



**PEMODELAN, SIMULASI, DAN OPTIMASI
FENOMENA FOULING PADA HEAT EXCHANGER
DALAM PROSES PASTEURISASI SUSU**

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang Ilmu Teknik Kimia

Oleh

**Yosef Kurniawan(2013620021)
Steven Wahyu Kresno(2013620107)**

Pembimbing :

**Aditya Putranto, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D.
Ir. Yudi Samyudia, Ph.D.**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG**

2017

No. Kode	: TK KUR P/17
Tanggal	: 22 Februari 2017
No. ind.	: 4221-FTI/skp 33488
Divisi	:
Hadiah / Beli	:
Dari	: FTI



LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : **PEMODELAN, SIMULASI, DAN OPTIMASI FENOMENA FOULING
PADA HEAT EXCHANGER DALAM PROSES PASTEURISASI SUSU**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, 3 Januari 2017

Pembimbing Utama

Pembimbing Kedua

Aditya Putranto, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D

Ir. Yudi Samyudia, Ph.D



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yosef Kurniawan
NPM : 2013620021
Nama : Steven Wahyu Kresno
NPM : 2013620107

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

PEMODELAN, SIMULASI, DAN OPTIMASI FENOMENA FOULING PADA HEAT EXCHANGER DALAM PROSES PASTEURISASI SUSU

adalah hasil pekerjaan kami. Seluruh ide, pendapat, dan materi dari sumber lain, telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 3 Januari 2017

Yosef Kurniawan
(2013620021)

Steven Wahyu Kresno
(2013620107)



LEMBAR REVISI

JUDUL : **PEMODELAN, SIMULASI, DAN OPTIMASI FENOMENA FOULING
PADA HEAT EXCHANGER DALAM PROSES PASTEURISASI SUSU**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Bandung, 19 Januari 2017

Penguji

Herry Santoso, ST, MTM, PhD

Penguji

I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia dan bimbingan-Nya sehingga laporan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Laporan penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat pendidikan sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Dalam menyusun penelitian ini, penulis dibantu oleh berbagai pihak baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Aditya Putranto, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan saran selama penyusunan laporan.
2. Ir. Yudi Samyudia, Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan saran selama penyusunan laporan.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dorongan secara moril dan materil.
4. Teman-teman yang telah memberi dukungan dan semangat.
5. Semua pihak yang secara langsung dan tidak langsung telah membantu dalam penyusunan laporan penelitian sehinggaselesai tepat waktu.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari masih adanya banyak kekurangan dalam penyusunan laporan penelitian ini karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca sehingga dapat menjadi bekal untuk pembuatan laporan penelitian selanjutnya. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bandung, 3 Januari 2017

Penulis



DAFTAR ISI

COVER DALAM.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xvi
INTISARI.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
BAB IPENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.1.1 Susu.....	1
1.1.2 <i>Fouling</i> Pada Industri Susu.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah Penelitian.....	2
1.3 Identifikasi Masalah Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Pembatasan Masalah/ Kerangka Pikir.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA.....	5
2.1 Susu.....	5
2.1.1 Susu Skim.....	5
2.1.2 Protein dalam Susu.....	6
2.1.3 Proses pembuatan susu skim.....	8
2.2 Perlakuan Panas.....	9
2.2.1 Sterilisasi.....	9
2.2.2 Pasteurisasi.....	10

2.2.2.1	Pasteurisasi Batch.....	10
2.2.2.2	HTST (<i>High Temperature Short Time</i>).....	10
2.2.2.3	HHST(<i>High Heat Short Time</i>).....	10
2.3	Perbandingan Kualitas Susu Akibat Perlakuan Panas.....	10
2.2	Alat Penukar Panas (<i>Heat Exchanger</i>).....	11
2.2.1	Alat Penukar Panas Pelat dan Bingkai (<i>Plate and Frame HE</i>).....	12
2.2.2	Alat Penukar Panas Buluh dan Cangkang (<i>Shell and TubeHE</i>).....	14
2.3	<i>Fouling</i> pada <i>Heat Exchanger</i>	15
2.3.1	<i>Fouling</i> Pada <i>Heat Exchanger</i> Secara Umum.....	15
2.3.1.1	<i>Fouling</i> Partikulat.....	15
2.3.1.2	<i>Fouling</i> Kristalisasi.....	15
2.3.1.3	<i>Fouling</i> Reaksi Kimia.....	15
2.3.1.4	<i>Fouling</i> Korosi.....	16
2.3.1.5	<i>Fouling</i> Biologis.....	16
2.3.1.6	<i>Fouling</i> Solidifikasi.....	16
2.3.2	<i>Fouling</i> Pada <i>Heat Exchanger</i> Dalam Industri Susu.....	21
2.4	Pemodelan <i>Fouling</i>	23
2.4.1	Model Laju <i>Fouling</i> yang Telah Dibuat.....	23
2.4.2	Model <i>Fouling</i> Susu pada <i>Heat Exchanger</i>	28
2.5	Simulasi Model dengan Software COMSOL Multiphysics 5.0.....	33
2.6	Metode Optimasi.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1	Pengumpulan Data Fisik dari Literatur.....	38
3.2	Pembuatan Model Dalam COMSOL Multiphysics 5.0.....	38
3.3	Simulasi Model Terhadap Berbagai Variasi Parameter.....	41
3.4	Optimasi Parameter.....	43
BAB IV PEMBAHASAN.....		45
4.1	Pengumpulan Data Fisik dan Literatur.....	45
4.2	Simulasi Model terhadap berbagai variasi parameter.....	46
4.2.1	Analisis Validitas Model.....	47

4.2.2	Pengaruh Tin	49
4.2.2.1	Pengaruh Tin terhadap temperatur akhir keluaran <i>heat exchanger</i>	49
4.2.2.2	Pengaruh Tin terhadap lapisan <i>deposit</i>	51
4.2.3	Pengaruh Vin	53
4.2.3.1	Pengaruh Vin terhadap temperatur akhir keluaran <i>heat exchanger</i>	53
4.2.3.2	Pengaruh Vin terhadap lapisan <i>deposit</i>	55
4.2.4	Pengaruh Twall	57
4.2.4.1	Pengaruh Twall terhadap temperatur akhir keluaran <i>heat exchanger</i>	58
4.2.4.2	Pengaruh Twall terhadap ketebalan lapisan <i>deposit</i>	59
4.2.5	Pengaruh laju reaksi (r)	61
4.2.5.1	Pengaruh laju reaksi terhadap perubahan suhu keluaran susu	62
4.2.5.2	Pengaruh laju reaksi terhadap perubahan ketebalan <i>deposit</i>	63
4.2.6	Pengaruh konduktivitas termal (k)	65
4.2.6.1	Pengaruh konduktivitas termal terhadap temperatur akhir keluaran susu	65
4.2.6.2	Pengaruh konduktivitas termal terhadap ketebalan <i>deposit</i>	66
4.3	Analisa Sensitivitas	68
4.3.1	Pengaruh variasi parameter terhadap ketebalan <i>deposit</i> pada <i>heat exchanger</i>	68
4.3.2	Pengaruh variasi parameter terhadap suhu keluaran susu	70
4.3.3	Hasil Analisa Sensitivitas	73
4.4	Optimasi parameter	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN A GRAFIK		87
LAMPIRAN B TABEL		142



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur protein β -laktoglobulin	7
Gambar 2.2 Variasi Struktur β -laktoglobulin akibat pengaruh pH	8
Gambar 2.3 Proses pengolahan susu sampai tahap komersial.....	9
Gambar 2.4 Komponen <i>plate and frame</i>	12
Gambar 2.5 Skema proses pasteurisasi menggunakan PHE	13
Gambar 2.6 Skema aliran pada 1 <i>tube pass</i> dan 1 <i>shell pass shell and tube</i> HE	14
Gambar 2.7 Skema <i>fouling</i> secara umum	19
Gambar 2.8 Peta pembersihan heat exchanger	20
Gambar 2.9 Mekanisme <i>fouling</i> tipe A	23
Gambar 3.1 Flowchart prosedur penyelesaian	37
Gambar 3.2 Flowchart prosedur simulasi model terhadap variasi parameter	42
Gambar 3.3 Flowchart prosedur optimasi parameter	43
Gambar 4.1 Profil temperatur keluaran terhadap waktu pada $t=24$ jam, $V_{in}=1$ m/s, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$, dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$ pada <i>plate</i> HE (kiri) dan <i>tube</i> HE (kanan).....	47
Gambar 4.2 Profil ketebalan <i>deposit</i> terhadap waktu pada $t=24$ jam, $V_{in}=1$ m/s, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$, dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$ pada <i>plate</i> HE (kiri) dan <i>tube</i> HE (kanan).....	47
Gambar 4.3 Profil konsentrasi A di sepanjang <i>heat exchanger</i> pada $t=24$ jam pada $t=24$ jam, $V_{in}=1$ m/s, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$, dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$ pada <i>plate</i> HE (kiri) dan <i>tube</i> HE (kanan).....	48
Gambar 4.4 profil temperatur di sepanjang <i>heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $V_{in}=1$ m/s, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$, dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$ pada <i>plate</i> HE (kiri) dan <i>tube</i> HE (kanan).....	48

Gambar 4.5 Profil temperatur keluaran susu terhadap temperatur masukan susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $V_{in}=0,65$ m/s dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	49
Gambar 4.6 Profil temperatur keluaran susu terhadap temperatur masukan susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $V_{in}=0,65$ m/s dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	50
Gambar 4.7 Profil ketebalan rata rata deposit terhadap temperatur masukan susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $V_{in}=0,65$ m/s dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	51
Gambar 4.8 Profil ketebalan rata rata deposit terhadap temperatur masukan susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $V_{in}=0,65$ m/s dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	52
Gambar 4.9 Profil temperatur keluaran susu terhadap bilangan Reynolds susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	54
Gambar 4.10 Profil temperatur keluaran susu terhadap bilangan Reynold susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	55
Gambar 4.11 Profil tebal depsit terhadap bilangan Reynolds susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	56
Gambar 4.12 Profil ketebalan deposit terhadap bilangan Reynold susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall} = 90^{\circ}\text{C}$	57
Gambar 4.13 Profil temperatur keluaran susu terhadap temperatur dinding untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $V_{in}=0,65$ m/s	58
Gambar 4.14 Profil temperatur keluaran susu terhadap temperatur dinding untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $V_{in}=0,65$ m/s	59
Gambar 4.15 Profil ketebalan lapisan deposit terhadap temperatur dinding untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $V_{in}=0,65$ m/s	60

Gambar 4.16 Profil ketebalan lapisan deposit terhadap temperatur dinding untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam, $T_{in}=37.5^{\circ}\text{C}$ dan $V_{in}=0,65$ m/s.....	61
Gambar 4.17 Profil suhu keluaran susu pada $t=24$ jam dengan variasi r untuk <i>plate heat exchanger</i>	62
Gambar 4.18 Profil suhu keluaran susu pada $t=24$ jam dengan variasi r untuk <i>shell and tube heat exchanger</i>	62
Gambar 4.19 Profil ketebalan lapisan deposit pada $t=24$ jam dengan variasi r untuk <i>plate heat exchanger</i>	64
Gambar 4.20 Profil ketebalan lapisan deposit pada $t=24$ jam dengan variasi r untuk <i>shell and tube heat exchanger</i>	64
Gambar 4.21 Profil suhu keluaran susu pada $t=24$ jam dengan variasi k untuk <i>plate heat exchanger</i>	65
Gambar 4.22 Profil suhu keluaran susu pada $t=24$ jam dengan variasi k untuk <i>shell and tube heat exchanger</i>	66
Gambar 4.23 Profil ketebalan lapisan deposit pada $t=24$ jam dengan variasi k untuk <i>plate heat exchanger</i>	67
Gambar 4.24 Profil ketebalan lapisan deposit pada $t=24$ jam dengan variasi k untuk <i>shell and tube heat exchanger</i>	67
Gambar 4.25 Profil temperatur keluaran susu <i>plate heat exchanger</i> pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=50^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 78,06^{\circ}\text{C}$	76
Gambar 4.26 Profil ketebalan lapisan deposit rata rata <i>plate heat exchanger</i> pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=50^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 78,06^{\circ}\text{C}$	76
Gambar 4.27 Profil ketebalan lapisan deposit maksimal <i>plate heat exchanger</i> pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=50^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 78,06^{\circ}\text{C}$	77

Gambar 4.28 Profil temperatur keluaran susu *shell and tube heat exchanger* pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 75,51^{\circ}\text{C}$ 77

Gambar 4.29 Profil ketebalan lapisan deposit rata rata *shell and tube heat exchanger* pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 75,51^{\circ}\text{C}$78

Gambar 4.30 Profil ketebalan lapisan deposit maksimal *shell and tube heat exchanger* pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 75,51^{\circ}\text{C}$ 78



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi susu sapi (per 100 g)	5
Tabel 2.2 Komposisi susu skim(per 100 g).....	6
Tabel 2.3 Perbandingan kandungan protein <i>whey</i> susu terhadap perlakuan panas	11
Tabel 4.1 Sumber literatur data fisik	45
Tabel 4.2 Parameter yang divariasikan beserta rentang nilainya	46
Tabel 4.3 Temperatur keluaran susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Tin	50
Tabel 4.4 Temperatur keluaran susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Tin	51
Tabel 4.5 Ketebalan rata-rata deposit untuk <i>plate heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Tin	52
Tabel 4.6 Ketebalan rata-rata deposit untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Tin	53
Tabel 4.7 Temperatur keluaran susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Vin.....	54
Tabel 4.8 Temperatur keluaran susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Vin.....	55
Tabel 4.9 Ketebalan lapisan deposit untuk <i>plate heat exchanger</i> pada t=24 jam dengan variasi Vin.....	56
Tabel 4.10 Ketebalan deposit untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada t=24 jam, Tin=37.5°C dan Twall = 90°C	57

Tabel 4.11 Temperatur keluaran susu untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam dengan variasi T_{wall}	58
Tabel 4.12 Temperatur keluaran susu untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam dengan variasi T_{wall}	59
Tabel 4.13 Ketebalan deposit untuk <i>plate heat exchanger</i> pada $t=24$ jam dengan variasi T_{wall}	60
Tabel 4.14 Ketebalan deposit untuk <i>shell and tube heat exchanger</i> pada $t=24$ jam dengan variasi T_{wall}	61
Tabel 4.15 Suhu keluaran susu pada <i>plate</i> dan <i>shell and tube heat exchanger</i> dengan variasi r	63
Tabel 4.16 Ketebalan lapisan deposit pada <i>plate</i> dan <i>shell and tube heat exchanger</i> dengan variasi r	64
Tabel 4.17 Suhu keluaran susu pada <i>plate</i> dan <i>shell and tube heat exchanger</i> dengan variasi k	66
Tabel 4.18 Ketebalan lapisan <i>deposit</i> pada <i>plate</i> dan <i>shell and tube heat exchanger</i> dengan variasi k	68
Tabel 4.19 Pengaruh variasi parameter terhadap ketebalan <i>deposit</i> ($t=24$ jam) pada <i>plate heat exchanger</i>	68
Tabel 4.20 Pengaruh variasi parameter terhadap ketebalan deposit ($t=24$ jam) pada <i>shell and tube heat exchanger</i>	69
Tabel 4.21 Pengaruh variasi parameter terhadap suhu keluaran susu ($t=24$ jam) pada <i>plate heat exchanger</i>	71
Tabel 4.22 Pengaruh variasi parameter terhadap suhu keluaran susu ($t=24$ jam) pada <i>shell and tube heat exchanger</i>	72
Tabel 4.23 Nilai variasi parameter untuk optimasi.....	74

Tabel 4.24 Suhu keluaran susu dan tebal deposit *plate heat exchanger* pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=50^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 78,06^{\circ}\text{C}$ 74

Tabel 4.25 Suhu keluaran susu dan tebal deposit *shell and tube heat exchanger* pada kondisi operasi optimum, $V_{in}= 0,3$ m/s, $T_{in}=25^{\circ}\text{C}$ dan $T_{wall}= 75,51^{\circ}\text{C}$ 75



DAFTAR ISTILAH

N	= native β -lactoglobulin
A	= activated β -lactoglobulin
T	= agregat
F	= <i>deposit</i>
R	= jari jari <i>tube</i>
Z	= tinggi <i>tube</i>
Y	= tebal <i>plate</i>
X	= panjang <i>plate</i>
m	= Massa
ρ	= densitas
v	= laju alir
μ	= viskositas
C	= Konsentrasi
t	= waktu
T	= temperatur
r	=laju reaksi
r_F	= laju <i>fouling</i>
ω	= <i>sticking probability</i>
k	= <i>transport coefficient</i>

- x = fraksi β -lactoglobulin pada *deposit*
- D = difusivitas
- L = panjang karakteristik
- k =konduktivitas termal
- C_p = kapasitas panas
- ΔH_r = panas reaksi
- \mathcal{P} = Tekanan ditambah pengaruh gravitasi
- Sh = Sherwood number
- Sc = Schmidt number
- Re = Reynold number
- V_{in} = Kecepatan alir masuk susu
- T_{in} = Temperatur masukan susu
- T_w = Temperatur dinding penukar panas



INTISARI

Produk industri susu semisal susu skim, selain sebagai minuman, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri pangan. Perlakuan panas pada industri susu, misalnya proses pasteurisasi dilakukan menggunakan alat penukar panas. Perlakuan panas ternyata menimbulkan masalah yaitu *fouling* yang merupakan peristiwa terakumulasinya bahan yang tidak diinginkan pada permukaan pemindah panas. *Fouling* memiliki mekanisme rumit dan menimbulkan kerugian yang sangat besar, sehingga dibutuhkan model yang representative untuk mengontrolnya. Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan pengertian bagi industri susu mengenai mekanisme *fouling*, sehingga dapat mengambil langkah tepat untuk meminimalisir kerugian.

Tujuan penelitian ini adalah membuat model yang merepresentasikan fenomena *fouling* pada alat penukar panas dalam proses HTST. Pemodelan dilakukan menggunakan neraca massa, panas dan momentum. Tujuan kedua adalah melakukan simulasi pembentukan *deposit* pada permukaan alat penukar panas dengan menggunakan parameter yang didapat dari literatur dan hasilnya ditampilkan dalam profil ketebalan lapisan *deposit* pada waktu dan posisi tertentu. Simulasi ini juga bertujuan untuk mengetahui parameter mana yang paling mempengaruhi terjadinya *fouling*. Tujuan ketiga adalah melakukan optimasi kondisi operasi alat penukar panas sehingga dapat meminimalisir pembentukan *fouling*. Adapun tujuan lain dari penelitian ini adalah mempelajari fenomena perpindahan massa, panas dan momentum yang terjadi dalam peristiwa *fouling*.

Langkah pertama penelitian adalah mencari data literatur yaitu data-data fisik yang diperlukan untuk melakukan simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan *software* COMSOL Multiphysics 5.0 baik untuk *plate heat exchanger*, maupun untuk *shell and tube heat exchanger*. Dari hasil simulasi akan didapat data ketebalan lapisan *deposit* dan temperatur keluaran susu, kemudian dilakukan analisa sensitivitas untuk menentukan parameter yang paling berpengaruh. Optimasi kemudian dilakukan memakai bantuan *software* Design-Expert lalu dilakukan lagi simulasi pada COMSOL Multiphysics 5.0 untuk mendapat ketebalan *deposit* seminimum mungkin dalam kondisi batas yang ada.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan *deposit* paling dipengaruhi oleh parameter suhu dinding, namun untuk mencapai kondisi batas yang ditetapkan, harus dilakukan optimasi dengan mempertimbangkan faktor lain yaitu suhu masukan susu dan laju alir linear susu. Dari hasil optimasi didapat bahwa kondisi optimum untuk *plate heat exchanger* yang digunakan adalah pada suhu masukan 50 °C, laju alir masukan 0,3 m/s dan suhu dinding 78,07 °C sementara untuk *shell and tube heat exchanger* yang digunakan terjadi pada suhu masukan 25 °C, laju alir masukan 0,3 m/s dan suhu dinding 75,5 °C. Jumlah akumulasi *deposit* pada *shell and tube heat exchanger* juga akan selalu lebih besar dibanding pada *plate heat exchanger* pada parameter yang sama.

Kata kunci: *Fouling*, *heat exchanger*, pasteurisasi, HTST, optimasi



ABSTRACT

Products of dairy industry such as skim milk, other than as beverages, can also be utilized as raw material for food industry. Heat treatment on milk industry, for example, pasteurization is carried out by using heat exchanger. The heat treatment process turned out to be the cause of fouling problem which is the accumulation of unwanted material on the surface of heat exchanger. The phenomenon of fouling has a complex mechanism and can cause huge losses, hence a representative model to control it is needed. The benefits of this research is to give insights into dairy industries on the milk fouling mechanism, so that they can take appropriate measures to minimize losses caused by fouling.

The purpose of this research is to create a representative model of fouling on the surface of heat exchanger at the HTST process. The modelling is developed by applying the mass, heat, and momentum balance on the process. The second objective is to simulate the deposit forming process on the surface of the heat exchanger using parameters obtained from literatures, and to display the results as profiles of deposit layer's thickness at given time and position. This simulation also aims at determining which parameters have the most contribution into the fouling process. The third objective is to optimize the operating conditions of the heat exchanger at which the fouling is minimum. Another objective of this research is to study the phenomenon of mass, heat, and momentum transfer during the fouling process.

The first step is to gather physical data literatures that are necessary to perform the simulation. The simulation is then performed by the help of COMSOL Multiphysics 5.0 for both plate heat exchanger as well as shell and tube heat exchanger. From the simulation results, the deposit layer's thickness and outlet temperature data will be obtained, followed by sensitivity analysis to determine which parameter is the most influential. Optimization is then performed by the help of Design-Expert software continued by simulating optimum parameters in COMSOL Multiphysics 5.0 to get the smallest possible deposit accumulation while still being within the boundary limits.

The simulation results show that the deposit layer thickness is mostly influenced by the wall's temperature. Even so, in order to fulfil the given boundary limit, the optimization must be carried out by considering such factors as inlet temperature and flowrate. From the optimization results, it is obtained that the optimum conditions have been achieved at the inlet temperature of 50°C, the inlet flowrate of 0.3 m/s, and the wall temperature of 78.05°C for the used plate heat exchanger. Meanwhile, for the shell and tube heat exchanger, the optimum conditions have been achieved at the inlet temperature of 25°C, the inlet flowrate of 0.3 m/s, and the wall temperature of 75.5°C. The amount of deposit accumulated is always larger for the shell and tube heat exchanger as compared to the plate heat exchanger for the same parameter specifications.

Keywords: Fouling, heat exchanger, pasteurization, HTST, optimization



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

1.1.1 Susu

Susu merupakan sumber nutrisi yang didapat dari hewan ternak. Salah satu jenis susu yang umum digunakan baik untuk dikonsumsi langsung maupun untuk keperluan industri pangan adalah susu skim. Susu skim merupakan susu rendah lemak yang merupakan hasil pemisahan antara susu dan krim (Ranken, M.D., 2012). Susu skim mengandung lemak yang sangat rendah (0,1-0,3%) (Lean, M., 2006) namun tetap memiliki kandungan protein sama seperti susu biasa.

Kandungan lemak yang rendah mengindikasikan jika susu skim lebih baik untuk kesehatan dibanding susu biasa. Akibatnya, permintaan susu skim dalam bentuk bubuk semakin meningkat (Lucas-Clement, R.H., 1981). Selain untuk dikonsumsi manusia, susu skim juga banyak dipakai dalam industri pangan, antara lain sebagai bahan aditif industri pangan (perasa, pembuat tekstur), maupun untuk bahan rekombinasi produk susu. Selain itu, susu skim juga digunakan sebagai pakan ternak (Ranken, M.D., 2012).

Jenis susu yang banyak dikonsumsi adalah susu hasil pasteurisasi HTST (*High Temperature Short Time*) maupun HHST (*High heat Short Time*). Susu hasil pasteurisasi HTST merupakan susu yang pada awalnya diberikan perlakuan panas yaitu pemanasan pada suhu 72-75⁰ C selama 15 detik. Dalam industri, perlakuan pasteurisasi dapat dilakukan secara kontinu menggunakan *heat exchanger* (Lean, M., 2006).

1.1.2 Fouling Pada Industri Susu

Proses pasteurisasi ternyata menghasilkan masalah baru, yaitu fenomena *fouling* yang terjadi pada *heat exchanger*. *Fouling* merupakan peristiwa terakumulasinya bahan-bahan yang tidak diinginkan yang menempel pada permukaan peralatan (Awad, M.M., 2011). Pada industri susu, *fouling* bisa disebabkan karena endapan protein maupun mineral (Visser, 1997). Fenomena ini ternyata mampu menurunkan efisiensi perpindahan panas sehingga mengurangi umur *dari*

heat exchanger (Ardsomang,T., 2013) dan menimbulkan kerugian dari sisi ekonomi(Steinhagen, et.al., 1993).

Untuk mengatasi masalah *fouling*, biasanya dilakukan pembersihan menggunakan zat kimia, misalnya NaOH (Hagsten,et.al.,2013). Pembersihan tentunya harus dilakukan di saat yang tepat, jangan sampai proses pembersihan memakan biaya yang terlalu besar sehingga menghasilkan kerugian. Untuk mengurangi biaya yang perlu dikeluarkan selama pembersihan *heat exchanger*, perlu dilakukan pemilihan konfigurasi *heat exchanger*(jenis, ukuran, laju alir, laju pertukaran panas) sedemikian rupa sehingga mampu meminimalisasifouling. Untuk itu, perlu diketahui bagaimana akumulasi *deposit* pada *heat exchanger* terjadi seiring waktu, berkaitan dengan konfigurasi *heat exchanger* yang digunakan. Karena mekanisme *fouling* yang begitu kompleks, perlu dibuat suatu model yang mampu merepresentasikan fenomena *fouling* dengan asumsi-asumsi yang sesuai dengan operasi nyata pada industri pengolahan susu.

Kami tertarik untuk membuat model fenomena *fouling* pada *heat exchanger* karena menyadari betapa besarnya kerugian yang harus ditanggung suatu pabrik jika salah mengambil langkah akibat *fouling*. Kami berharap model ini dapat digunakan dan dapat membantu proses pengambilan keputusan akan masalah *fouling*. Dengan pengambilan langkah yang tepat, industri diharapkan dapat berkembang dan mampu mensuplai produk susu berkualitas dengan harga terjangkau bagi masyarakat Indonesia.

1.2 Tema Sentral Masalah Penelitian

Tema sentral dalam penelitian ini adalah bagaimana meminimalisasi *fouling* protein pada pasteurisasi susu. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan CFD (*computational fluid dynamics*) untuk proses pemanasan susu dalam *plate and frame heat exchanger* dan *shell and tube heat exchanger* dengan simulasi menggunakan COMSOL Multiphysics 5.0. Model yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan optimasi konfigurasi *heat exchanger* dimana *fouling* dapat diminimalisasi tanpa mengorbankan efisiensi proses secara keseluruhan.

1.3 Identifikasi Masalah Penelitian

1. Bagaimana cara membuat model yang cocok untuk *fouling* susu dalam proses pasteurisasi?
2. Bagaimana profil ketebalan lapisan *deposit* pada *heat exchanger* dalam selang waktu tertentu?
3. Bagaimana pengaruh konfigurasi *heat exchanger* terhadap fenomena *fouling* susu dalam *heat exchanger*?
4. Bagaimana meminimalisasi *fouling* susu pada *heat exchanger*?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Membuat model yang cocok untuk menggambarkan fenomena *fouling* susu dalam proses pasteurisasi
2. Mengetahui profil ketebalan lapisan *deposit* dalam selang waktu tertentu
3. Mempelajari pengaruh konfigurasi *heat exchanger* terhadap fenomena *fouling* susu dalam *heat exchanger*
4. Meminimalisasi *fouling* susu pada *heat exchanger*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat penelitian bagi dunia industri
Model fenomena *fouling* dari hasil penelitian ini dapat dipakai untuk memprediksi pembentukan *fouling* pada *heat exchanger* dan membantu menentukan langkah yang paling tepat untuk menghadapi masalah *fouling*.
2. Manfaat penelitian bagi para ilmuwan/ peneliti
Hasil dari penelitian dapat dipakai sebagai referensi bagi para peneliti untuk validasi data maupun untuk dikembangkan untuk kasus yang berbeda.

1.6 Pembatasan Masalah/ Kerangka Pikir

1. *Fouling* yang diteliti hanya tipe A, yaitu *fouling* protein yang terjadi pada temperatur 75 sampai 110°C.
2. *Control volume* merupakan satu tube untuk *shell and tube heat exchanger* dan satu plate untuk *plate and frame heat exchanger*, penggunaan *multi tube /plate* diasumsikan tidak mempengaruhi *fouling* yang terjadi.
3. Susu yang digunakan adalah susu skim, susu dengan kadar lemak rendah tetapi memiliki kandungan protein dan mineral yang sama dengan susu biasa.
4. Proses pemanasan yang diteliti adalah proses pasteurisasi HTST (*High Temperature Short Time*), pemanasan pada suhu 72-75°C selama 15 sampai 240 detik.