

LIPIDA

JURNAL TEKNOLOGI PANGAN DAN AGROINDUSTRI PERKEBUNAN

<https://jurnal.politap.ac.id/index.php/lipida>

ANALISIS PINDAH PANAS PADA STERILISASI MINUMAN SUSU ULTRA HIGH TEMPERATURE (UHT) DI PT.ZYX

Reza Widyasaputra^{1,2✉}, Badrut Tamam^{2,3}, Novan Nandiwilastio², Citra Defira²

¹Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Institut Pertanian Stiper Yogyakarta, Jalan Nangka 2 (Ringroad Utara) Maguwoharjo Depok, Sleman, 55282, Indonesia

²Program Studi Ilmu Pangan Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

³Program Studi Gizi Politeknik Kesehatan Denpasar, Jalan Gemitir 72, Denpasar, 80237, Indonesia
email : rezasaputra73@gmail.com

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima 1 Oktober 2021
Disetujui 8 Oktober 2021
Di Publikasi 15 Oktober 2021

Kata kunci:

Laju pindah panas,
minuman susu,
sterilisasi, UHT

Abstrak

Minuman susu merupakan produk pangan yang mudah rusak. Untuk itu, proses sterilisasi perlu dilakukan agar produk memiliki umur simpan yang panjang. Proses sterilisasi pada industri dapat dilakukan menggunakan suhu tinggi dalam waktu yang sangat singkat. Proses ini dikenal dengan *Ultra High Temperature* (UHT). Proses sterilisasi UHT dapat dilakukan dengan menggunakan *Tubular Heat Exchanger* (THE) maupun *Plate Heat Exchanger* (PHE). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan laju pindah panas dari penggunaan kedua jenis alat tersebut pada sterilisasi susu di PT.ZYX. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa laju pindah panas pada alat PHE lebih tinggi dibandingkan dengan THE. Kedua alat menggunakan media air panas. Simulasi menggunakan media uap menunjukkan bahwa laju pindah panasnya tidak jauh berbeda dengan menggunakan media air panas pada alat THE.

HEAT TRANSFER ANALYSIS IN ULTRA HIGH TEMPERATURE (UHT) MILK BEVERAGES STERILIZATION IN PT.ZYX

Keywords:

Heat transfer rate, milk
beverages, sterilization,
ultra-high temperature

Abstract

As perishable food, the sterilization process in milk was essential to obtain long shelf life. In industry, sterilization process was performed using high temperature in very short time. This process was known as Ultra High Temperature (UHT). UHT sterilization process could be done with Tubular Heat Exchanger (THE) or Plate Heat Exchanger (PHE). This research was aimed to compare the heat transfer rate from THE and PHE in PT.ZYX milk sterilization plant. Based on analysis, heat transfer rate of PHE was higher than THE. Both of them were using hot water as medium. The simulation with steam as heat transfer medium showed that the heat transfer rate was not much different with hot water in THE.

PENDAHULUAN

Susu adalah jenis pangan yang diperoleh dari kelenjar susu hewan ternak yang kaya akan protein, lemak dan zat gizi lainnya. Kandungan zat gizinya yang tinggi membuat susu mudah sekali ditumbuhi mikroorganisme patogen dan pembusuk. Jenis bakteri patogen yang dapat tumbuh pada susu adalah *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* sp, dan *Escherichia coli*, sedangkan yang terlibat dalam proses pembusukan pada susu adalah bakteri-bakteri psikotropik seperti *Pseudomonas fragi* dan *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri lain yang dapat hidup setelah proses pasteurisasi adalah *Clostridium*, *Bacillus*, *Cornebacterium*, *Arthrobacter*, *Lactobacillus*, *Microbacterium*, dan *Micrococcus* (Oliver et al., 2005).

Dalam industri susu, sterilisasi umumnya dilakukan dengan metode UHT (*Ultra High Temperature*) yaitu memberikan panas antara 135 hingga 150 °C selama 1-8 detik dengan sistem *continuous*. Sterilisasi susu juga dapat dilakukan dengan melakukan pre-heating selama 1-60 detik pada suhu 120-135 °C yang diikuti dengan sterilisasi setelah pembotolan pada suhu 110-120 °C selama 1-20 menit (Scheldeman et al., 2005). Metode UHT sudah sangat berkembang saat ini karena prosesnya yang aseptik, mampu menjaga atribut cita rasa dan meningkatkan umur simpan produk (*shelf life*) tanpa membutuhkan pendinginan saat distribusi (Hedrick et al., 1981).

Susu UHT (*Ultra High Temperature*) adalah susu yang mengalami sterilisasi parsial untuk melenyapkan semua bakteri pembusuk maupun patogen serta sporanya. Dalam proses UHT, susu dipanaskan pada suhu tinggi yang melampaui titik didihnya (minimal 130 °C) selama 0,5 detik, dan selanjutnya susu dikemas dalam kemasan yang aseptik (Kurniawan & Riana, 2013). Sterilisasi produk susu biasanya dilakukan dengan menggunakan alat penukar panas atau bahkan dengan pemanasan langsung, sehingga pemanasan bisa dilakukan pada suhu yang sangat tinggi dan waktu yang sangat singkat. Pemanasan demikian inilah yang sering disebut sebagai pemanasan ultra-high temperature atau beberapa juga menyebutkan sebagai ultra-heat treatment yang dua-duanya sering disingkat sebagai UHT (Hariyadi, 2010).

Berbeda dengan susu hasil pasteurisasi metode *Low Temperature Long Time* (LTLT) dan *High Temperature Short Time* (HTST), susu dengan metode UHT langsung jauh lebih panjang masa simpannya yaitu 6 bulan pada penyimpanan 4 °C dan hingga 12 bulan pada suhu penyimpanan 20 °C, sedangkan untuk susu yang menggunakan metode UHT tidak langsung dapat bertahan 12 bulan pada penyimpanan 4 °C hingga lebih dari satu tahun pada suhu penyimpanan 20 °C (Barraquio, 2014). Tetapi ini hanya berlaku untuk susu UHT yang kemasannya belum dibuka. Begitu kemasannya dibuka, susu UHT akan mudah terkontaminasi dengan bakteri pembusuk. Oleh karena itu, setelah dibuka susu harus disimpan di dalam refrigerator/ lemari es (suhu 3-5 °C) dan sebaiknya segera habiskan dalam jangka waktu 7 sampai 10 hari selain umur simpan (Kurniawan & Riana, 2013).

Umumnya, UHT adalah proses pemanasan pada suhu tinggi (135-150°C) tetapi pada waktu hanya sekitar 2-15 detik. Pemanasan demikian, mampu membunuh spora bakteri tahan panas sehingga tercapai kondisi sterilitas produk yang diinginkan dan sekaligus mampu meminimisasi tingkat kerusakan mutu (tektur, warna, cita rasa) dan zat gizi. Secara umum, proses HTST atau UHT mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses pemanasan biasa; terutama dalam hal memberikan retensi vitamin yang lebih tinggi, kerusakan protein lebih rendah, pencoklatan lebih kecil, dan kerusakan ingriden lebih kecil (Hariyadi, 2010).

Plate Heat Exchanger (PHE) adalah jenis penukar panas yang sangat luas digunakan di industri susu (Huang & Goddard, 2015). Keuntungan penggunaan PHE adalah lebih ringkas (*compact*) serta menggunakan pendekatan suhu yang lebih rendah dibandingkan jenis *shell* dan *Tubular Heat Exchanger* (THE). Kondisi ini akan menghasilkan suhu pada dinding lebih rendah dan overheating pada produk juga lebih kecil (Boxler et al., 2014). Pada alat ini terdapat gasket, yang terbuat dari karet alam atau sintesis, Gasket biasanya dibentuk elastomer, dipilih berdasarkan kompatibilitas cairan dan kondisi temperatur dan tekanan. pengaturan multi-pass dapat diimplementasikan, tergantung pada susunan gasket antara pelat. Butyl atau karet nitril adalah bahan umumnya digunakan dalam pembuatan gasket. (Fábio et al., 2015).

Tubular Heat Exchanger (THE) termasuk ke dalam jenis *heat exchanger* atau penukar panas jenis non kontak, yaitu produk dan medium pemanas atau pendingin terdapat secara fisik dalam keadaan terpisah, biasanya dibatasi oleh sebuah dinding tipis. THE merupakan penukar panas dengan dua pipa penukar panas, terdiri dari pipa yang terletak konsentris dalam pipa lainnya. Di

dalam pipa, terdapat dua aliran fluida serta juga di ruang annular. Fluida dapat mengalir dalam arah yang sama (*flow paralel*) atau di arah yang berlawanan (*counterflow*) (Singh & Heldman, 2014).

Demikian berkembangnya teknologi rekayasa proses khususnya pindah panas pada produk pangan khususnya produk susu, maka observasi lapang di PT. ZYX untuk mengetahui perbandingan laju pindah panas antara penggunaan THE dan PHE penting dilakukan.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan observasi lapang ini dilaksanakan pada hari Jumat tanggal 20 Mei 2016 tempat observasi lapang berada di PT ZYX yang berada di Provinsi Jawa Barat.

Metode Pengumpulan Data

Metode yang dilakukan adalah dengan cara pengamatan secara langsung ke lokasi proses produksi, wawancara, pengumpulan data spesifikasi teknis alat yang digunakan, serta melakukan simulasi.

Analisis Data

Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis dengan perhitungan dan disajikan secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Produksi Minuman Susu UHT di PT. ZYX

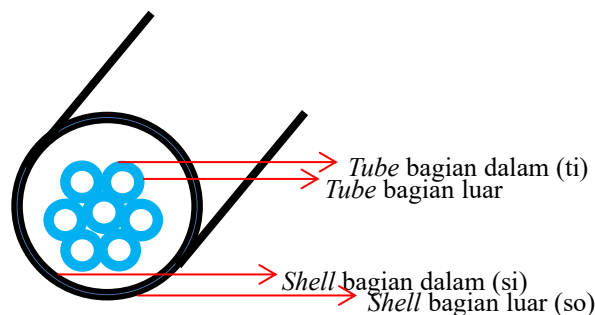
Proses produksi minuman susu UHT dalam kemasan botol pada dimulai dari proses penerimaan bahan baku susu segar yang kemudian dilakukan pasteurisasi. Di sisi yang lain bahan baku tambahan seperti susu skim, perisa, pewarna, penstabil dan air dicampur dan dihomogenisasi serta dipasteurisasi. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur pada suatu tangki *mixing* dengan kapasitas besar. Setelah tercampur dengan baik, susu kemudian dipindahkan ke THE untuk dilakukan proses sterilisasi. Susu yang telah disterilisasi akan ditampung dalam *Aseptic Tank*. Proses pengisian dalam botol dilakukan secara aseptis. Tahap terakhir ialah dilakukan proses pengemasan pada kemasan sekunder dan tersier. Selanjutnya produk akhir (*finished good*) siap didistribusikan.

Perhitungan Laju Pindah Panas

PT. ZYX memanfaatkan THE sebagai alat penukar panas pada proses sterilisasi susu UHT (*Ultra High Temperature*) nya. Media pemanas yang digunakan ialah air panas bersuhu 139-144 °C. Air panas ini pada awalnya ditukar panasnya dari *steam* dengan menggunakan PHE.

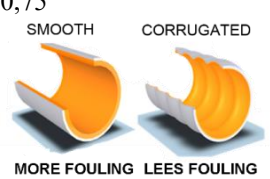
Kalkulasi atau perhitungan yang dilakukan pada dasarnya ingin mengetahui berapa jumlah panas yang mampu dipindahkan tiap detik oleh media air panas pada sistem THE. Selanjutnya, dilakukan simulasi perhitungan apabila proses penukaran panas jika dilakukan dengan menggunakan PHE. Dari hasil kalkulasi ini dapat dibandingkan alat penukar panas mana yang dapat memindahkan panas lebih banyak tiap detiknya pada kasus sterilisasi susu UHT.

Adapun gambaran tentang alat penukar panas THE yang digunakan tersaji pada gambar 1. Selanjutnya, pada tabel 1 tersaji data spesifikasi teknis dari THE tipe MT/70-7x16C-6 yang digunakan pada proses sterilisasi susu UHT.



Gambar 1. THE MT/70-7x16C-

Tabel 1. Spesifikasi Teknis *Tubular Heat Exchanger* MT/70-7x16C-6

Spesifikasi	Nilai
Diameter <i>tube</i> (mm)	16
Diameter <i>shell</i> (mm)	70
Panjang <i>tube</i> (m)	6
Ketebalan dinding (mm)	1
<i>Small tube</i>	7
	0,75
Kedalaman korugasi (mm)	
Konduktivitas termal (W/m K)	43
Diameter <i>holding tube</i> (cm)	8,22
Panjang <i>holding tube</i> (m)	4,26

Untuk dapat menghitung laju pindah panas dengan tepat maka dibutuhkan data mengenai sifat-sifat material susu serta kondisi proses sterilisasi di PT. ZYX. Selain itu, sifat material seperti koefisien konveksi air dan udara di sekeliling alat juga penting untuk diketahui. Data-data tersebut disajikan pada Tabel 2, 3 dan 4.

Tabel 2. Sifat-sifat material susu (P. J. Fellows, 2009)

Spesifikasi	Nilai
Densitas (g/mL)	1,19
Indeks karakter aliran (n)	0,484
Konduktivitas termal (W/m K)	0,580
Kategori aliran	laminar
Viskositas (Pa.s) (40 °C)	0,0015
Viskositas (Pa.s) pada dinding (asumsi)	0,0006
Panas spesifik (J/Kg K)	3930
N_{Re}	271,4

Tabel 3. Spesifikasi Proses Sterilisasi pada PT. ZYX

Spesifikasi	Nilai
Laju aliran produk (L/H)	6000
Laju aliran air panas (L/H)	13000
Waktu tahan (s)	4
Suhu produk yang disterilisasi (°C)	40
Suhu sterilisasi (°C)	139-144
Suhu air panas (°C)	139-144
Suhu pendinginan / suhu produk setelah disterilisasi (°C)	25

Tabel 4. Sifat-sifat material air mendidih dan udara di sekeliling pipa

Spesifikasi	Nilai
Koefisien konveksi panas air mendidih [h] (W/m ² K)	6000
Koefisien konveksi panas udara [h] (W/ m ² K)	100

Nilai koefisien konveksi dari material susu sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal susu, tipe pindahan, viskositas, dimensi dari pipa dan panjang pipa THE. Gambaran perpindahan panas pada THE dapat dilihat pada Gambar 2. Perhitungan nilai koefisien konveksi disajikan di bawah ini:

Penentuan nilai N_{pr} susu

$$N_{pr} = \frac{\mu \cdot C_p}{k} \quad (1)$$

$$N_{pr} = \frac{0,0015 \cdot 3930}{0,580}$$

$$N_{pr} = 10,16$$

$$N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot D/L = \frac{271,4 \cdot 10,16 \cdot 1,6 \cdot 10^{-2}}{6}$$

$$N_{Re} \cdot N_{Pr} \cdot D/L = 7,3 (<100)$$

Penentuan nilai N_{nu} susu

$$N_{nu} = 3,66 + \frac{0,085 \cdot (NRe \cdot Npr \cdot \frac{D}{L})}{1 + 0,045 \cdot (NRe \cdot Npr \cdot \frac{D}{L})^{0,66}} \quad (2)$$

$$N_{nu} = 3,66 + \frac{0,085 \cdot (271,4 \cdot 10,16 \cdot \frac{0,016}{6})}{1 + 0,045 \cdot (271,4 \cdot 10,16 \cdot \frac{0,016}{6})^{0,66}}$$

$$N_{nu} = 4,26$$

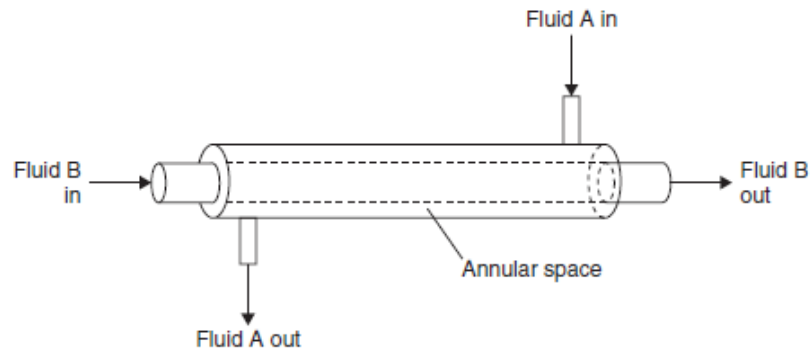
Penentuan nilai h susu

$$N_{nu} = \frac{h \cdot D}{k} \quad (3)$$

$$h = \frac{N_{nu} \cdot k}{D}$$

$$h = \frac{4,26 \cdot 0,58}{0,016}$$

$$h = 154,43 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



Gambar 2. Proses perpindahan panas pada THE (Singh & Heldman, 2014)

Setelah diperoleh nilai koefisien konveksi dari susu maka dapat dilakukan perhitungan laju pindah panas. Secara detail, perhitungan laju pindah panas pada proses sterilisasi susu UHT dengan media air panas ialah sebagai berikut.

Perhitungan laju pindah panas sterilisasi susu UHT dengan media air panas pada THE

$$U \cdot A = \frac{1}{(7 \frac{1}{h_{susu} \cdot A_{ti}}) + (7 \frac{\Delta r_1}{k_{tube} \cdot Alm_1}) + \frac{1}{h_{air} \cdot Alm_2} + \frac{\Delta r_2}{k_{shell} \cdot Alm_3} + \frac{1}{h_{udara} \cdot A_{so}}} \quad (4)$$

Dimana:

- U = Koefisien pindah panas *overall*
- h_{susu} = Koefisien konveksi panas susu
- A_{ti} = Luas area *tube* bagian dalam yang kontak dengan panas
- Δr_1 = Selisih jari-jari *tube* kecil bagian luar dan dalam
- k_{tube} = Koefisien konduksi *tube* kecil
- Alm_1 = Selisih luas area *tube* bagian luar dan dalam
- h_{air} = Koefisien konveksi air panas
- Alm_2 = Selisih luas area *shell* bagian dalam dan *tube* bagian luar
- Δr_2 = Selisih jari-jari *tube* besar (*shell*) bagian luar dan dalam
- k_{shell} = Koefisien konduksi *tube* besar (*shell*)
- Alm_3 = Selisih luas area *shell* bagian luar dan dalam
- h_{udara} = Koefisien konveksi udara panas
- A_{ti} = Luas area *tube* bagian dalam yang kontak dengan panas
- A_{to} = Luas area *tube* bagian luar yang kontak dengan panas
- A_{si} = Luas area *shell* bagian dalam yang kontak dengan panas
- A_{so} = Luas area *shell* bagian luar yang kontak dengan panas

$$Alm_1 = \frac{A_{to} - A_{ti}}{\ln \frac{A_{to}}{A_{ti}}} \quad (5)$$

$$A_{ti} = 2 \cdot \Pi \cdot r_{ti} \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,008 \cdot 6 = 0,30144 \text{ m}^2$$

$$A_{to} = 2 \cdot \Pi \cdot r_{to} \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,009 \cdot 6 = 0,33912 \text{ m}^2$$

$$A_{si} = 2 \cdot \Pi \cdot r_{si} \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,035 \cdot 6 = 1,3188 \text{ m}^2$$

$$(6) \quad A_{so} = 2 \cdot \Pi \cdot r_{so} \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,036 \cdot 6 = 1,35648 \text{ m}^2$$

$$Alm_2 = \frac{7 A_{to} - A_{si}}{\ln \frac{7 A_{to}}{A_{si}}}$$

$$Alm_3 = \frac{A_{so} - A_{si}}{\ln \frac{A_{so}}{A_{si}}} \quad (7)$$

$$Alm_1 = \frac{0,33912 - 0,30144}{\ln \frac{0,33912}{0,30144}} = \frac{0,03768}{0,11778} = 0,3199 \text{ m}^2$$

$$Alm_2 = \frac{7 \cdot 0,33912 - 1,3188}{\ln \frac{7 \cdot 0,33912}{1,3188}} = \frac{1,05504}{0,58779} = 1,7949 \text{ m}^2$$

$$Alm_3 = \frac{1,35648 - 1,3188}{\ln \frac{1,35648}{1,3188}} = \frac{0,03768}{0,02817} = 1,3376 \text{ m}^2$$

$$U \cdot A = \frac{1}{\left(7 \frac{1}{154,43 \cdot 0,30144}\right) + \left(7 \frac{(0,009-0,008)}{43 \cdot 0,3199}\right) + \frac{1}{6000 \cdot 1,7949} + \frac{(0,036-0,035)}{43 \cdot 1,3376} + \frac{1}{100 \cdot 1,35648}}$$

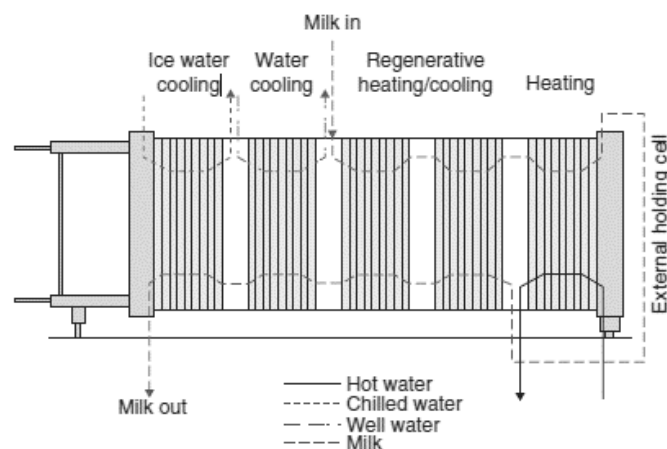
$$U \cdot A = \frac{1}{0,1504 + 0,000509 + 0,000093 + 0,0000174 + 0,00737}$$

$$U \cdot A = 6,314 \text{ W/K}$$

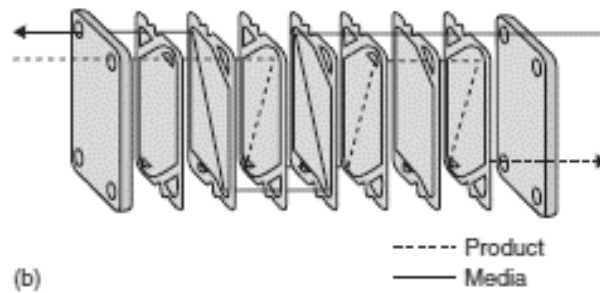
$$q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (8)$$

$$q = 6,314 \cdot (141 - (40 + 27))$$

$$q = 467,20 \text{ Watt}$$



Gambar 3. Penggunaan PHE pada sterilisasi susu (Singh & Heldman, 2014)



Gambar 4. Skema aliran fluida pada PHE (Singh & Heldman, 2014)

Selain menggunakan THE, proses pindah panas pada UHT juga dapat dilakukan menggunakan PHE (Gambar 3 dan 4). Sebagai pembandingan, dilakukan simulasi penggunaan PHE pada proses UHT ini. Simulasi penggunaan PHE sebagai alat penukar panas dilakukan dengan spesifikasi PHE pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi PHE M6-M *Sanitary Versions*

Spesifikasi	Nilai
Ketebalan (mm)	0,6
L_p (mm)	640
L_w (mm)	140
Plates	Stainless steel AISI 316
K (W/ m ² K)	16

Data spesifikasi tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan simulasi perhitungan laju pindah panas pada proses sterilisasi susu UHT dengan media air panas.

Perhitungan laju pindah panas sterilisasi susu UHT dengan media air panas pada PHE

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{air}}} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_{\text{susu}}} + \frac{1}{h_{\text{udara}}}} \quad (9)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{6000} + \frac{0,0006}{16} + \frac{1}{154,43} + \frac{1}{100}}$$

$$U = \frac{1}{0,0167}$$

$$U = 59,88 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$A = L_w \cdot L_p$$

$$A = 0,32 \cdot 0,64$$

$$A = 0,2048 \text{ m}^2$$

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (8)$$

$$q = 59,88 \cdot 0,2048 (141 - (40 + 27))$$

$$q = 907,50 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa laju pindah panas pada proses sterilisasi susu UHT dengan PHE (907,50 watt) lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan THE (467,20 watt). Hal ini menunjukkan bahwa apabila proses sterilisasi dilakukan dengan menggunakan PHE maka akan lebih efisien daripada menggunakan THE. Namun, industri tidak hanya akan berfikir dari satu sisi saja melainkan dari banyak sisi. Untuk itu beberapa pertimbangan kelebihan serta kekurangan dari penggunaan THE dan PHE disajikan pada Tabel 6.

Perbandingan Media Uap dengan Air Panas

Air dan uap merupakan media yang biasa digunakan pada sistem pemanasan secara tidak langsung (*indirect heating*) dan masing-masing media mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

1. Air Panas

Air, merupakan media yang sangat populer dan banyak digunakan untuk aplikasi dengan rentang suhu hingga 100°C karena sifat-sifatnya yang lebih baik daripada media lain pada rentang

suhu ini, yakni:

- Titik didih pada tekanan udara terbuka : 100°C
- Titik beku : 0°C
- Panas jenis yang tinggi: 4200 kJ/(m³K)
- Konduktivitas panas yang tinggi: 0,6 W/(mK)
- Viskositas rendah : 1 x 10⁻⁶m²/s at 20°C

Secara ekonomis, air merupakan media yang murah, mudah didapat, dan tidak berbahaya (non-toksik), akan tetapi pada penggunaan di atas 100°C sistem perlu dibuat bertekanan. Misalnya untuk kebutuhan suhu 200°C saja, sistem harus bertekanan paling tidak 16 bar.

Aliran air dapat mengakomodasi area perpindahan panas besar di ruang kecil, dengan perpindahan koefisien panas yang tinggi. Aliran dapat melalui pipa lurus, spiral atau melalui pipa melengkung. Aliran air panas melalui pipa meengkung telah menarik banyak perhatian karena pipa melingkar spiral yang banyak digunakan dalam praktek sebagai penukar panas (Sreejith et al., 2015). Cairan mengalir melalui tabung melengkung menginduksi aliran sekunder di tabung. Aliran sekunder di dalam tabung memiliki kemampuan yang signifikan untuk meningkatkan panas karena pencampuran cairan.

Tabel 6. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan PHE dan THE

Pembanding	PHE	THE
Kelebihan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mudah dibersihkan 2. Pemindahan panas lebih efisien di atas 85 % 3. Mudah diperbesar kapasitasnya 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investasi lebih murah 2. Dapat difabrikasi di dalam negeri 3. Secara mikrobiologis lebih aman, karena tidak memakai gasket 4. Biaya Perawatan murah
Kekurangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investasinya mahal 2. Tidak/belum dapat dibuat di dalam negeri 3. Jangka waktu pemesanan lama 4. Biaya perawatan tinggi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Koefisien pemindahan panas dibawah 85 % 2. Penambahan kapasitas lebih sulit

2. Uap

Uap, karena tingginya entalpi penguapan air yang mencapai 2257 kJ/kg pada 100°C dan mahalnnya peralatan pada sistem bertekanan, maka untuk aplikasi yang memerlukan pemanasan di atas 150°C biasa digunakan tenaga uap (Singh & Heldman, 2014). Penggunaan uap ini umumnya terlepas dari ada atau tidaknya air kondensat yang bisa dimanfaatkan lagi.

Pada sistem yang menggunakan tenaga uap (*steam*), masalah utamanya adalah korosi, *deposits* dan *scalling*. Sistem uap sangat rentan terhadap korosi karena udara dan garam yang terkandung di dalam uap air merupakan komponen utama penyebab korosi. Uap juga sangat abrasif terhadap logam karena tidak adanya daya lumas. Namun, hal dapat di atasi dengan menggunakan peralatan pemroses air (*water treatment*) yang sesuai. Selain itu, kekurangan lain adalah untuk dapat mengoperasikan sistem uap bertekanan, diperlukan sertifikasi baik dari segi operator yang menjalankannya maupun instalasinya sendiri. Di banyak negara, hal ini merupakan undang-undang yang harus dipatuhi sehingga berdampak terhadap biaya operasional.

Perhitungan laju pindah panas sterilisasi susu UHT dengan media *steam* pada THE

$$U \cdot A = \frac{1}{\left(7 \frac{1}{h_{\text{susu}} \cdot A_{\text{tt}}}\right) + \left(7 \frac{\Delta r_1}{k_{\text{tube}} \cdot A_{\text{lm1}}}\right) + \frac{1}{h_{\text{steam}} \cdot A_{\text{lm2}}} + \frac{\Delta r_2}{k_{\text{shell}} \cdot A_{\text{lm3}}} + \frac{1}{h_{\text{udara}} \cdot A_{\text{so}}}} \quad (10)$$

$$U \cdot A = \frac{1}{\left(7 \frac{1}{154,43 \cdot 0,30144}\right) + \left(7 \frac{(0,009-0,008)}{43 \cdot 0,3199}\right) + \frac{1}{15000 \cdot 1,7949} + \frac{(0,036-0,035)}{43 \cdot 1,3376} + \frac{1}{100 \cdot 1,35648}}$$

$$U.A = \frac{1}{0,1504+0,000509+0,000037+0,0000174+0,00737}$$
$$U.A = \frac{1}{0,1583334}$$
$$U.A = 6,316 \text{ W/ K}$$

$$q = U. A. \Delta T$$
$$q = 6,316 \cdot (141-(40+27))$$
$$q = 467,384 \text{ Watt}$$

Pada suhu yang sama, laju pindah panas media *steam* dengan air panas pada THE tidak berbeda jauh. Sesuai dengan perhitungan di bawah ini, laju pindah panas media *steam* ialah 467,384 watt sedangkan laju pindah panas air panas ialah 467,20 watt. Hasil yang tidak berbeda jauh ini membuat pemilihan antara *steam* atau air panas perlu mempertimbangkan faktor yang lain seperti kerentanan terhadap korosi, emisi buang, *safety* dan biaya operasional. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka media air panas cenderung lebih disukai oleh industri.

KESIMPULAN

Laju pindah panas pada proses sterilisasi minuman susu UHT dengan menggunakan media air panas dan alat THE ialah 467,200 watt. Sedangkan simulasi dengan menggunakan PHE diperoleh 907,50 watt. Apabila proses sterilisasi dilakukan dengan menggunakan PHE maka akan lebih efisien daripada menggunakan THE karena laju transfer panasnya lebih tinggi.

Tidak terdapat perbedaan laju pindah panas antara media *steam* dan air panas. Sehingga, pertimbangan pemilihan media air panas lebih cenderung pada aspek *safety*, biaya operasional, emisi buang dan kecenderungan untuk tidak korosif.

DAFTAR PUSTAKA

- Barraquio, V. L. (2014). *Which Milk is Fresh?* International Journal of Dairy Science & Processing (IJDSP).
- Boxler, C., Augustin, W., & Scholl, S. (2014). Composition of milk fouling deposits in a plate heat exchanger under pulsed flow conditions. *Journal of Food Engineering*, 121, 1–8.
- Fábio, A. S. M., Carvalho, E. P., & Mauro A.S.S., R. (2015). Chapter 7 : Heat Transfer Studies and Applications. In *Modeling and Design of Plate Heat Exchanger*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/60885>
- Fellows, P. J. (2009). 10 - Heat processing. In P. J. B. T.-F. P. T. (Third E. Fellows (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 339–366). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845696344.3.339>
- Hariyadi, P. (2010). *Sterilisasi UHT dan Pengemasan Aseptik*. Food & Agricultural Science & Technology (SEAFASST) Center.
- Hedrick, T. I., Harmon, L. G., Chandan, R. C., & Seiberling, D. (1981). Dairy Products Industry in 2006. *Journal of Dairy Science*, 64(6), 959–970.
- Huang, K., & Goddard, M. (2015). Influence of fluid milk product composition on fouling and cleaning of Ni-PTFE modified stainless steel heat exchanger surfaces. *Journal of Food Engineering*, 158(1), 22–29.
- Kurniawan, I., & Riana, D. M. P. (2013). Alat Pemantau Kestabilan Pasteurisasi Susu. *Jurnal Teknik Elektro*, 5(2).
- Oliver, S. ., B.M., J., & R.A., A. (2005). Foodborne Pathogens in Milk and the Dairy Farm Environment: Food Safety and Public Health Implications. *Foodborne Pathogens and*

Disease, 2(2), 115–129.

Scheldeman, P., Pil, A., Herman, L., De Vos, P., & Heyndrickx, M. (2005). Incidence and diversity of potentially highly heat-resistant spores isolated at dairy farms. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(3), 1480–1494. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.3.1480-1494.2005>

Singh, R. ., & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to food engineering*.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=486342>

Sreejith, K., T.R., S. R., Javin A., V., Manoj, F., Mossas, V. J., Nidhin, M. J., Nithil, E. S., & Sushmitha, S. (2015). Experimental Investigation Of A Helical Coil Heat Exchanger. *International Journal of Engineering And Science*, 5(8), 01–05.