

PERANCANGAN *PLATE HEAT EXCHANGER* SEBAGAI *HIGH TEMPERATURE SHORT TIME PASTEURIZER* SUSU

Amalia Mar'atus Sholikhah dan Dwina Moentamaria

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
amaliamaratus330@gmail.com; [dwina_mnt@yahoo.com]

ABSTRAK

Pasteurisasi merupakan salah satu proses penting pada industri olahan susu untuk membunuh mikroorganisme patogen. Proses pasteurisasi di industri dengan skala relatif besar biasanya menggunakan *heat exchanger* (HE), dilakukan secara kontinyu dengan metode *Low Temperature Long Time* (LTLT) pada 72°C selama 30 menit dan *High Temperature Short Time* (HTST) pada 72°C selama 15 detik. Efisiensi utilitas, perawatan mudah, higienis, serta koefisien perpindahan panas lebih tinggi dibanding jenis HE yang lain, menjadikan *plate heat exchanger* (PHE) dengan sistem HTST sebagai alternatif metode pasteurisasi susu yang baik. Tujuan penelitian ini adalah merancang PHE dengan metode HTST untuk pasteurisasi dengan laju alir masuk 1.000 kg susu /jam. Metode perancangan PHE dilakukan dengan menentukan laju aliran susu masuk, suhu masuk dan keluar serta kondisi properti aliran susu dingin dan panas. *Flow arrangement*, *number of passes* dan karakteristik pelat ditentukan terlebih dahulu untuk membantu perhitungan. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh spesifikasi rancangan yang cocok digunakan untuk pasteurisasi susu skala industri yaitu dimensi panjang x lebar pelat sebesar 0,68 m x 0,4 m, tebal pelat 0,005 m, serta jumlah pelat pada masing-masing bagian *cooling*, *regenerating*, dan *heating*, yaitu 33, 118, 231, membutuhkan 52,04 kg/jam air panas bersuhu 85°C, dan tidak membutuhkan air pendingin dari unit utilitas.

Kata kunci: *high temperature short time*, *pasteurisasi*, *plate heat exchanger*, *utilitas*

ABSTRACT

Pasteurization is one of the important processes in the dairy industry to kill pathogenic microorganisms. The pasteurization process in industry on a relatively large scale usually uses a heat exchanger (HE), carried out continuously using the Low Temperature Long Time (LTLT) method at 72 °C for 30 minutes and High Temperature Short Time (HTST) at 72 °C for 15 seconds. Utility efficiency, easy maintenance, hygiene, and a higher heat transfer coefficient than other types of HE, make plate heat exchangers (PHE) with the HTST system a good alternative method of pasteurizing milk. The purpose of this study was to design PHE with the HTST method for pasteurization with an inflow rate of 1,000 kg of milk / hour. The PHE design method is carried out by determining the inflow rate of milk, the inlet and outlet temperatures, and the condition of the cold and hot milk flow properties. Flow arrangements, number of passes and plate characteristics are predefined to aid calculations. Based on the calculation results, obtained design specifications that are suitable for industrial scale pasteurization of milk, namely the dimensions of the length x width of the plate of 0.68 m x 0.4 m, the thickness of the plate is 0.005 m, and the number of plates in each cooling, regenerating, and heating section. , i.e. 33, 118, 231, require 52.04 kg/hr of hot water at 85°C, and do not require cooling water from the utility unit.

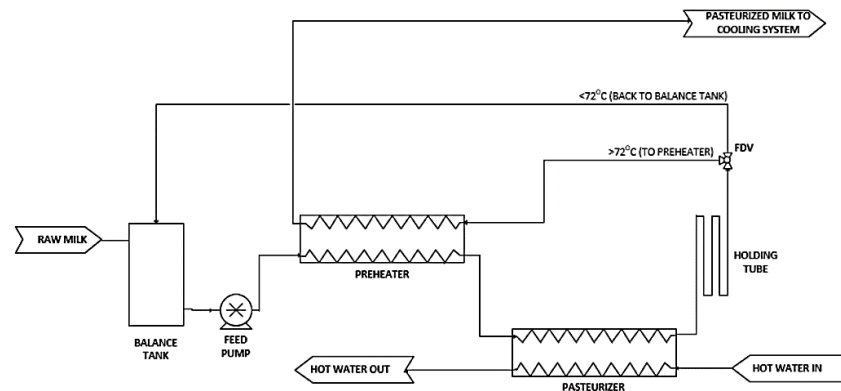
Keywords: *high temperature short time*, *pasteurization*, *plate heat exchanger*, *utility*

1. PENDAHULUAN

Pemanasan pada produk makanan termasuk produk susu biasanya dilakukan untuk mematikan bakteri patogen dan meningkatkan umur simpan. Pasteurisasi merupakan proses

yang penting dilakukan dalam industri pengolahan susu untuk membunuh bakteri berbahaya dan mikroorganisme lain penyebab penyakit. Umumnya, industri pengolahan susu menerapkan pemanasan tidak langsung yang melibatkan pemisahan untuk memisahkan produk dari media pemanas atau pendingin. Panas ditransfer ke produk melalui medium pemisah. Metode ini digunakan untuk menghindari kontaminasi produk oleh polutan dalam media pemanas atau efek pengenceran [1].

Pada dasarnya terdapat dua jenis pasteurisasi susu yaitu *High Temperature Short Time* (HTST) dan *Low Temperature Long Time* (LTLT). HTST dikenal sebagai pasteurisasi kilat di mana susu dipanaskan hingga suhu 72°C selama minimal 15 detik sebelum pendinginan dan penyimpanan. Sedangkan pada proses LTLT, susu dipanaskan pada suhu 72°C selama 30 menit. HTST cocok untuk proses pasteurisasi berkelanjutan dimana susu dapat disimpan selama sekitar 16 sampai 21 hari, sedangkan LTLT cocok untuk proses batch [2]. Oleh karena itu, pada industri pengolahan susu lebih baik menggunakan metode HTST pada pasteurisasinya karena memiliki durasi pasteurisasi yang singkat.



Gambar 1. Skema proses pasteurisasi HTST [3].

Pasteurizer HTST biasanya menerapkan pemanasan regeneratif (pemanasan awal/*preheating treatment*) untuk mencapai operasi yang lebih ekonomis. Gambar 1 menunjukkan diagram alir proses pasteurisasi. Aliran umpan diatur oleh *metering pump* (digunakan untuk mengalirkan cairan dengan volume tertentu secara presisi), biasanya berupa piston atau *rotary pump*. *Balance tank* (tangki keseimbangan) berfungsi mempertahankan level susu di dalam alat penukar panas (*heat exchanger/ HE*) tetap konstan karena *pasteurizer* harus diisi setiap saat selama operasi untuk mencegah produk terbakar di dalam HE [2]. *Holding tube* berguna untuk menahan aliran susu tetap pada suhu tertentu selama durasi yang ditentukan. *Holding tube* bisa berupa tabung atau pipa. Pengaturan suhu dilakukan menggunakan *flow diversion valve* (FDV) yang dilengkapi dengan sensor suhu. FDV adalah katup yang diaktifkan dari jarak jauh dan terletak di ujung *holding tube*. Aliran akan diteruskan ke proses selanjutnya jika suhu aliran susu yang keluar dari penukar panas berada di atas suhu yang diinginkan. Jika sensor suhu mendeteksi suhu aliran susu di bawah kisaran suhu yang diinginkan, FDV akan mengalihkan aliran kembali ke tangki keseimbangan [3].

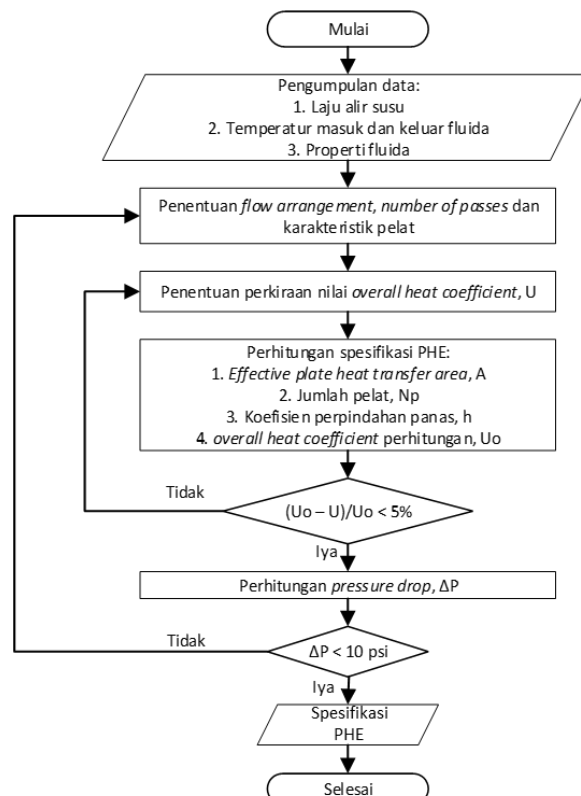
Proses pasteurisasi pada industri skala besar memerlukan keefisienan waktu, desain, dan perawatan agar mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil produksi. Biaya

produksi yang lebih rendah juga diutamakan agar industri dapat menghasilkan keuntungan lebih banyak. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan HE yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut. Umumnya, alat penukar panas yang digunakan untuk proses pasteurisasi susu di industri adalah plate *heat exchanger* (PHE). Faktor utama pemilihannya dibanding HE jenis lain karena PHE dapat dengan mudah dibuka dan dibersihkan secara menyeluruh, pelatnya terbuat dari baja tahan karat bermutu tinggi sehingga sangat higienis dan memiliki koefisien perpindahan panas yang tinggi karena adanya pola bergelombang (*corrugation*) pada permukaan pelat sehingga memungkinkan pertukaran panas pada perbedaan suhu fluida yang sangat dekat (serendah 1°C). Tiga bagian sistem penukar panas (*regenerating section*/pemanasan awal, *heating section*/pemanasan pada suhu pasteurisasi, dan *cooling section*/pendinginan) dapat dirakit dalam satu PHE, sehingga memiliki bentuk yang sangat kompak dan dapat meminimalkan kebutuhan ruang pemasangan serta biayanya produksinya menjadi rendah [4]. Kebutuhan utilitas untuk proses dapat berkurang karena tidak memerlukan air pendingin, sedangkan air pemanas hanya digunakan pada *heating section* saja. Oleh karena itu, dilakukan perancang PHE sebagai alat pasteurisasi susu yang lebih efektif dibanding alat penukar panas lainnya mulai dari segi biaya produksi, perawatan, kehygienisan, koefisien perpindahan panas, dan kebutuhan utilitas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Metode Penelitian

Perancangan PHE pada penelitian ini dilakukan untuk laju alir susu 1.000 kg/jam. Langkah-langkah perancangan PHE untuk pasteurisasi HTST susu dilakukan seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema kerja perancangan PHE.

2.2. Data Perancangan

Proses pasteurisasi dilakukan pada tiga bagian PHE dengan skema proses seperti pada Gambar 4. Susu masuk ke *cooling section* pada suhu 4°C dan diturunkan suhunya menggunakan susu panas keluaran *regenerating section*. Selanjutnya, susu dialirkan menuju *regenerating section* untuk dinaikkan suhunya dengan memanfaatkan panas dari susu keluaran *heating section*. Susu tersebut kemudian dialirkan menuju *heating section* untuk dipanaskan hingga mencapai suhu pasteurisasi (72°C) menggunakan medium air pemanas.

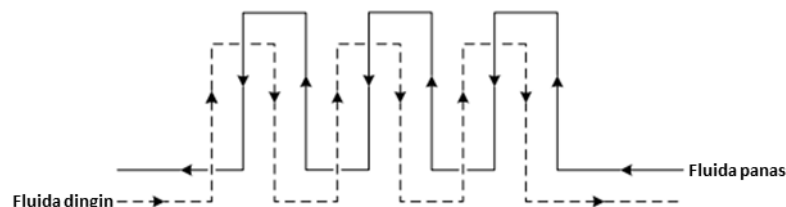
2.3. Kondisi Operasi

Kondisi operasi PHE ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kondisi operasi

Kondisi operasi	
Suhu masuk (°C)	4
Suhu pasteurisasi (°C)	72
Suhu keluar (°C)	27
Suhu air panas masuk (°C)	85
Laju alir massa (kg/jam)	1000
<i>Flow arrangement</i>	<i>Counter current</i>
<i>Number of passes, Nps</i>	1:1

Skema pengaturan aliran serta susunan pelat pada PHE ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flow arrangement* PHE dengan arus berlawanan 1-1.

2.4. Properti Fluida

Properti fluida yang digunakan antara lain densitas, ρ (kg/m³); viskositas, μ (kg/m.s); konduktivitas thermal, k (W/m.K); dan kapasitas panas, C_p (J/kg.K). Nilai properti fluida tersebut dipengaruhi oleh suhu. Nilai properti air didapatkan dari buku *Transport processes and separation process principles* [5] dan *Thermal conductivity of a sample of type 316 stainless steel* [6]. Sedangkan, properti fluida susu pada berbagai suhu didapatkan dari rumus berikut [7]:

$$\rho = (1040,7 - 0,2665T - 0,0023T^2) - X_{fat}(1,011 + 0,00976T - 0,0000481T^2) \quad (1)$$

$$\mu = (1040,7 - 0,2665T - 0,0023T^2) - X_{fat}(1,011 + 0,00976T - 0,0000481T^2) \quad (2)$$

$$k = 0,528 + 0,00213T - 7,3 \cdot 10^{-6}T^2(1 - X_{fat}0,843 + 0,0019T) \quad (3)$$

$$C_p = 1,4017 + 0,0011T + 1,18X_{water} + 0,0433X_{fat} \quad (4)$$

X_{fat} dan X_{water} adalah kandungan lemak dan air dalam susu. T adalah suhu fluida.

2.5. Karakteristik Pelat

Karakteristik pelat ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik pelat

Karakteristik pelat	
Material pelat	<i>Stainless steel (316)</i>
Panjang pelat, L_p (m)	0,6
Lebar pelat, W_p (m)	0,4
Diameter port, D_p (m)	0,08
Enlargement factor, Φ	1,15
Average thickness channel, b (m)	0,005
Tebal pelat, t_p (m)	0,0006

2.6. Perhitungan Spesifikasi PHE

Perhitungan awal dilakukan dengan menghitung beban panas (*heat flowrate* fluida) terlebih dahulu.

$$Q_{cold} = Q_{hot} \quad (5)$$

$$m_{cold} \cdot C_{p_{cold}} \cdot (t_2 - t_1) = m_{hot} \cdot C_{p_{hot}} \cdot (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Dimana Q_{cold} adalah *heat flow rate* fluida dingin (W), Q_{hot} adalah *heat flow rate* fluida panas (W), m_{cold} adalah laju massa aliran fluida dingin (kg/jam), m_{hot} adalah laju massa aliran fluida panas (kg/jam), $C_{p_{cold}}$ adalah kapasitas panas massa fluida pendingin (J/kg.K), $C_{p_{hot}}$ adalah kapasitas panas massa fluida panas (J/kg.K), t_1 adalah suhu aliran fluida dingin masuk (K), t_2 adalah suhu aliran fluida dingin keluar (K), T_1 adalah suhu aliran fluida panas masuk (K), T_2 adalah suhu aliran fluida panas keluar (K) [8].

Nilai *overall heat coefficient*, U diketahui diawal untuk membantu perhitungan. Perkiraan nilainya sebagai berikut [9].

$$Trial \text{ overall heat coefficient, } U = 2500 - 5000 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (7)$$

2.7. Effective Plate Heat Transfer Area (A)

ΔT LMTD untuk *flow arrangement countercurrent* [9].

$$\Delta T_1 = T_1 - t_2 \quad (8)$$

$$\Delta T_2 = T_2 - t_1 \quad (9)$$

$$\text{Log mean temperature difference, } \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (10)$$

Faktor koreksi untuk *flow arrangement* 1-1 sama dengan 1 [4].

$$\text{Correction factor, } F = 1 \quad (11)$$

$$\text{True temperature difference, } \Delta T_m = F \cdot \Delta T_{LMTD} \text{ K} \quad (12)$$

$$\text{Effective plate heat transfer area, } A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m} \text{ m}^2 \quad (13)$$

2.8. Jumlah Pelat (Np)

Perhitungan jumlah pelat ditunjukkan pada rumus di bawah [9].

$$\text{Plate effective heat transfer area, } A_p = \Phi \cdot W_p \cdot L_p \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$\text{Number of plates, } N_p = \frac{A}{A_p} \quad (15)$$

2.9. Koefisien Perpindahan Panas (h)

Perhitungan koefisien perpindahan panas, h ditunjukkan pada rumus di bawah [9].

$$\text{Number of channels per pass, } N_c = \frac{N_p - 1}{2} \quad (16)$$

$$\text{Cross sectional area of the flow channel, } A_f = b \cdot W_p \text{ m}^2 \quad (17)$$

$$\text{The mass velocity per channel, } \dot{m} = \frac{m}{N_c} \text{ kg/s} \quad (18)$$

$$\text{Channel mass velocity, } G_c = \frac{\dot{m}}{b \cdot W_p} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (19)$$

$$\text{Equivalent diameter of the channel, } D_e = \frac{2b}{\phi} \text{ m} \quad (20)$$

$$\text{Reynolds number, } R_e = \frac{G_c \cdot D_e}{\mu} \quad (21)$$

$$\text{Prandtl number, } P_r = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (22)$$

$$\text{Nusselt number, } N_u = \frac{h \cdot D_e}{k} \quad (23)$$

$$N_u [4], \text{ for } 45 < R_e < 300 = 1,67 R_e^{0,44} P_r^{0,5} \quad (24)$$

$$300 < R_e < 2000 = 0,405 R_e^{0,7} P_r^{0,5} \quad (25)$$

$$2000 < R_e < 20.000 = 0,84 R_e^{0,6} P_r^{0,5} \quad (26)$$

$$\text{Koefisien perpindahan panas, } h = \frac{N_u \cdot k}{D_e} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (27)$$

2.10. Overall Heat Coefficient Perhitungan, U_o

Perhitungan *overall heat coefficient* perhitungan, U_o ditunjukkan pada rumus di bawah [9].

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_{hot}} + \frac{1}{h_{cold}} + \frac{t_p}{k_p} + R_{f_{hot}} + R_{f_{cold}} \quad (28)$$

k_p adalah *plate thermal conductivity* dalam W/m.K [6]. R_f adalah *fouling factor* dalam $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ [4].

$$\frac{U_o - U_{trial}}{U_o} = < 5\% \quad (29)$$

Selisih *overall heat coefficient* perhitungan dan *trial* dapat digunakan jika $< 5\%$ [8]. Jika tidak memenuhi, perlu dilakukan *trial* ulang nilai U hingga mendapatkan nilai yang sesuai.

2.11. Total Pressure Drop, ΔP

Perhitungan dimensi pelat ditunjukkan pada rumus di bawah [9].

$$\text{Vertical port distance, } L_v \approx L_p + D_p \text{ m} \quad (30)$$

$$\text{Horizontal port distance, } L_p \approx W_p + D_p \text{ m} \quad (31)$$

$$\text{Port mass velocity, } G_p = \frac{4m}{\pi \cdot D_p^2} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \quad (32)$$

$$\text{Fanning fator, } f [4] (150 < R_e < 1800) = 0,3025 + 91,75/R_e \quad (33)$$

$$(1800 < R_e < 30.000) = 1,46 R_e^{-0,177} \quad (34)$$

$$\text{Percepatan gravitasi, } g = 9,8 \text{ m/s}^2 \quad (35)$$

$$\text{Total pressure drop, } \Delta P = \frac{2 \cdot f \cdot L_v \cdot N_{ps} \cdot G_c^2}{\rho \cdot D_e} + \frac{1,4 \cdot G_p^2}{2 \cdot \rho} + \rho g L_v \quad (36)$$

Total *pressure drop* yang didapat harus < 10 psi. Jika tidak memenuhi, perlu dilakukan penentuan *flow arrangement*, *number of passes* atau karakteristik pelatnya (dimensi pelat dan *enlargement factor*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan *Flow Arrangement*, *Number of Pases* dan Karakteristik Pelat

Jenis pengaturan (*flow arrangement*) PHE yang paling sederhana adalah pengaturan *single-pass 1-1 (number of passes)* di mana kedua cairan hanya melewati satu aliran, sehingga tidak ada perubahan arah aliran. Ada dua jenis pengaturan yaitu *countercurrent* dan *concurrent*. Keuntungan dari pengaturan *single-pass* yaitu saluran masuk dan keluar fluida dapat dipasang di *fixed plate*, sehingga memudahkan untuk membuka peralatan saat pemeliharaan dan pembersihan, tanpa mengganggu pekerjaan pipa. Perancangan PHE pada penelitian ini menggunakan *single-pass Z-arrangement*, di mana ada input dan output cairan pada kedua ujung PHE seperti pada gambar 4a. Selain itu, PHE pada penelitian ini menggunakan jenis aliran *countercurrent* (aliran berlawanan arah), di mana aliran mengalir dalam arah yang berlawanan, biasanya lebih disukai karena memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan *concurrent* (aliran searah), di mana aliran mengalir dalam arah yang sama [9].

Penentuan karakteristik pelat meliputi material konstruksi pelat, dimensi pelat dan *enlargement factor*. Bahan *stainless steel* pada PHE umum digunakan untuk jenis fluida air proses, air pendingin, larutan klorida encer (<200 ppm), larutan tembaga sulfat, produk makanan, media farmasi, minuman, dll. Sehingga material bahan PHE yang cocok untuk proses pasteurisasi susu adalah *stainless steel*. Jenis *stainless steel* yang sering digunakan adalah *stainless steel 316* dan *304*, akan tetapi grade *316* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap bahan kimia dan klorida (seperti garam) daripada *stainless steel grade 304*. Sehingga dipilih material *stainless steel grade 316* sebagai bahan konstruksi PHE. *Stainless steel 316 (AISI 316)* merupakan baja tahan karat kelas lebih tinggi dari grade *304* yang mengandung 2,5% molibdenum yang membuatnya relatif lebih tahan terhadap korosi celah yang disebabkan klorida. Ini juga dapat digunakan dengan asam sulfat konsentrasi rendah (10-15%), meskipun ini tergantung pada suhu operasi [4].

Ketebalan pelat, *tp* umumnya berkisar 0,5 – 3 mm (0,0005 – 0,003 m) dan *average thickness channel*, *b* umumnya berkisar 1,5 – 5 mm (0,0015 – 0,005 m). perbandingan panjang dan lebar pelat umumnya 2:3 dengan luas permukaan pelat 0,3 – 1,5 m² [10]. *Enlargement factor* adalah rasio antara luas perpindahan panas efektif pelat, *Ap* dan luas pelat yang direncanakan (hasil kali antara *Wp.Lp*) terletak antara 1,15 dan 1,25 [9]. Beberapa parameter tersebut ditentukan terlebih dahulu untuk dapat melakukan perhitungan serta nilainya harus disesuaikan dengan range yang ada. Apabila *pressure drop* yang dihasilkan tidak memenuhi batas <10 psi, maka dilakukan penentuan ulang dimensi pelat yang ada.

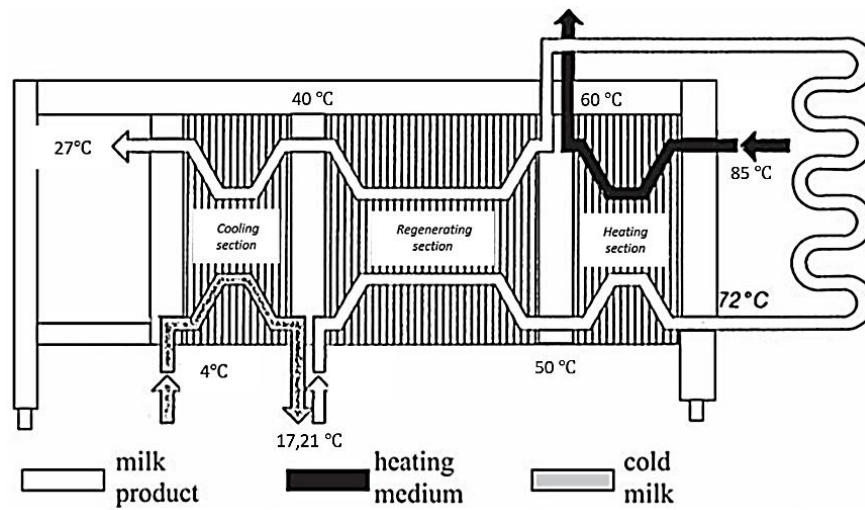
3.2. Rancangan PHE

Suhu operasi hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Suhu operasi hasil perhitungan.

Parameter		<i>T in (°C)</i>	<i>T out (°C)</i>
<i>Cooling section</i>	<i>Cold fluid</i>	4	17,21
	<i>Hot fluid</i>	40	27
<i>Regenerating section</i>	<i>Cold fluid</i>	17,21	50
	<i>Hot fluid</i>	72	40
<i>Heating section</i>	<i>Cold fluid</i>	50	72
	<i>Hot fluid</i>	85	60

Gambar 4 menampilkan skema proses pasteurisasi yang sudah dilengkapi dengan suhu operasi masing-masing aliran.



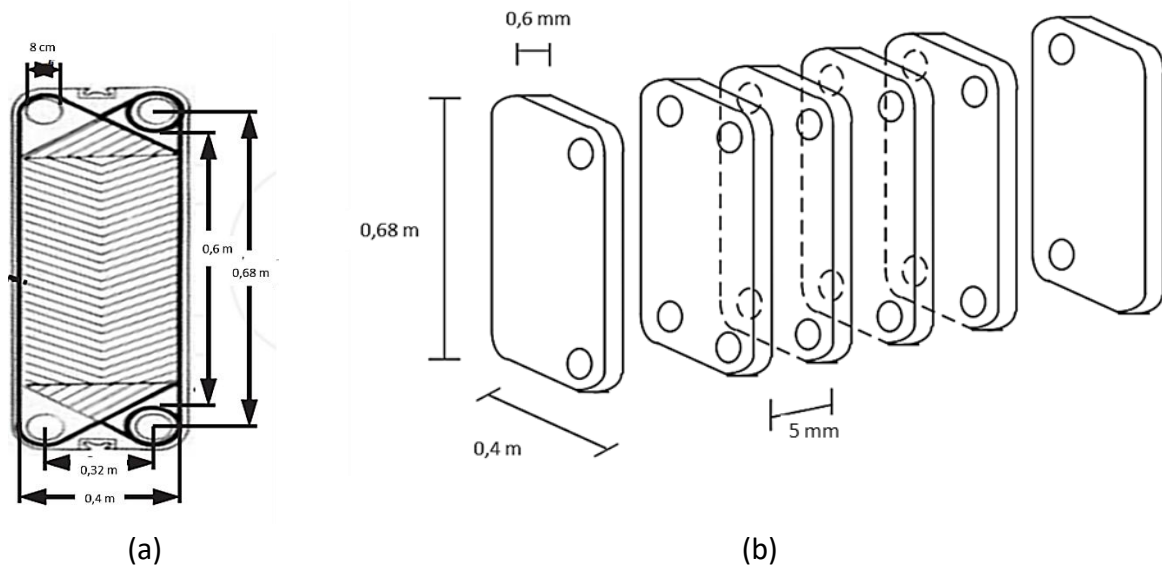
Gambar 4. Skema proses pasteurisasi sesuai suhu operasi.

Susu segar bersuhu 4°C dengan laju aliran 1000 kg/jam masuk menuju *cooling section*. Aliran ini berperan sebagai fluida dingin untuk menurunkan suhu aliran susu keluaran *regenerating section* dari 40°C menjadi 27°C. Selanjutnya, aliran susu yang keluar dari *cooling section* diarahkan menuju *regenerating section* untuk dipanaskan dari suhu 17,21°C menjadi 50°C menggunakan fluida panas berupa aliran susu keluaran *heating section* bersuhu 72°C. Susu keluaran *regenerating section* bersuhu 50°C dipanaskan kembali di *heating section* hingga bersuhu 72°C menggunakan air pemanas dari utilitas. Air pemanas masuk bersuhu 85°C dan keluar dari *heating section* dengan suhu 60°C. Aliran air pemanas yang dibutuhkan sebanyak 52,04 kg/jam. Susu keluaran *heating section* digunakan sebagai media pemanas pada *regenerating section* serta diturunkan suhunya hingga mencapai 27°C pada *cooling section*.

Suhu operasi tiap aliran yang didapatkan digunakan dalam perhitungan perancangan PHE. Sehingga didapatkan dimensi PHE hasil perancangan pada tabel 4 dan gambar 5.

Tabel 4. Dimensi pelat.

Dimensi pelat	Semua bagian PHE
Panjang <i>plate</i> , L_p (m)	0,6
Lebar <i>plate</i> , W_p (m)	0,4
<i>Vertical port distance</i> , L_v (m)	0,68
<i>Horizontal port distance</i> , L_h (m)	0,32
<i>Diameter port</i> , D_p (m)	0,08
Average thickness channel, b (m)	0,005
Tebal <i>plate</i> , t_p (m)	0,0006



Gambar 5. Skema rancangan PHE (a) dimensi pelat, (b) dimensi pada susunan pelat PHE.

Spesifikasi PHE dengan laju alir susu masuk 1000 kg/jam ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi PHE.

Desain termal dan hidraulik	Cooling section	Regenerating section	Heating section
Effective plate heat transfer area, A (m ²)	9,06	32,52	63,56
Overall heat coefficient, U (W/m ² .K)	4306,7	3063,1	2089,7
Number of plates, N _p	33	118	231
Koefisien perpindahan panas, h hot (W/m ² .K)	24482,1	11129,7	3972,9
Koefisien perpindahan panas, h cold (W/m ² .K)	23489,6	10989,2	7506,4
Pressure drop, ΔP cold side (Psi)	8,90	4,46	4,17
Pressure drop, ΔP hot side (Psi)	9,21	4,58	0,94

Analisa *pressure drop* sudah memenuhi $\Delta P < 10$ psi, sehingga rancangan PHE dinyatakan layak.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, rancangan PHE yang dihasilkan layak dan cocok digunakan pada proses pasteurisasi susu skala industri. Rancangan PHE dengan metode pasteurisasi HTST ini hanya membutuhkan waktu singkat dalam prosesnya sehingga mampu meningkatkan produktivitas industri. Selain itu, kebutuhan utilitas dapat dikurangi karena tidak membutuhkan media pendingin dari unit utilitas. Sedangkan, media pemanas dari utilitas hanya digunakan pada *heating section* saja dengan kebutuhan air pemanas sebanyak 52,04 kg/jam untuk tiap 1000 kg/jam aliran susu masuk. Selain itu, PHE memiliki biaya produksi rendah, perawatan mudah, higienis, koefisien perpindahan panas tinggi, dan kebutuhan utilitas lebih sedikit dibanding jenis HE lain.

Referensi:

- [1] A. Mahar, M. S. Shaikh dan I. Bhatti, "Performance analysis of plate type heat," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2119, no. 1, p. 020011, 2019.
- [2] R. C. Chandan, C. H. White, A. Kilara dan Y. H. Hui, *Manufacturing yogurt and fermented milks*, John Wiley & Sons, 2008.
- [3] J. S. Widiatmo dan J. Hendrarsakti, "Process control of milk pasteurization using Geothermal brine under Geothermal brine temperature and flow rate disturbance," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 254, no. 1, p. 012018, 2019.
- [4] B. Sundén dan R. M. Manglik, *Plate heat exchangers: design, applications and performance*, Wit Press, 2007.
- [5] C. J. Geankoplis, A. A. Hersel dan D. H. Lepek, *Transport processes and separation process principles*, MA, USA: Prentice hall Boston, 2018.
- [6] T. W. Watson, H. E. Robinson dan T. W. Watson, *Thermal Conductivity of a Sample of Type 316 Stainless Steel*, National Institute of Standards and Technology: US Department of Commerce, 1963.
- [7] M. T. Munir, Y. Zhang, W. Yu, D. I. Wilson dan B. R. Young, "Virtual milk for modelling and simulation of dairy processes," *Journal of dairy science*, vol. 99, no. 5, pp. 3380--3395, 2016.
- [8] N. Rohmah, P. Pikra, A. J. Purwanto dan R. I. Pramana, "The effect of plate spacing in plate heat exchanger design as a condenser in organic Rankine cycle for low temperature heat source," *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 87-96, 2015.
- [9] F. A. Mota, E. Carvalho dan M. Ravagnani, "Modeling and design of plate heat exchanger," *Heat Transfer Studies and Applications*, pp. 165--199, 2015.
- [10] A. H. Hoerudin, "Perancangan Plate and Frame Heat Exchanger," 20 February 2009. [Online]. Available: <https://agushoe.wordpress.com/2009/02/20/perancangan-plate-and-frame-heat-exchanger/>. [Diakses 17 March 2022].