

Mouthfeel Matter:

Controlling Gelation for UHT and ESL Milk

Purwiyatno Hariyadi

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

- Professor, Department of Food Science & Technology, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, IPB University, Bogor, Indonesia
- Senior Scientist, Southeast Asian Food & Agricultural Science & Technology (SEAFAS) Center, IPB University, Bogor, Indonesia



IPB University
Bogor Indonesia



purwiyatno_hariyadi



@phariyadi



IPB University
Bogor Indonesia

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>



1

Pendahuluan

- Mouthfeel menggambarkan sensasi fisik di rongga mulut saat konsumsi pangan cair atau semi-padat, mencakup viskositas, kelembutan & kehalusan (*smoothness*), kekentalan (*thickness*), dan *creamy feel*.
- Indikator Kualitas Sensorik dan Stabilitas
 - ✓ Perubahan *mouthfeel* adalah tanda pertama dari ketidakstabilan koloid pada susu ESL & UHT.
 - ✓ Gelasi atau penggumpalan menyebabkan *mouthfeel* berubah dari “smooth” menjadi kental (“thick”) atau, bahkan menggumpal (membentuk “gel”).
 - ✓ Produk tetap steril, tetapi kehilangan *pourability*.
 - ✓ “End-of-shelf-life = loss of mouthfeel.”

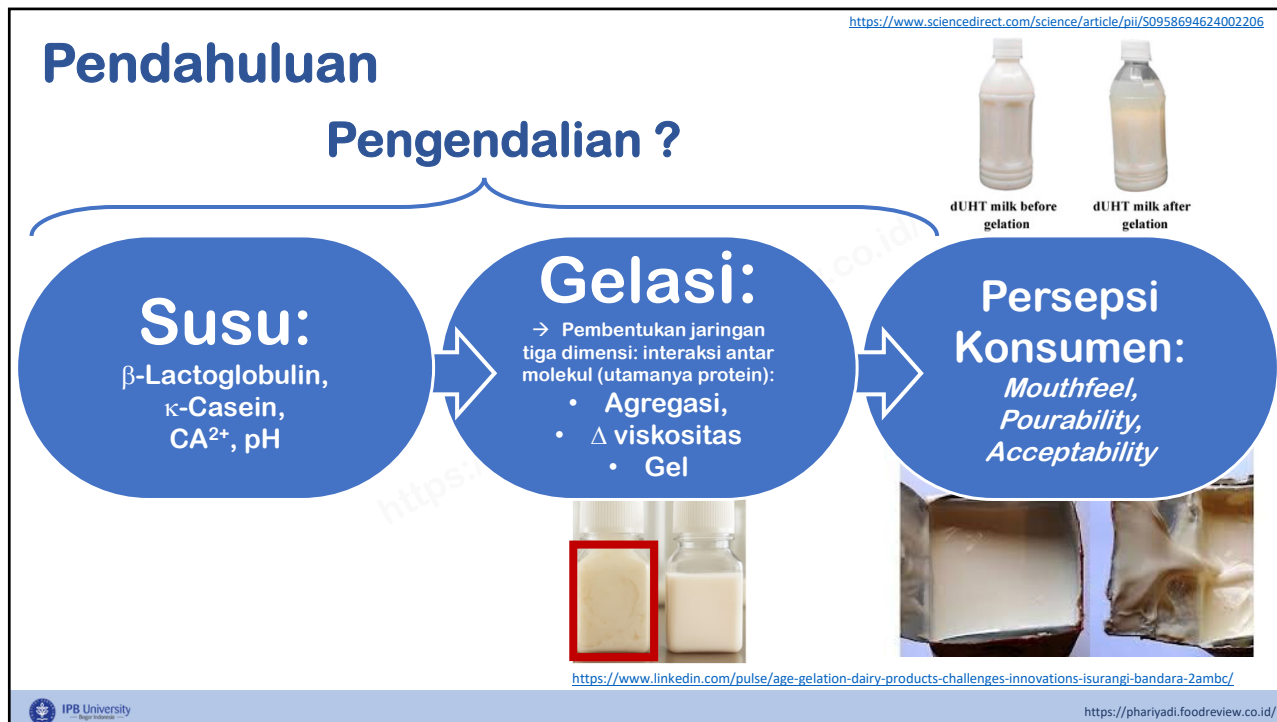


IPB University
Bogor Indonesia

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

2





3

Susu - Komposisi

Constituent	Mean Content (%)	Range (%)	Physical-Chemical State / Distribution	Phase Type	Remarks	
Water	87.5	85.5 – 89.5	Solvent medium for all milk components	Continuous phase (~ serum)		
TOTAL SOLID	Fat	3.9	2.5 – 6.0	Dispersed, fat globules surrounded by membranes	Oil-in-water emulsion	Stabilized by phospholipid-protein membrane
	Proteins (total)	3.4	2.9 – 5.0	Casein micelles in colloidal suspension; whey proteins in colloidal solution	Colloidal system	<ul style="list-style-type: none"> • Casein ≈ 80 %, • Whey ≈ 20 %
	Lactose (milk sugar)	4.8	3.6 – 5.5	Dispersed in the serum phase	True solution	Main CH, sweetness and osmotic balance
	Minerals (Ash)	0.8	0.6 – 0.9	Partly ionic (Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , PO ₄ ³⁻) and partly bound to proteins	True & colloidal solution	Influences buffer capacity and heat stability

Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook, Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

4



Susu - Protein

Constituent	Mean Content (%)	Range (%)		Conc. in milk g/kg	% of total protein w/w
Water	87.5	85.5 – 89.5			
Total	Fat	3.9	2.5 – 6.0		
	Proteins (total)	3.4	2.9 – 5.0		
	Lactose (milk sugar)	4.8	3.6 – 5.5		
	Minerals (Ash)	0.8	0.6 – 0.9		
SNF			Casein		
			α _{s1} -casein*)	10.0	30.6
			α _{s2} -casein*)	2.6	8.0
			β-casein**)	10.1	30.8
			κ-casein	3.3	10.1
			Total Casein	26.0	79.5
			Whey Proteins		
			α-lactalbumin	1.2	3.7
			β-lactoglobulin	3.2	9.8
			Blood Serum Albumin	0.4	1.2
		Immunoglobulins	0.7	2.1	
		Miscellaneous (including Proteose-Peptide)	0.8	2.4	
		Total Whey Proteins	6.3	19.3	
		Fat Globule Membrane Proteins	0.4	1.2	
		Total Protein	32.7	100	

*) Henceforth called α_s-casein
 **) Including γ-casein
 Ref: Walstra & Jenis

Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook, Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden

5

Susu - Protein

Constituent	Mean Content (%)	Range (%)	
Water	87.5	85.5 – 89.5	
Total	Fat	3.9	2.5 – 6.0
	Proteins (total)	3.4	2.9 – 5.0
	Lactose (milk sugar)	4.8	3.6 – 5.5
	Minerals (Ash)	0.8	0.6 – 0.9

- **Casein (80%):** α_s-, β-, dan κ-casein → membentuk *misel kasein*.
- **κ-CN tetap stabil** pada suhu di > 100 °C
 - tidak memiliki struktur tersier yang mudah “terbuka”
 - **Intrinsically disordered protein (IDP)**
 - **Thermostable**
- **Whey protein (20%):** β-Lg dan α-La → terlarut di fase serum.
- **β-Lg** mulai terdenaturasi pada suhu sekitar **65–70 °C**, dan terdenaturasi hampir total pada **90–95 °C**.

Bylund, G. 1995. Dairy Processing Handbook, Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden

6

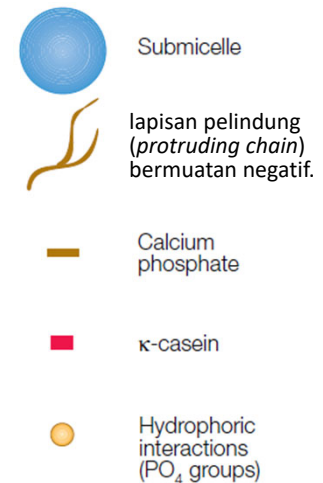
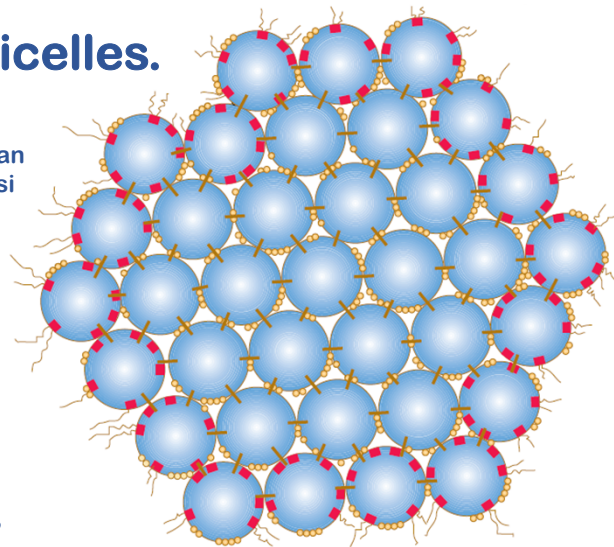


Susu - Protein

• Casein micelles.

- κ -casein melapisi permukaan misel dan mencegah koagulasi melalui:

- tolakan elektrostatis (bermuatan negatif), dan
- sterik (~ rantai yang menonjol keluar: *protruding chain*): dengan "residu sistein"

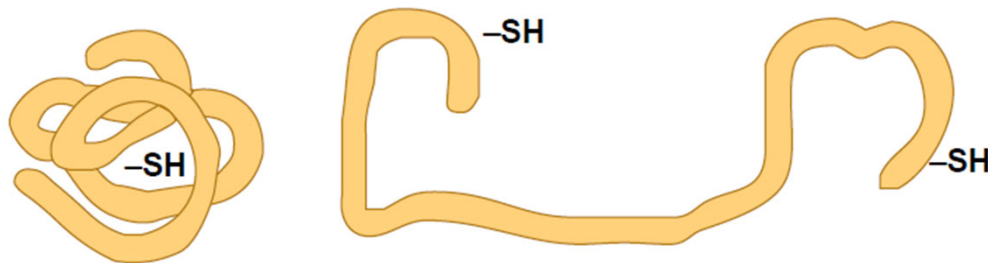


Buildup and stabilisation of casein micelles.

7

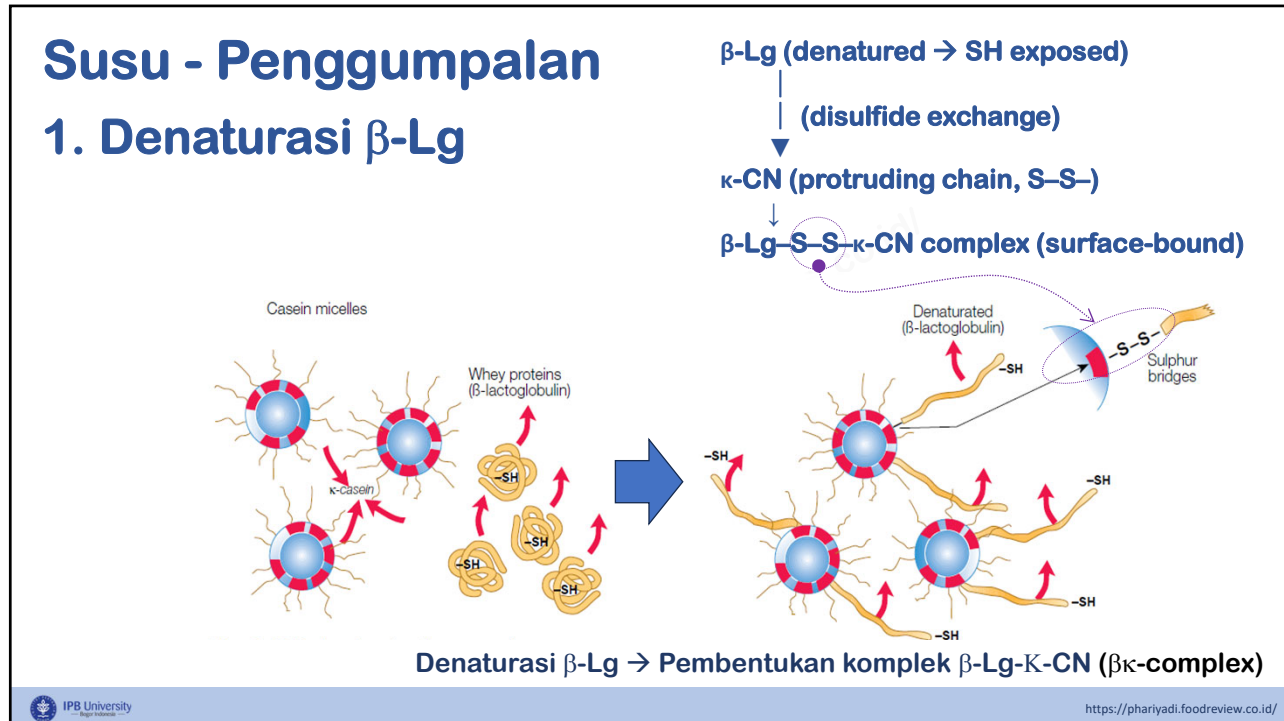
Susu - Protein

• Whey

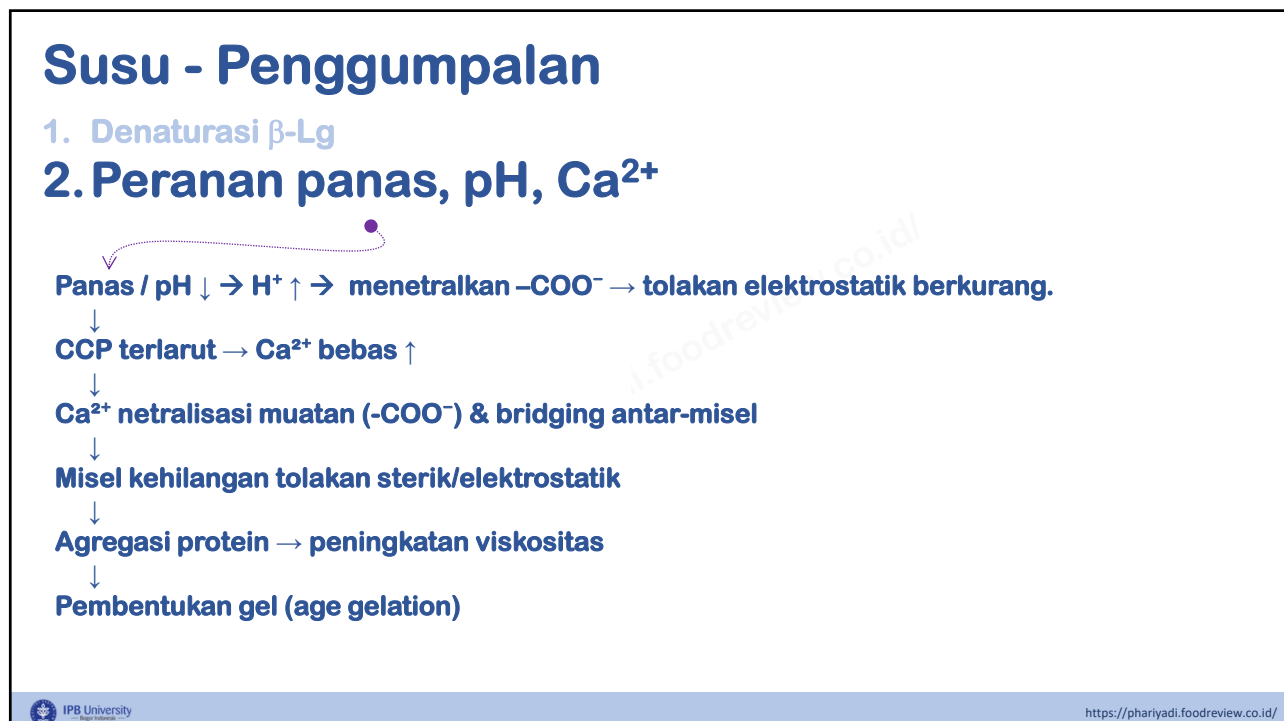


Part of a whey protein in native (left) and denaturated state.

8



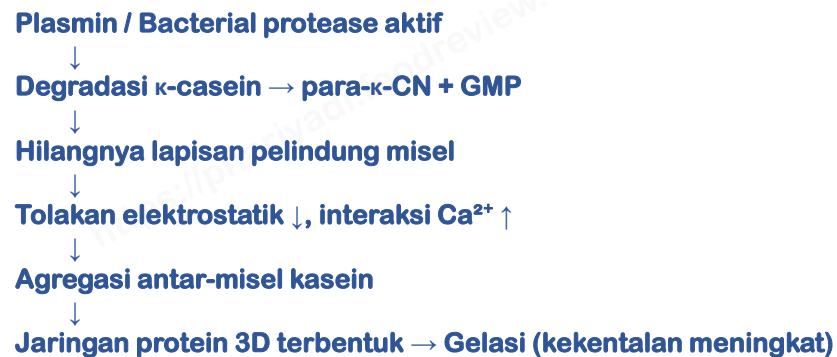
9



10

Susu - Penggumpalan

1. Denaturasi β -Lg
2. Peranan panas, pH, Ca^{2+}
3. Enzimatis



11

Peran Panas & Proses Termal?

1. Denaturasi β -Lg = f(nilai proses termal)

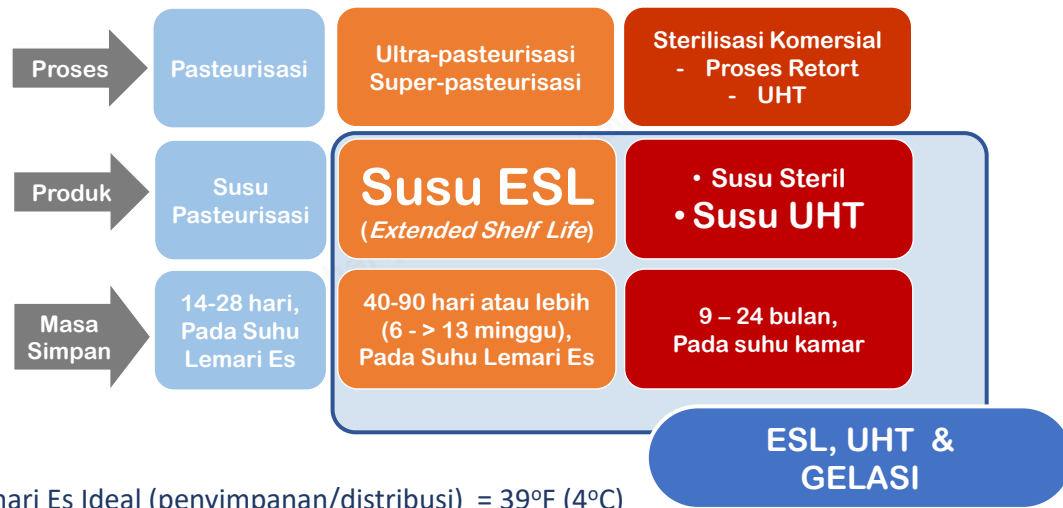
- β -Lg native → denaturasi → β -Lg terbuka → SH terekspos
- Reaksi disulfida dengan κ -CN
- Pembentukan kompleks β -Lg- κ -CN

2. Mengubah struktur protein = f(nilai proses termal)

3. Denaturasi plasmin, protease = f(nilai proses termal)

12

Proses Termal?



*) Suhu Lemari Es Ideal (penyimpanan/distribusi) = 39°F (4°C)

13

Beberapa definisi = Dasar² Proses Termal

1. Definisi Nilai F_0

$$F_0 = \frac{t}{60} \cdot 10^{\frac{(T - 121,1)}{z}}$$

t = lama (waktu) pemanasan, detik

T = suhu pemanasan, °C

Z = perubahan suhu yang diperlukan untuk menyebabkan perubahan nilai D untuk *Clostridium botulinum* dengan faktor 10 (Nilai D adalah waktu pemanasan pada suhu konstan tertentu (T) yang akan menyebabkan terjadinya penurunan jumlah (populasi) *C. botulinum* sebesar 1 siklus log)

Nilai $F_0 = 1$ menunjukkan bahwa produk menerima pemanasan ekuivalen dengan pemanasan pada suhu konstan 121,1°C (= 250°F) selama 1 menit

14

Beberapa definisi = Dasar² Proses Termal

2. Definisi Nilai Pemasakan (C-value)

$$C = \frac{t}{60} \cdot 10^{\frac{(T-100)}{z}}$$

t = lama (waktu) pemanasan, detik

T = suhu pemanasan, °C

Z = peningkatan suhu yang diperlukan untuk menyebabkan pengaruh pemasakan yang sama dengan waktu lebih singkat, hanya sepersepuluh dari waktu sebelumnya

Beberapa definisi = Dasar² Proses Termal

3. Definisi Nilai B*

$$B^* = \frac{t}{10.1} \cdot 10^{\frac{(T-135)}{10.5}}$$

t = lama (waktu) pemanasan, detik

T = suhu pemanasan, °C

B* = 1, nilai minimal sterilitas UHT

- Terjadi pada perlakuan pemanasan UHT pada suhu 135°C selama 10,1 detik, untuk spora termofilik dengan Z = 10,5°C
- Menyebabkan pengurangan populasi spora termofilik sebanyak 9 log
- Spora termofilik? → *Geobacillus stearothermophilus* (dulunya = *Bacillus stearothermophilus*)

Beberapa definisi = Dasar² Proses Termal

4. Definisi Nilai C*

$$C^* = \frac{t}{30,5} \cdot 10^{\frac{(T-135)}{31,4}}$$

t = lama (waktu) pemanasan, detik

T = suhu pemanasan, °C

C* = 1, yaitu:

Perlakuan pemanasan pada suhu 135°C selama 30,5 detik yang akan menyebabkan THIAMIN (mempunyai nilai z = 31,4°C) sebesar 3 %

Definisi UHT? ESL?

• UHT



Commercial sterilization: The application of heat at high temperatures for a time sufficient to render milk or milk products commercially sterile, thus resulting in products that are safe and microbiological stable at room temperature.

UHT (ultra-high temperature) treatment of milk and liquid milk products is the application of heat to a continuously flowing product using such high temperatures for such time that renders the product commercially sterile at the time of processing.

When the UHT treatment is combined with aseptic packaging^{*)}, it results in a commercially sterile product

^{*)} The concepts of aseptic packaging and commercially sterile can be found in the Codex documents on Low Acid and Acidified Canned Foods (CAC/RCP 23-1979) and Aseptic Processing (CAC/RCP 40-1993).

Definisi **UHT**? ESL?

- **UHT** <https://www.legislation.gov.uk/eur/2010/605/article/4>

2. **[F4**The appropriate authority] shall authorise the importation of consignments of dairy products derived from raw milk of animals other than those referred to in paragraph 1, from **[F5**such of the third countries listed in Annex 1 or parts thereof, at risk of foot-and-mouth disease as the Secretary of State, with the consent of the Scottish Ministers (in relation to Scotland) and the Welsh Ministers (in relation to Wales), may specify in a document published for the purposes of this paragraph], provided that such dairy products have undergone, or been produced from raw milk which has undergone a treatment involving:

- (a) a sterilisation process, to achieve an F_0 value equal to or greater than three; or
- (b) an ultra high temperature (UHT) treatment at not less than 135 °C in combination with a suitable holding time.

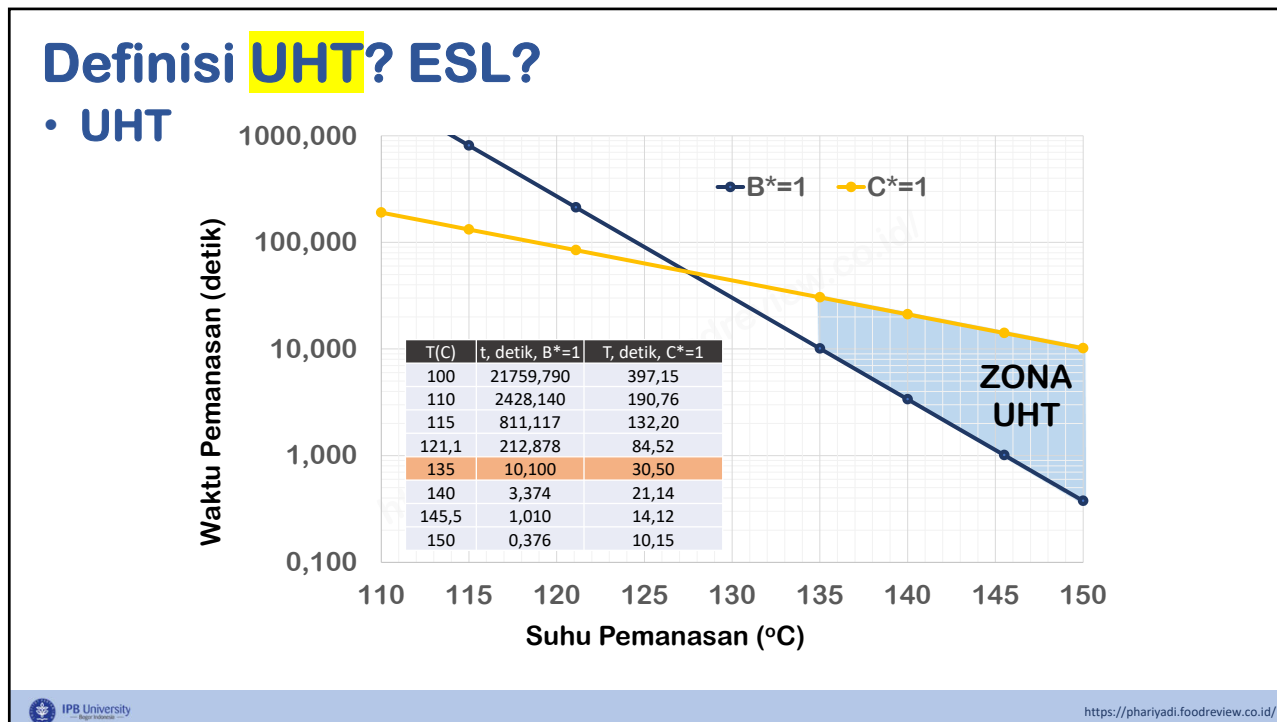
⁴⁾ The concepts of aseptic packaging and commercially sterile can be found in the Codex documents on Low Acid and Acidified Canned Foods (CAC/RCP 23-1979) and Aseptic Processing (CAC/RCP 40-1993).

Definisi **UHT**? ESL?

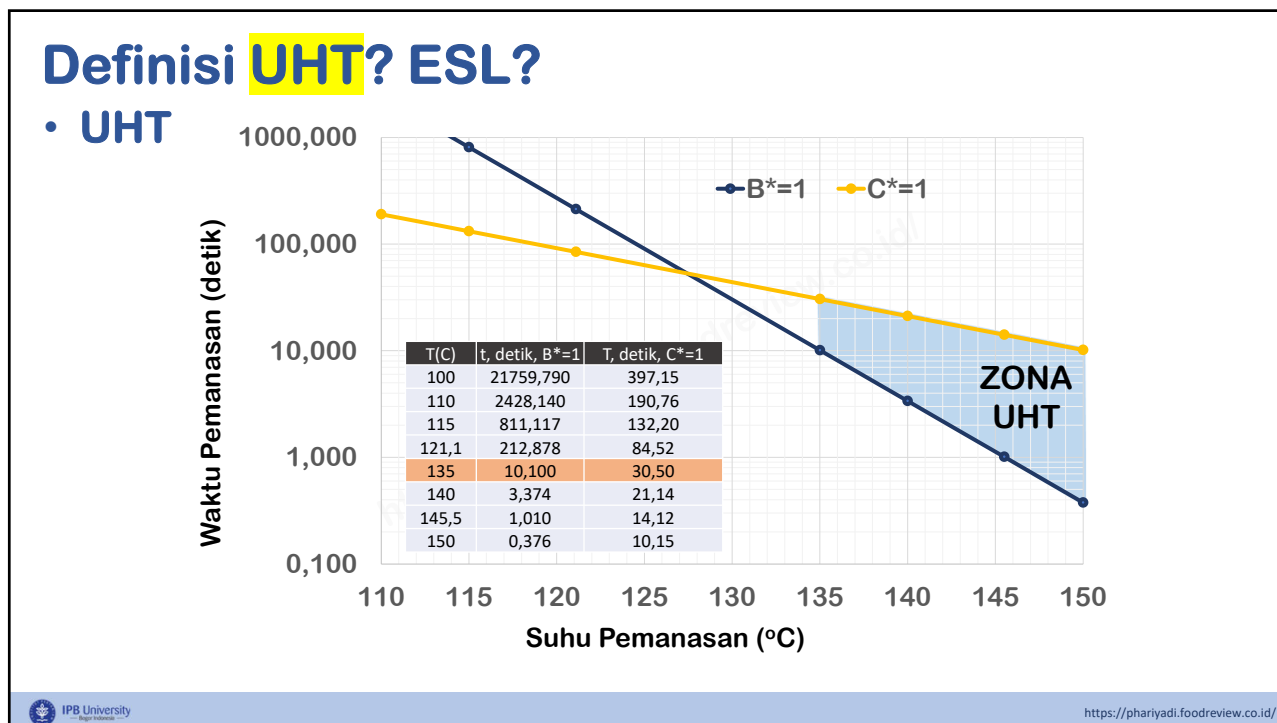
- **UHT**

Praktik Industri (TetraPak, Eropa):

UHT = Proses yang mampu mencapai $B^* \geq 1$ dan nilai $C^* \leq 1$ (mampu mencapai pengurangan spora termofilik setidaknya sebesar $9 \log^{10}$, dan menyebabkan kerusakan thiamin $\leq 3\%$)

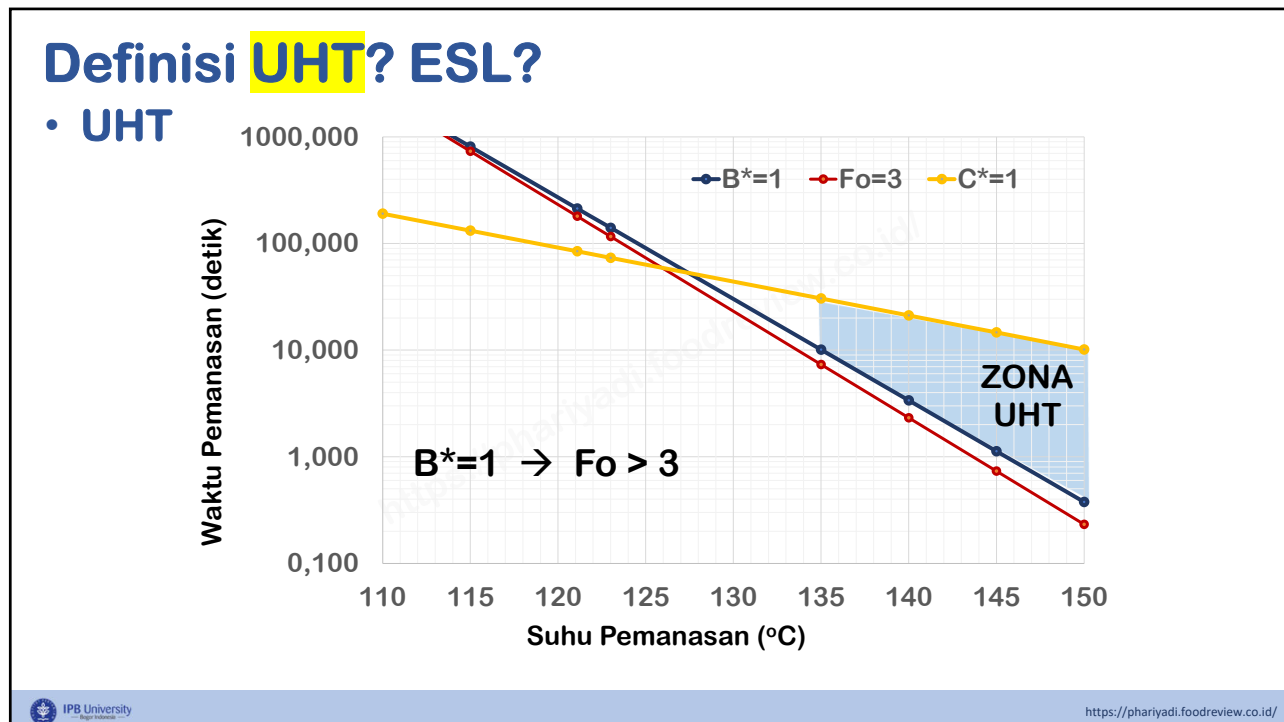


21



22





23

Definisi UHT? ESL?

- ESL
 - Istilah “ESL” lebih bersifat teknis (teknologi proses), bukan kategori hukum/peraturan/standar.
 - Berbeda dengan “susu pasteurisasi” (*pasteurized milk*) atau “susu UHT” (*ultra-high temperature milk*).
 - Karena itu, setiap produsen susu ESL bebas menentukan teknologi proses (misalnya pasteurisasi tinggi, microfiltration + mild heat), selama produk akhir memenuhi kriteria mikrobiologis dan keamanan pangan
 - “Lebih dari pasteurisasi, kurang dari sterilisasi” → ultra-pasteurisasi → tetap HARUS disimpan pada suhu refrigerasi.

IPB University <https://phariyadi.foodreview.co.id/>

24

Definisi UHT? ESL?

- **ESL**
 Susu yang diproses untuk mengurangi jumlah mikroba lebih dari pasteurisasi biasa, dikemas dalam kondisi higienis ekstrem, dan memiliki umur simpan yang lebih lama dalam kondisi dingin.

Tipe Susu	Sensory Score (Average)
Susu Pasteurisasi	~5.8
Susu ESL	~5.0
Susu Steril	~3.5

IPB University <https://phariyadi.foodreview.co.id/>

25

Definisi UHT? ESL?

- Susu UHT (135-140°C) selama 3 -10.1 detik, $B^* \geq 1$, ($F_0 \geq 3,0$ menit)
- Ultrapasteurisasi, ESL (127-138°C), selama 2 – 5 detik

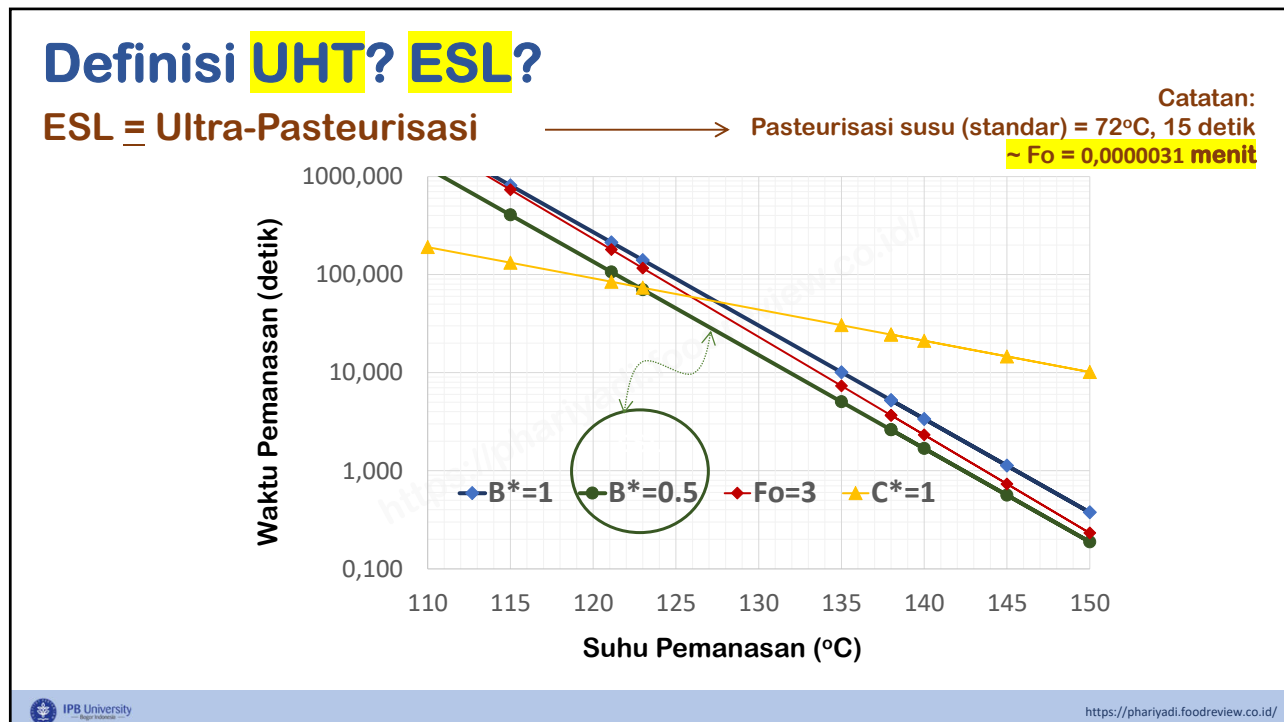
Nilai $B^* \geq 1$, $C^* \leq 1$, $F_0 \geq 3,0$ menit

Nilai $F_0 = 0.3 - 1,5$ menit

IPB University <https://phariyadi.foodreview.co.id/>

26





27

* Gelasi pada Susu UHT

Gelasi pada susu UHT terutama bersifat fisikokimia

- Hasil interaksi/perubahan struktur dan interaksi molekul protein, Ca^{2+} , dan pH akibat panas,
- Mekanismenya melibatkan:
 - Denaturasi β -lactoglobulin (β -Lg) \rightarrow membuka gugus -SH reaktif.
 - Pembentukan kompleks β -Lg- κ -casein di permukaan misel.
 - Pelepasan Ca^{2+} dari CCP (colloidal calcium phosphate) \rightarrow *Ca-bridging* antar misel.
 - Penurunan pH \rightarrow tolakan elektrostatis berkurang.
 - Terjadi agregasi dan pembentukan jaringan 3D protein (gelasi).

28

* Gelasi pada Susu UHT

Gelasi pada susu UHT terutama bersifat fisikokimia

- Hasil interaksi/perubahan struktur dan interaksi molekul protein, Ca^{2+} , dan pH akibat panas,
- Mekanismenya melibatkan:
 - Denaturasi β -lactoglobulin (β -Lg) → membuka gugus -SH reaktif.
 - Pembentukan kompleks β -Lg- κ -casein di permukaan misel.
 - Pelepasan Ca^{2+} dari CCP (colloidal calcium phosphate) → *Ca-bridging* antar misel.
 - Penurunan pH → tolakan elektrostatis berkurang.
 - Terjadi agregasi dan pembentukan jaringan 3D protein (gelasi).

Membentuk jaringan 3-D antar misel utuh (digabungkan dengan β -Lg) → gel yang lebih “kaku”

Age gelation

Plasmin → memecah integritas misel kasein
→ gel yang lebih lunak
(jaringan 3-D antar fragmen protein hasil proteolysis).

* Gelasi pada Susu UHT

IChem^E

0960-3085/00/\$10.00+0.00
© Institution of Chemical Engineers
Trans IChemE, Vol 79, Part C, December 2001

AGE GELATION OF UHT MILK—A REVIEW

N. DATTA and H. C. DEETH

Dairy Industry Centre for UHT Processing, School of Land and Food Sciences, University of Queensland, Australia

Gelasi selama penyimpanan (*age gelation*) susu UHT :

- Dapat juga disebabkan karena reaksi proteolisis kasein .
 - protease alami pada susu (plasmin)
 - proteinase yg diproduksi oleh bakteri psikrotrop (kontaminan) → protease ekstraseluler.

* Gelasi pada Susu UHT

IChem^E

0960-3085/00/\$10.00+0.00
© Institution of Chemical Engineers
Trans IChemE, Vol 79, Part C, December 2001

AGE GELATION OF UHT MILK—A REVIEW

N. DATTA and H. C. DEETH

Dairy Industry Centre for UHT Processing, School of Land and Food Sciences, University of Queensland, Australia

Empiris*) → dari data “perilaku susu UHT yang telah ditambahkan enzim proteinase murni”

→ Gelasi susu UHT berkurang secara logaritmik dengan meningkatnya aktivitas protease:

$$\text{Gelation time (weeks)} = 5.623 - 8.45 \log (\text{proteinase activity, U mL}^{-1})$$

*) Mitchell and Ewings (1985). *NZ J Dairy Sci Technol*, 20(1): 65–76.



IPB University

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

31

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

I. Tahap Pra-Proses: Menstabilkan Protein Sebelum UHT

a. Pre-heating (Pra-pemanasan bertahap; Anema & Li (2003); Deeth (2017).

- Tujuan: membentuk sebagian kompleks β -Lg- κ -CN yang protektif, bukan destruktif.
- Suhu optimum: 85–95 °C selama 15–30 s.
 - Sebagian β -Lg terdenaturasi → melekat pada permukaan misel, melindungi struktur dari overreaction saat UHT.

b. Homogenisasi yang Tepat (Walstra et al. (2006).

-



IPB University

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

32



** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

I. Tahap Pra-Proses: Menstabilkan Protein Sebelum UHT

- a. Pre-heating (Pra-pemanasan bertahap; Anema & Li (2003); Deeth (2017).
- b. Homogenisasi yang Tepat (Walstra et al. (2006).
 - Dilakukan sebelum atau sesudah pra-pemanasan (tergantung sistem).
 - Tekanan optimum: **15–20 MPa**.
 - Menjamin distribusi lemak & protein seragam, menghindari titik lokal “overheated zone”.
 - Menurunkan ukuran globula lemak → lapisan protein stabil meningkat.

c. Pengendalian Mutu Bahan Baku

...

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

I. Tahap Pra-Proses: Menstabilkan Protein Sebelum UHT

- a. Pre-heating (Pra-pemanasan bertahap; Anema & Li (2003); Deeth (2017).
- b. Homogenisasi yang Tepat (Walstra et al. (2006).
- c. Pengendalian Mutu Bahan Baku
 - Hindari susu dengan aktivitas plasmin tinggi atau flora psikrotrofik.
 - Simpan susu mentah < 4 °C, proses < 48 jam.
 - Protein sudah rusak enzimatis → gelasi tak dapat dicegah walau proses sempurna.

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

I. Tahap Pra-Proses: Menstabilkan Protein Sebelum UHT

- Pre-heating (Pra-pemanasan bertahap; Anema & Li (2003); Deeth (2017).
- Homogenisasi yang Tepat (Walstra et al. (2006).

c. Pengendalian Mutu Bahan Baku

Table 5. Effect of psychrotrophic bacteria count in raw milk on gelation time of UHT milk.

Bacterial count $\text{cfu}^{-1} \text{ml}^{-1}$	Gelation time, days	Reference
$< 8.0 \times 10^6$	> 140	Law, B. A., Andrews, A. T. And Sharpe, M. E., 1977, Gelation of ultrahigh temperature-sterilized milk by proteinases from a strain of <i>Pseudomonas uorescens</i> isolated from raw milk, <i>J Dairy Res</i> , 44(1): 145–148.
8.0×10^6	~ 63	
5.0×10^7	~ 12	

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

II. Tahap Pemanasan UHT: Optimasi Kondisi Termal

a. Pilih Sistem UHT yang Tepat

Sistem	Karakteristik	Efek terhadap gelasi
Direct (<i>steam injection/infusion</i>)	Pemanasan sangat cepat (2–3 s), pendinginan instan (<i>flash cooling</i>)	Denaturasi β -Lg cepat tapi tidak lanjut → risiko gelasi rendah
Indirect (plate/tubular)	Pemanasan lebih lambat, waktu kontak panjang (4–8 s)	Denaturasi lanjut & pH turun lebih besar → risiko gelasi tinggi

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

II. Tahap Pemanasan UHT: Optimasi Kondisi Termal

a. Pilih Sistem UHT yang Tepat

b. Kontrol Nilai B* (Deeth (2017); Datta & Deeth (2001))

- Target: B* 1.0–1.2 → sterilitas (UHT) tercapai, tapi denaturasi tidak ekstrem.
- Pengendalian dilakukan lewat kombinasi suhu–waktu (T-t combination).
- Gunakan *equivalent lethality curve* untuk validasi

c. Pendinginan Cepat (Anema & Li (2003)).

- ...

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

II. Tahap Pemanasan UHT: Optimasi Kondisi Termal

a. Pilih Sistem UHT yang Tepat

b. Kontrol Nilai B* (Deeth (2017); Datta & Deeth (2001))

c. Pendinginan Cepat (Anema & Li (2003)) ← untuk direct heating

- Setelah pemanasan → *flash cooling* ke < 30 °C dalam < 30 s.
- Tujuan: menghentikan reaksi lanjut antar β -Lg yang masih aktif.
- Tanpa pendinginan cepat → reaksi disulfida terus berjalan → agregasi selama penyimpanan.

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

III. Tahap Pasca-Proses: Kendali Kimia dan Fisik

a. Kontrol pH dan Ca²⁺ (Horne (1998))

- pH optimum susu sebelum UHT: 6.65 ± 0.05 .
- pH < 6.5 → CCP lebih larut → Ca²⁺ bebas ↑ → *Ca-bridging*.
 - pH > 6.8 → reaksi Maillard lebih cepat, rasa “cooked”.
- Tambahkan sitrat^{*)}/fosfat^{**)} mengikat Ca²⁺ bebas → mencegah agregasi (Cek regulasi!!)

b. Tambahkan Stabilisator (opsional, Deeth (2017); Codex STAN 206-1999)

...

^{*)} Trisodium Citrate

^{**)} Sodium Hexa Metaphosphate (SMHP)



** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

III. Tahap Pasca-Proses: Kendali Kimia dan Fisik

TRISODIUM CITRATE

INS 331(iii) Trisodium citrate

Functional Class: Acidity regulator, Emulsifier, Emulsifying salt, Sequestrant, Stabilizer

FoodCatNo	FoodCategory	MaxLevel	Notes	Year Adopted
01.1.1	Fluid milk (plain)	GMP	227, 438, 504	2023
01.1.2	Other fluid milk (plain)	GMP	410	2018
01.1.3	Fluid buttermilk (plain)	GMP	261	2013
01.2.1.1	Fermented milks (plain), not heat-treated after fermentation	GMP	234, 235 & 634	2024
01.2.1.2	Fermented milks (plain), heat-treated after fermentation	GMP	632	2024
01.2.2	Renneted milk (plain)	GMP		2013
01.4.1	Pasteurized cream (plain)	GMP	XS288	2013
01.4.2	Sterilized and UHT creams, whipping and whipped creams, and reduced fat creams (plain)	GMP		2013

^{*)} Trisodium Citrate

^{**)} Sodium Hexa Metaphosphate (SMHP)



** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

III. Tahap Pasca-Proses: Kendali Kimia dan Fisik



Article

The Influence of Sodium Hexametaphosphate Chain Length on the Physicochemical Properties of High-Milk Protein Dispersions[†]

Baheeja J. Zaitoun¹ and Jayendra K. Amamcharla^{2,*}

- SHMP → memperlambat proses gelasi pada minuman protein tinggi yang membutuhkan perlakuan panas tinggi seperti UHT dan sterilisasi retort.

^{*)} Trisodium Citrate

^{*)} Sodium Hexa Metaphosphate (SMHP)



IPB University

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

41

** Pengendalian Gelasi pada Susu UHT

III. Tahap Pasca-Proses: Kendali Kimia dan Fisik

a. Kontrol pH dan Ca²⁺ (Horne (1998))

b. Tambahkan Stabilisator (opsional, Deeth (2017); Codex STAN 206-1999)

Fosfat, karagenan, pektin, atau carrageenan–locust bean gum blend.

Mengikat Ca²⁺ bebas.

Meningkatkan viskositas fase serum → mencegah sedimentasi.

c. Penyimpanan

- Simpan UHT milk < 30 °C (ideal 20–25 °C). **Indonesia????**
- Suhu > 35 °C → mempercepat reaksi Maillard, ionisasi fosfat, dan peningkatan Ca²⁺ bebas → gelasi dini.



IPB University

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

42



** Pengendalian Gelasi pada Susu **UHT**

Preheating (85–95°C, 15–30s)



Partial β -Lg denaturation → protective complex



UHT (140°C, 3–4s)



Sterilization with limited further unfolding



Flash cooling



Stable milk (β -Lg- κ -CN complex confined to micellar surface)

* Gelasi pada Susu **ESL**

Gelasi pada Susu ESL

- Gelasi pada ESL jarang bersifat fisikokimia (seperti pada UHT) → tetapi lebih sering disebabkan oleh:
 - **Enzim proteolitik (plasmin atau protease mikroba) → degradasi κ -casein → pelemahan lapisan pelindung misel → agregasi lambat.**
 - **Penyimpanan suhu > 8 °C → mempercepat aktivitas enzim & reaksi ionik.**
 - **pH terlalu rendah (< 6.6) → tolakan elektrostatis antar misel berkurang.**

** Pengendalian Gelasi pada Susu ESL

I. Pengendalian di Tingkat Bahan Baku (Fox & McSweeney, 2015)

- Gunakan susu mentah → $< 10^5$ cfu/mL (Indonesia= SNI??).
- Hindari susu dari tangki dingin yang tersimpan > 48 jam (flora psikrotrofik seperti *Pseudomonas* menghasilkan protease tahan panas).
- Pengujian rutin: *protease activity test* (azocasein method).

** Pengendalian Gelasi pada Susu ESL

II. Tahap Pra-Pemanasan (Preheating; Anema & Li (2003))

- Suhu 85–95 °C selama 15–30 s.
- Tujuan: sebagian β -Lg membentuk kompleks dengan κ -CN
 → *protective complex* yang stabil terhadap pemanasan lanjut.
- Hasil:
 - Denaturasi β -Lg ≈ 40 –60 %.
 - CCP tetap stabil, pH tetap 6.6–6.7.

** Pengendalian Gelasi pada Susu ESL

III. Proses Pemanasan ESL (Deeth, 2017; Walstra, 2006)

Pada kondisi ini, kompleks β -Lg- κ -CN yang terbentuk “dioptimasi” untuk lebih bersifat protektif, bukan penghubung antar misel.

Parameter	Nilai Umum	Tujuan
Suhu	125–135 °C	Menginaktivasi mikroba & enzim tanpa overheat
Waktu	2–4 s	Mencapai $B^* \approx 0.5$
Sistem	Biasanya <i>indirect tubular</i>	Stabilitas protein lebih baik
Nilai B^*	0.4–0.6 (optimum)	40–60 % β -Lg denaturasi

** Pengendalian Gelasi pada Susu ESL

III. Proses Pemanasan ESL

Berikut beberapa Hasil penelitian:

- U.S. Reg → Ultra-pasteurization (heating milk at 138°C for 2 detik).

T (detik)	T (°C)	Nilai B^*	Nilai F_0	Nilai C^*
2	138	0,38	1,63	0,08

- *Good quality flavor of ELS* → ~50% denaturasi b-Lg (kinetika denaturasi b-Lg oleh Lyster*).

*) Lyster, R.L.J. The denaturation of -lactalbumin and -lactoglobulin in heated milk. J. Dairy Res. **1970**. 233–243

** Pengendalian Gelasi pada Susu **ESL**

III. Proses Pemanasan ESL



Review

Optimum Thermal Processing for Extended Shelf-Life (ESL) Milk

Hilton Deeth

School of Agriculture and Food Sciences, University of Queensland, Brisbane 4072, Australia;
h.deeth@uq.edu.au; Tel.: +61-7-38708251

Received: 9 October 2017; Accepted: 16 November 2017; Published: 20 November 2017

[Foods](#). 2017 Nov; 6(11): 102.

Published online 2017 Nov

20. doi: [10.3390/foods6110102](https://doi.org/10.3390/foods6110102)

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5704146/>



49

** Pengendalian Gelasi pada Susu **ESL**

III. Proses Pemanasan ESL

Theoretical bactericidal and chemical effects^{*)} of possible temperature–time combinations for producing ESL milk

Heating Conditions (°C/s)	B*	β-Lactoglobulin Denaturation (%) ²	Comments
120/9	0.03	61	B* too low to inactivate spores of psychrotrophic bacteria; β-Lg denaturation too high
127/5	0.09	55	Representative of commonly used conditions for ESL milk; B* too low to inactivate spores of psychrotrophic bacteria; β-Lg denaturation marginal
134/4	0.32	56	Conditions sufficient for inactivating spores of psychrotrophic bacteria; β-Lg denaturation marginal
138/2	0.40	45	Minimum conditions for ESL in USA; meets proposed criteria
140/1	0.32	34	Meets proposed criteria; excellent conditions if short holding time can be achieved
145/0.3	0.32	24	Meets proposed criteria; excellent conditions if short holding time can be achieved



50



** Pengendalian Gelasi pada Susu **ESL**

IV. Homogenisasi

- Dilakukan sebelum pemanasan ESL (15–20 MPa).
- Tujuan: memperkecil globula lemak dan menstabilkan emulsi.
- Efek tidak langsung: lapisan protein–lemak seragam → mencegah titik lokal reaksi panas yang dapat memicu gelasi.

V. Pendinginan Cepat (~ **Direct heating**) dan Rantai Dingin

- Pendinginan lambat = peluang reaksi antar protein meningkat → viskositas naik.
- **Distribusi selalu dalam rantai dingin (2–6 °C)** → memperlambat semua reaksi yang dapat menyebabkan gelasi.
 - Suhu > 10 °C selama beberapa hari → aktivitas protease meningkat 2–3× lipat → *ropy defect*.

Kesimpulan (i)

AGE GELATION: PENANDA AKHIR UMUR SIMPAN

- Age gelation = perubahan kolloidal yang menyebabkan hilangnya “smooth mouthfeel” meskipun produk tetap steril.
- Terjadi melalui dua mekanisme utama:
 - Fisikokimia (UHT): denaturasi β -Lg, pembentukan β -Lg- κ -CN, pelepasan Ca^{2+} , penurunan pH → agregasi misel.
 - Enzimatik (ESL): aktivitas plasmin atau protease bakteri → degradasi κ -CN → hilangnya lapisan pelindung misel.
- “End-of-shelf-life” → kenaikan viskositas dan kehilangan pourability.

Kesimpulan (ii)

MEKANISME DAN STRATEGI PENGENDALIAN

Aspek	UHT Milk	ESL Milk
Kondisi Proses	≥ 135 °C, 3–5 s ($B^* \approx 1-1.2$)	125–135 °C, 2–4 s ($B^* \approx 0.4-0.6$)
Denaturasi β -Lg	80–100 %	40–60 %
Mekanisme Gelasi	Fisikokimia (β -Lg- κ -CN, Ca^{2+} , pH)	Enzimatis (plasmin, protease mikroba)
Risiko	Tinggi bila overheat ($B^* > 1.2$)	Naik bila rantai dingin rusak
Pencegahan	Flash cooling, kontrol pH & Ca^{2+}	Cold chain ketat, preheat protektif

53

HATUR NUHUN



IPB University
— Bogor Indonesia —

TERIMA KASIH

<https://phariyadi.foodreview.co.id/>

 purwiyatno_hariyadi

 @phariyadi

54

