu KKM. Perubahan warna ini dapat disebabkan oleh reaksi pencoklatan non-enzimatis (reaksi Maillard) yang terjadi akibat adanya reaksi antara gula pereduksi (laktosa) dengan asam amino, peptida atau protein yang ditandai dengan pembentukan warna coklat disertai reaksi samping yang menghasilkan komponen volatil yang berkontribusi pada pembentukan rasa dan aroma (Manzocco *et al.* 2001). Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan nilai konstanta laju reaksi (k) dari atribut viskositas dan warna (nilai L dan b) dari KKM pada masing-masing suhu dengan menggunakan pendekatan ordo reaksi nol dan satu.

Berdasarkan nilai koefisien R^2 -nya, maka laju reaksi untuk viskositas dan warna (nilai L dan b) cenderung mendekati reaksi ordo nol. Dari persamaan yang didapatkan dengan memplotkan nilai k (sumbu y) dan nilai $1/T$ (sumbu x), maka diperoleh model persamaan Arrhenius yang digunakan untuk memprediksi nilai k pada suhu penyimpanan normal. Nilai kritis atribut mutu pada penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil uji organoleptik, yaitu penerimaan secara keseluruhan KKM apabila rata-rata skor yang diberikan panelis terlatih sudah mendekati skor tidak suka. Nilai kritis untuk atribut viskositas dan warna (nilai L dan b) disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Nilai konstanta laju reaksi (k) dan R² viskositas dan warna KKM berdasarkan reaksi ordo 0 dan 1

Atribut Mutu	Suhu Pasteurisasi (°C)	Suhu Penyimpanan (°C)	Ordo 0		Ordo 1			
			k	R ²	k	R ²		
Viskositas	85	27	201.9	0.8090	0.0540	0.7590		
		35	720.0	0.7220	0.1660	0.6640		
		45	702.8	0.8330	0.2000	0.6830		
		55	8664.0	0.9450	0.5190	0.8180		
		27	380.9	0.8240	0.0670	0.8140		
		35	929.9	0.8400	0.1520	0.7080		
	95	45	2362.0	0.9180	0.2620	0.7670		
		55	16890.0	0.9930	0.8820	0.8470		
		Nilai L	85	27	0.2486	0.4673	0.0062	0.4634
				35	0.3432	0.8478	0.0094	0.8491
				45	0.9490	0.7036	0.0276	0.6963
			95	55	1.4898	0.8233	0.0500	0.8262
27	0.9439			0.9685	0.0242	0.9646		
35	0.8825			0.9941	0.0232	0.9931		
Nilai b	85	45	1.3875	0.8011	0.0412	0.7995		
		55	1.2659	0.7901	0.0424	0.7785		
		27	0.2259	0.9287	0.0423	0.9335		
		35	0.4782	0.9258	0.0912	0.9252		
		45	1.4677	0.9611	0.2312	0.9474		
		55	1.9127	0.9773	0.2600	0.9685		
	95	27	0.3286	0.8152	0.0601	0.8249		
		35	0.4716	0.9678	0.0862	0.9793		
		45	1.5420	0.9723	0.2207	0.9488		
		55	2.0386	0.9765	0.2590	0.9523		

Tabel 8. Nilai batas kritis parameter mutu KKM berdasarkan model ordo 0

Suhu	Viskositas (cP)		Warna (L dan b)	
	Nilai Awal	Nilai Kritis	Nilai Awal	Nilai Kritis
85	2917.5	20000	4.68	9.57
95	4338	20000	4.79	9.57

Umur simpan pada suhu 32°C (suhu selama distribusi) berdasarkan atribut mutu viskositas dapat dilihat pada Tabel 9. Umur simpan yang KKM yang dipasteurisasi pada suhu 85°C adalah 292.4 hari (10 bulan) lebih lama dibanding 95°C 174.5 hari (6 bulan) berdasarkan parameter viskositas. Berdasarkan Saragih (2011) umur simpan KKM berdasarkan viskositas dapat mencapai 12 bulan. Perbedaan umur simpan pada produk pangan dapat dipengaruhi beberapa faktor antara lain komposisi bahan, pH, dan suhu pengolahan sebagaimana Muir dan Banks (2003), dan fluktuasi suhu penyimpanan sebagaimana Baeza *et al.* (2007). Adapun berdasarkan parameter warna yaitu nilai b, maka diperoleh umur simpan SKM yang diproses pada suhu 85°C (43.2 hari) yang lebih lama dibanding yang diproses pada suhu 95°C (30.5 hari). Umur simpan dengan menggunakan parameter nilai L memberikan perhitungan umur simpan yang terlalu pendek sehingga tidak dipilih sebagai parameter penentu umur simpan.

Tabel 9. Umur simpan pada suhu distribusi (32°C) berdasarkan atribut viskositas dan warna (nilai L dan b) (reaksi ordo 0)

Suhu Pasteurisasi (°C)	Parameter	Nilai k	Umur Simpan (hari)
85	Viskositas	58.4	292.4
	Nilai L	0.1	33.5
	Nilai b	0.1	43.2
95	Viskositas	89.7	174.5
	Nilai L	0.8	5.4
	Nilai b	0.2	30.2

KESIMPULAN

Proses pasteurisasi KKM pada suhu 85°C dan 95°C sudah memadai untuk menurunkan jumlah mikroba awal dan menginaktivasi sel vegetatif, kapang, khamir, *Salmonella*, *Staphylococcus*, dan *Listeria monocytogenes*, serta telah memenuhi persyaratan mikrobiologi yang ditetapkan oleh BPOM untuk KKM. Namun demikian, kedua suhu tersebut belum cukup untuk menginaktivasi enzim lipase yang diduga berkontribusi pada laju penurunan mutu KKM selama penyimpanan. Umur simpan KKM dipengaruhi oleh suhu pasteurisasi, yaitu KKM yang diproses pada suhu 85°C memiliki umur simpan yang lebih panjang dibandingkan yang dipasteurisasi pada suhu 95°C berdasarkan parameter viskositas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson RE, Hedlun CB, Jonsson U. 1979. Thermal inactivation of a heat-resistant lipase produced by the psychrotrophic bacterium *Pseudomonas fluorescens*. *J Dairy Sci* 62: 361-367. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(79)83252-X.
- Asaduzzaman M. 2007. A study on the quality of sweetened condensed milk available in the local market of Bangladesh. *Bangladesh J Sci Ind Res* 42(2): 147-156. DOI: 10.3329/bjsir.v42i2.467.
- Baeza R, Mielnicki D, Zamora MC, Chirife J. 2007. Effect of environmental daily temperature fluctuations over one year storage on the prediction of non-enzymatic browning in reduced-moisture foods stored at “ambient” temperature. *J Food Control* 18(12): 1532-1537. DOI: 10.1016/j.foodcont.2006.12.001.

- Bienvenue A, Flores RJ, Singh H. 2003. Rheological properties of concentrated skim milk: influence of heat treatment and genetic variants on the changes in viscosity during storage. *J Agric Food Chem* 51: 6488-6494. DOI: 10.1021/jf034050.
- [BPOM RI] Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. 2015. Kategori Pangan 01.0 Produk Susu dan Analognya, Kecuali yang Termasuk Kategori 2. Peraturan Kepala Badan POM Nomor 1 Tahun 2015 tentang Kategori Pangan. Jakarta: BPOM RI.
- [BPOM RI] Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. 2016. Peraturan Kepala Badan POM Nomor 16 Tahun 2016 tentang Kriteria Mikrobiologi dalam Pangan Olahan. Jakarta: BPOM RI.
- Brocklehurst TF, Mitchell GA, Pleass W, Smith AC. 1995. The effect of step changes in sucrose concentration on the growth of *Salmonella typhimurium* LT2. *J Appl Bacteriol* 78(5): 495-500. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1995.tb03091.x.
- [CAC] Codex Alimentarius Commission. 2011. Codex Standard for Sweetened Condensed Milks, Codex Stan 282-1971. Rome: CAC
- Faridah DN, Yasni S, Suswantinah A, Aryani GW. 2013. Pendugaan umur simpan dengan metode *accelerated shelf life testing* pada produk bandrek instan dan sirup buah pala (*Myristica fragrans*). *J Ilmu Pert Indonesia* 18(3): 144-153.
- Fernandes R. 2008. Pathogen Profile. Editor. *Microbiology Handbook Dairy Products*, hal 143-154. ISBN: 978-1-905224-62-3.
- Hafzialman, Kusnandar F, Purnomo EH. 2014. Evaluasi kecukupan panas proses pasteurisasi *Nata de Coco* dalam kemasan plastic polietilen. *J Mutu Pangan* 1(1): 33-39.
- Hariyadi P. 2017. Teknologi Proses Termal untuk Industri Pangan. *Media Pangan Indonesia*, Bogor. ISBN: 978-602-73071-3-1.
- Haryati, Estiasih T, Heppy F, Ahmadi K. 2015. Pendugaan umur simpan dengan metode *accelerated shelf-life testing* (ASLT) dengan pendekatan Arrhenius pada produk tape ketan hitam khas Mojokerto hasil sterilisasi. *J Pangan Agro Ind* 3(1): 156-165.
- Heldman DR, Singh RP. 2009. *Introduction to Food Engineering*. Edisi 4. Academic Press, London. ISBN: 978-0-12-370900-4.
- Hetrick JH, Tracy PH. 1948. Effect of high-temperature short-time heat treatments on some properties of milk. II. Inactivation of the lipase enzyme. *J Dairy Sci* 31(10): 881-887. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(48)92272-3.
- Hudson A, Wong T, Lake R. 2003. Pasteurization of Dairy Product: Times, Temperatures, and Evidences Control of Pathogenes. Institut of Environmental Science and Research Limited. Hal. 12.
- Kalyankar SD, Deshmukh MA, Khedkar CD, Deosarkar SS, Sarode AR. 2016. Condense Milk. *Encyclopedia of Food and Health*. 891-895. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00192-6.
- Kementan RI. 2017. *Statistik Konsumsi Pangan*. Jakarta.
- Karlsson AO, Ipsen R, Schrader K, Ardo Y. 2005. Relationship between physical properties of casein micelles and rheology of skim milk. *J Dairy Sci* 88:3784-3797. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73064-2.
- Kusnandar F, Adawiyah DR, Fitria M. 2010. Pendugaan umur simpan produk biskuit dengan metode akselerasi berdasarkan pendekatan kadar air kritis. *J Teknol Industri Pangan* 21(2): 117-122.
- Madriz MFS. 2003. Preservation of Food. *Encyclopedia of Dairy Science* 4766-4772. DOI: 10.1016/B0-12-227055-X/00968-8.
- Morison KR, Phelan JP, Bloore CG. 2013. Viscosity and non-Newtonian behaviour of concentrated milk and cream. *Int J Food Properties* 16: 882-894. DOI: 10.1080/10942912.2011.573113.
- Muir DD, Banks JM. 2003. Factors affecting the shelf-life of milk and milk products. *Dairy Proces* 185-207. DOI: 10.1533/9781855737075.1.185.
- Necidova L, Bogdanovica K, Harustiakova D, Bartova K. 2016. Short communication: Pasteurization as a means of inactivating staphylococcal enterotoxins A, B, and C in milk. *J Dairy Sci* 9: 8638-8634. DOI: 10.3168/jds.2016-11252
- Nieuwenhuijse JA. 2011. Concentrated Dairy Product: Sweetened Condensed Milk. *Encyclopedia of Dairy Science*, 869-873. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.00697-1.
- Pereira DBC, Sa JFO, Santos MC, Teodoro VAM, Magalhaes FAR, Perrone IT, Silva PHF. 2017. Characterization of physicochemical composition, microbiology, sensory evaluation and microscopical attributes of sweetened condensed milk. *Food Sci Technol*, 38: 293-298. DOI: 10.1590/1678-457x.34416.
- Phimolssiripol Y dan Suppakul P. 2016. Techniques in Shelf Life Evaluation of Food Product. *Reference Module in Food Science* DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.03293-5.
- Rakcejeva T, Skorina V, Karklina D, Skudra L. 2013. ASLT method for beer accelerated shelf life determination. *Int J Nutr Food Eng* 7(2): 117-122.
- Saragih F. 2011. Pengembangan Formulasi Krimer Kental Manis dengan Karakteristik Mutu Mendekati Susu Kental Manis Skala Pilot Plant dan Factory Trial. [Tesis]. Bogor. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Shah MK, Asa G, Sherwood J, Graber K, Berghoz TM. 2017. Efficacy of vacuum pasteurization for inactivation of *Salmonella* PT 30, *E. coli* O157:H7 dan *Enterococcus faecium* on low moisture foods. *Int Food Microbiol* 244(6): 111-118. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.01.003.
- Silva FPM, Gibs PA. 2010. Non proteolytic *Clostridium botulinum* spores in low-acid cold-distributed foods and design of pasteurization process. *Trends Food*

- Sci Technol 21: 95-105. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.011.
- Sobral MMC, Nunes C, Maia A, Ferreira P, Coimbra MA. 2016. Condition for producing long shelflife fruit salads processed using mild pasteurization. LWT-Food Sci Technol 85(Part B): 316-323. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.055.
- Toledo R. 2007. Fundamentals of Food Processing Engineering. Springer, Georgia. ISBN 978-0-38729019-5.
- Tomasula PM, Kozempel MF. 2004. Flow characteristic of a pilot scale high temperature short time pasteurizer. J Dairy Sci 87(9): 2761-2768. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73403-7.
- Vegara S, Marti N, Mena P, Saura D, Valero M. 2013. Effect of pasteurization process and storage on color and shelf life of pomegranate juices. Food Sci Technol 54: 592-596. DOI: 10.1016/j.lwt.2013.06.022.
- Vercet A, Lopez P, Burgos J. 1997. Inactivation of heat resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* by manothermosonication. J Dairy Sci 80: 29-36. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)75909-5.
- Vervoort L, Plancken IVD, Grauwet T, Timmermans RAH, Mastwijk HC, Matser AM, Hendrickx ME, Loey AV. 2011. Comparing equivalent thermal, high pressure and pulsed electricfield processes for mild pasteurization of orange juice Part II: Impact on specific chemical and biochemical quality parameters. Innov Food Sci Emerging Technol 12: 466-477. DOI: 10.1016/j.ifset.2011.06.003.
- Walstra P, Wouters JTM, Geurts TJ. 2006. Milk Components, editor. Dairy Science and Technology, hal 37-62. ISBN: 978-0-8247-2763-5.

JMP-07-19-18-Naskah diterima untuk ditelaah pada 12 Juli 2019 Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 31 Oktober 2019. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi>