

Penelitian

**PERANCANGAN HEAT EXCHANGER DENGAN TYPE
SHELL-TUBE UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS
WAKTU PEMANASAN DI PT. SINAR MAS AGRO
RESOURCES AND TECHNOLOGY. Tbk.
BELAWAN**

Oleh:

Ir. Kamil Mustafa, MT



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2002**



Penelitian

**PERANCANGAN HEAT EXCHANGER DENGAN TYPE
SHELL-TUBE UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS
WAKTU PEMANASAN DI PT. SINAR MAS AGRO
RESOURCES AND TECHNOLOGY. Tbk.
BELAWAN**

Oleh :

Ir. Kamil Mustafa, MT



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2002**

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Pembatasan Masalah dan Asumsi	2
1.3. Pentingnya Pemecahan Masalah	3
1.4. Metode Penelitian	3
BAB II : GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN	5
2.1. Sejarah dan Gambaran Umum Perusahaan	5
2.2. Struktur Organisasi	6
2.3. Tenaga Kerja	9
2.4. Waktu Kerja	9
2.5. Sistem Pengupahan dan Kesejahteraan Karyawan	9
2.6. Uji Kualitas dan Bahan Baku	10
2.7. Proses Pengolahan	13
BAB III : LANDASAN TEORI.....	17
3.1. Pengertian Heat Transfer (Perpindahan Kalor)	17
3.2. Mekanisme Perpindahan Kalor	17

3.3. Perpindahan Kalor Proses	19
3.4. Alat Penukar Panas	19
3.5. Bagian-Bagian Alat Penukar Shell-Tube	21
3.6. Mass Velocity (Percepatan Aliran Massa)	22
3.7. Bilangan Raynold	23
3.8. Koefisien Perpindahan Kalor	24
3.9. Temperatur Dinding Tube	25
3.10. Shell-Side Pressure Drop (Penurunan Tekanan Pada Shell)	25
3.11. Tube-Side Pressure Drop (Penurunan Tekanan Pada Tube)	26
3.12. Faktor Pengotoran	27
3.13. Beda Suhu Rata-Rata	28
3.14. Penggunaan Uap (Steam) Sebagai Media Pemanas	29
3.15. Pengertian Biaya	29
3.16. Elemen-Elemen Biaya	30
 BAB IV : PENGUMPULAN DATA	 31
4.1. Data Proses Pemanasan Pada Sistem Lama	31
4.2. Mekanisme Pertukaran Kalor Sistem Lama	31

	4.3. Waktu Pemanasan Yang Dibutuhkan Pada Sistem Lama	33
	4.4. Pemakaian Energi	33
	4.5. Biaya	34
BAB	V : ANALISA DAN EVALUASI DATA	36
	5.1. Analisa Data	36
	5.2. Evaluasi Data	43
BAB	VI : KESIMPULAN DAN SARAN	47
	7.1. Kesimpulan	47
	7.2. Saran	48
	DAFTAR PUSTAKA	49

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Permasalahan

Dalam proses pembuatan margarine, banyak parameter yang sangat menentukan kualitas margarine yang diproduksi, salah satunya adalah temperatur fat blend margarine. Temperatur fat blend ini dipengaruhi oleh temperatur bahan baku yang akan diolah sehingga kristas margarine dan shortening yang terbentuk menjadi sempurna dan tekstur produk akhir menjadi lebih stabil dengan waktu simpan yang relatif cukup lama. Temperatur rata-rata fat blend pada setiap jenis produk yang diproduksi oleh PT. SMART Tbk adalah 57° C.

Untuk mencapai temperatur fat blend yang diinginkan pada awal proses bahan baku yang akan diolah terlebih dahulu dipanaskan hingga temperatur 57° C. Sistem pemanasan yang dilakukan selama ini adalah dengan memakai tangki yang berjaket air panas, dan untuk memanaskan bahan baku tersebut membutuhkan waktu yang relatif lama.

Hal ini mengakibatkan produksi yang dihasilkan menjadi sedikit dan membutuhkan tambahan waktu produksi untuk bisa mencapai target kuantitas produksi untuk bisa mencapai target kuantitas produksi yang direncanakan. Selain itu biaya operasi proses juga menjadi lebih mahal karena waktu untuk mengoperasikan peralatan yang cukup lama. Dengan demikian efisiensi biaya dan waktu operasi tidak dapat dilakukan.

Sehubungan dengan hal tersebut penulis tertarik untuk membahas mengenai pengubahan sistem pertukaran panas pada umpan bahan baku untuk meningkatkan efektivitas waktu operasi yang tentunya akan memingkatkan efisiensi biaya dan waktu yang digunakan untuk pengolahan margarine dan shortening pada PT. SMART Tbk Belawan.

I.2. Pembatasan Masalah dan Asumsi

Dalam memecahkan masalah efektivitas waktu pemanasan ini perlu diadakan pembatasan-pembatasan masalah agar tujuan yang diharapkan lebih terarah dan terperinci. Adapun batasan masalah yang disajikan pada karya ilmiah ini adalah:

1. Merencanakan alat yang dipakai untuk sistem pemanasan yang baru.
2. Membandingkan efektivitas waktu pemanasan sistem lama dengan sistem pemanasan baru.
3. Membandingkan biaya operasional peralatan proses pemanasan sistem lama dengan sistem yang baru.

Asumsi:

1. Data yang diperoleh dianggap benar.
2. Temperatur dan laju aliran in-let steam dianggap konstan.
3. Temperatur dan laju aliran in-let RBDPO dianggap konstan.
4. Spesifik heat fluida dianggap konstan pada lintasan sheel dan tube.
5. Pengaruh suhu lingkungan di luar sistem dianggap nol.

I.3. Pentingnya Pemecahan Masalah

Dengan hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perusahaan untuk membantu pimpinan dalam melakukan salah satu komitmen kebijakan mutu PT. SMART Tbk Belawan yaitu menggunakan metode proses yang efektif dan efisien. Dengan demikian perusahaan dapat menekan biaya operasi.

I.4. Metode Penelitian

Dalam mempelajari dan mengembangkan proses pertukaran panas yang dapat meningkatkan efisiensi waktu harus dilakukan metode pendekatan masalah untuk dapat mempermudah permasalahan. Adapun prosedur dasar penelitian yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut:

1. Penguasaan literatur mengenai proses perpindahan kalor, yaitu: dengan mengumpulkan bahan literatur dan mempelajari proses perpindahan kalor serta faktor-faktor yang harus diperhatikan pada proses tersebut.
2. Identifikasi variabel-variabel penelitian, yaitu: variabel-variabel yang berhubungan dengan proses perpindahan kalor yang akan dibahas dan diperhitungkan adalah sebagai berikut:
 - a. Waktu pemanasan yang dibutuhkan untuk memanaskan bahan baku pada sistem lama.
 - b. Temperatur awal rata-rata bahan baku.
 - c. Temperatur akhir rata-rata bahan baku yang dinginkan.
 - d. Temperatur awal media pemanas (low pressure steam)

- e. Laju aliran bahan baku sesuai dengan kapasitas pompa.
 - f. Density bahan baku dan media pemanas.
 - g. Viscosity bahan baku dan media pemanas.
 - h. Spesifik heat bahan baku dan media pemanas.
 - i. Panjang alat penukar panas serta jenis alat penukar panas.
 - j. Biaya energi listrik yang dibutuhkan pada sistem proses lama.
 - k. Biaya pemakaian steam (uap air) pada sistem lama.
 - l. Mekanisme perpindahan kalor sistem lama.
3. Pengumpulan data, yaitu: dilakukan dengan teknik observasi atau mengamati secara langsung dan dengan cara wawancara pada kepala bagian utility, kepala bagian produksi margarine dan shortening, dan kepala bagian laboratorium.
 4. Analisa data, yaitu: pemecahan masalah dengan merencanakan alat yang sesuai untuk proses perpindahan kalor bahan baku sehingga menghasilkan temperatur akhir bahan baku sesuai dengan yang diinginkan serta penghematan waktu dapat dilakukan.

BAB II

GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

II.1. Sejarah dan Gambaran Umum Perusahaan

PT. Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (SMART) Belawan merupakan suatu badan Usaha Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) yang berada di bawah naungan grup SMART MAS yang berpusat di Jakarta. PT. SMART Tbk ini berkedudukan di Belawan Jl. Belmera Baru II yang berada kira-kira 25 km dari kota Medan.

PT. SMART Tbk ini didirikan dengan Akte No. 65 Tanggal 19 Juli 1982 dibuat di depan Didi Sujadi, SH, Notaris di Jakarta. Akte tersebut disetujui oleh Menteri Kehakiman Republik Indonesia Tanggal 31 Mei 1983 No. C2-4182 HT 01.01 TH 83. Dalam tahun 1984, diadakan rapat tentang persetujuan penjualan saham dan perubahan susunan pengurus dengan Akte No. 78 Tanggal 17 Juni 1983 dibuat dihadapan notaris yang sama.

Sesuai dengan Akte No. 65 Pasal 2 Tanggal 19 Juli 1982, maksud dan tujuan perusahaan ini adalah menjalankan usaha dalam bidang industri, perdagangan umum termasuk ekspor-impor, lokal, interseluler, serta menjadil supplier, distributor, grosir, agen, komisioner dari segala macam barang yang dapat diperdagangkan dan juga menjalankan usaha pengangkutan di darat, dan laut, pertanian dan perkebunan.

Pada tahun 1984 PT. SMART Tbk bergerak di bidang industri minyak goreng, Crude Palm Kernel Oil (CPKO), Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO), Refined Bleached Deodorized Stearin (RBDS) dengan bahan baku Crude Palm Oil (CPO), dan pada tahun 1999 perusahaan melakukan pengembangan dengan mendirikan pabrik penghasil margarine dan shortening.

Bahan baku yang diolah diperoleh dari kebun kelapa sawit seluruh Sumatera Utara. Pada saat ini produk yang dihasilkan di pasarkan ke dalam dan luar negeri, dan divisi trading yang memonitor tingkat harga minyak dan melakukan transaksi penjualan.

Produk minyak goreng yang dihasilkan PT. SMART Tbk ini dikirim dalam bentuk kemasan ataupun dalam bentuk curah (bulk), sedangkan untuk produk margarine dan shortening dikirim dengan menggunakan kemasan kotak ataupun kemasan kaleng yang kemudian di susun ke dalam kontainer dan dikirim melalui jalur transportasi laut.

II.2. Struktur Organisasi

Struktur organisasi adalah salah satu rangka yang menunjukkan setiap tugas dan tanggung jawab setiap jabatan di dalam suatu organisasi sehingga jelas batas, hubungan, wewenang dan tanggung jawab dalam usaha mencapai tujuan yang diinginkan.

Struktur organisasi ini ditentukan atau dipengaruhi oleh badan usaha, jenis usaha, besarnya usaha dan sistem produksi perusahaan tertentu.

Adapun beberapa jenis struktur organisasi yang umum adalah:

1. Organisasi garis (line organization)
2. Organisasi garis dan staff (line and staff organization)
3. Organisasi fungsional (functional organization)
4. Kombinasi organisasi garis dan fungsional
5. Kombinasi Organisasi garis dan fungsional dengan staff

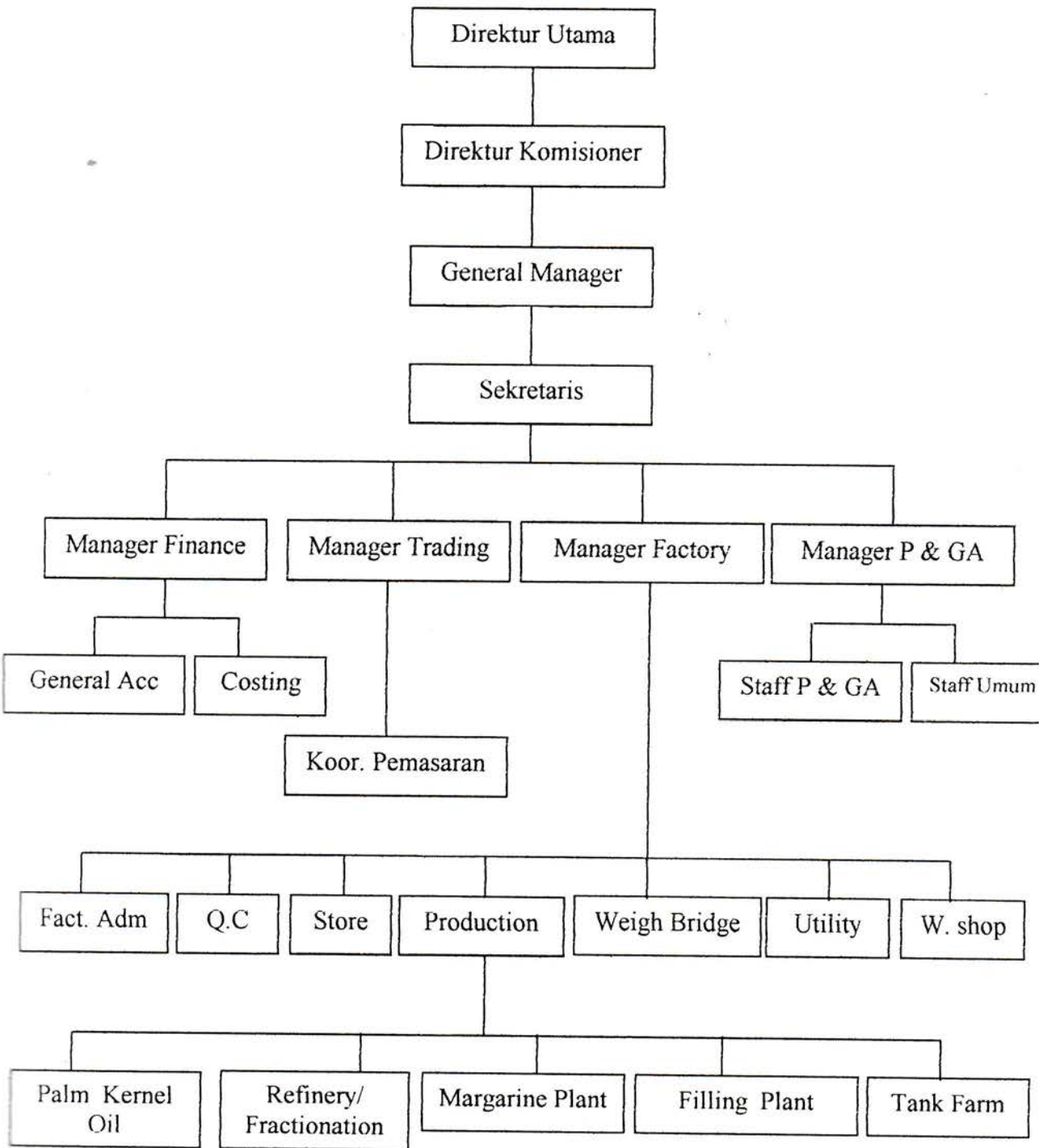
Struktur organisasi juga menetapkan sistem hubungan dalam organisasi yang memungkinkan tercapainya komunikasi, koordinasi dan pengintegrasian segenap kegiatan organisasi baik ke arah vertikal maupun horizontal.

PT. SMART Tbk Medan, mempunyai struktur organisasi yang berbentuk garis dan staff, karena dalam hal ini seseorang pimpinan dalam hal perencanaan, memberikan nasehat atau usulan-usulan lainnya.

Pimpinan tertinggi dipegang oleh seorang General Manager dan dibantu oleh beberapa staff yang di dalamnya telah terlihat batasan-batasan pertanggung jawaban dari setiap bidang pekerjaan tersebut, di samping itu ditunjukkan hubungan antara satu seksi dengan seksi lainnya melalui fungsi masing-masing.

Untuk mencapai tujuan, perusahaan haruslah memperhatikan perwujudan kerjasama yang baik dari setiap personil yang ada di berbagai bagian pekerjaan dalam struktur perusahaan agar melalui tanggung jawab yang diberikan dapat tercapai sesuai dengan sasaran dan tujuan perusahaan yang telah ditetapkan seperti semula.

Struktur organisasi PT. SMART Tbk dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar II.1. Struktur Organisasi PT. SMART Tbk Belawan

II.3. Tenaga Kerja

Tenaga kerja PT. SMART Tbk Belawan adalah tenaga kerja Indonesia yang umumnya merupakan putra daerah Sumatera Utara.

Jumlah tenaga kerja pada PT. SMART Tbk Belawan pada bulan Januari 2002 sebanyak 477 orang.

Status karyawan pada perusahaan dibagi atas :

- a. Staff
- b. Karyawan bulanan
- c. Karyawan honorer

II.3. Waktu Kerja

Penjadwalan jam kerja pada PT. SMART Tbk Belawan dibagi dalam beberapa kelompok, yaitu:

- a. Non shift : 08.00 – 16.00 WIB
- b. Shift : - Shift I : 08.00 – 16.00 WIB
- Shift II : 16.00 – 24.00 WIB
- Shift III : 24.00 – 08.00 WIB

II.4. Sistem Pengupahan dan Kesejahteraan Karyawan

Gaji/upah adalah suatu penerimaan sebagai imbalan dari perusahaan kepada karyawan untuk suatu pekerjaan yang telah dilakukan yang dinilai dalam bentuk perjanjian dan undang-undang.

Sistem pembayaran gaji karyawan di PT. SMART Tbk Belawan terdiri dari:

- a. Gaji bulanan setiap karyawan diterima setiap tanggal 25.
- b. Honor karyawan diterima dalam bentuk insentif dan lembur yang diterima pada tanggal 15.

Bagi setiap karyawan yang bekerja di luar jam kerja normal akan diberikan upah lembur yaitu dengan ketentuan sebagai berikut:

Upah lembur = $1/173 \times \text{gaji pokok} \times \text{jumlah jam lembur}$.

Berdasarkan ketentuan Depnaker jam kerja sebulan adalah 173 jam..

Perhitungan jam lembur:

- Untuk hari biasa: $200\% \times \text{upah lembur per jamnya}$.
- Untuk hari Minggu/libur:
 - a. 7 jam pertama: $200\% \times \text{upah lembur perjamnya}$.
 - b. jam ke 8 sebesar : $300\% \times \text{upah lembur setiap jamnya}$.
 - c. Jam ke 9 dan seterusnya sebesar: $400\% \times \text{upah lembur setiap jamnya}$.

Selain gaji pokok karyawan diberikan tunjangan kesejahteraan berupa minyak goreng setiap bulannya.

II.6. Uji Kualitas dan Bahan Baku

1. Uji Kualitas

Di bawah ini diterangkan istilah yang dipergunakan dalam pengujian kualitas lemak dan minyak, serta artinya:

a. Warna

Warna sangat penting dalam parameter mutu minyak, semakin tinggi warna, mutu minyak semakin tidak baik.

b. Iodine value

Adalah jumlah ikatan rangkap 2 pada lemak yang menunjukkan derajat ketidakjenuhan suatu lemak. Harga IV yang semakin tinggi menunjukkan ketidakjenuhan yang tinggi. Ini dapat digunakan sebagai indikator pengujian lemak. Selama pengolahan lemak dan minyak, sejalan dengan peningkatan hidrogenasi, harga IV akan mengalami penurunan.

c. Saponification value

Dalam hal ini ester disaponifikasi dititrasi balik untuk menentukan rata-rata gliserida. Semakin rendah berat molekul, semakin tinggi harga SV.

d. Peroxide value

Harga PV adalah jumlah indeks lemak yang teroksidasi. PV sangat berguna untuk menentukan kualitas minyak setelah pengolahan dan penyimpanan. PV seharusnya nol tetapi setelah penyimpanan akan terjadi oksidasi yang mengakibatkan kenaikan harga PV pada minyak, hal tersebut tergantung pada kondisi suhu, waktu, kontak dengan udara dan sinar matahari.

e. Free Fatty Acid (% FFA)

FFA adalah fatty acid yang tidak terikat pada molekul gliserin. Persen FFA mencerminkan tingkat pemeliharaan dan pengawasan selama pengolahan, serta merupakan indikasi kesegaran minyak dan margarine. FFA merupakan hasil dari

reaksi antara air dengan lemak atau minyak pada bahan makanan yang digoreng, serta temperatur margarine. Kandungan FFA yang terlalu tinggi (3 – 4 %) akan menyebabkan adanya pengasaman berlebih dan cita rasa yang tidak enak.

2. Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan margarine adalah:

1. Palm oil

Palm oil yang biasa digunakan antara lain:

- Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO)
- Refined Bleached Deodorized Stearin (RBDS)

Selain itu dipakai beberapa jenis minyak yaitu coconut oil (CNO), minyak bunga matahari, minyak jagung, minyak kedelai dan juga palm oil yang telah hidrogenasi.

2. Pengawet

Pengawet adalah suatu bahan yang sangat penting agar produk yang dihasilkan tahan lama. Dalam hal ini digunakan zat anti oksidant TBHQ dan BHAa atau BHT.

3. Zat Pengemulsi

Yang digunakan berupa mono dan digliserida berfungsi untuk mengikat air yang dicampurkan (blend) ke dalam minyak sebagai bahan baku pembuatan margarine secara dispersi.

4. Air dan garam

Air yang digunakan adalah air yang memenuhi standar internasional. Dari pengalaman air yang berasal dari PDAM belum dapat dipakai secara langsung untuk

pembuatan margarine karena mengandung chlorine yang mengeluarkan bau. Untuk itu harus terlebih dahulu disaring melalui carbon filter sehingga kadar chlorine pada air dapat dihilangkan dengan proses absorpsi oleh lapisan carbon filter tersebut. Garam yang digunakan mempunyai kemurnian 95 %.

5. Zat pewarna dan flavour serta vitamin

Zat pewarna di samping berfungsi untuk memberikan warna yang khas pada margarine juga memberikan nilai gizi yang lebih karena zat pewarna tersebut mengandung provitamin A yang terdapat pada β -carotene. Flavour berfungsi untuk memberikan aroma yang juga khas pada margarine. Vitamin yang ditambahkan pada margarine bertujuan untuk memberikan nilai gizi yang tinggi pada margarine tersebut. Vitamin yang ditambahkan adalah vitamin A, D, E dan lain sebagainya.

II.7. Proses Pengolahan

Pengolahan terhadap bahan baku menjadi margarine terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Brine Make-up dan Water Phase

Pada tahap ini air PDAM dari tandon yang sebelumnya di water treatment dengan menggunakan softener dipompakan dengan pompa tangkii I1 ke tangki Brine dengan kapasitas 3500 kg. Setelah air yang dimasukkan sesuai dengan formula yang diinginkan maka selanjutnya garam dan zat penstabil pH dimasukkan secara bersamaan, kemudian diaduk hingga 20 menit. Lalu diambil sample dan dianalisa standar

mutuu yang diinginkan. Setelah memenuhi standart mutu, air garam tersebut dipompakan ke tangki Waterphase (WP-306, 301) yang berkapasitas 1200 liter). Sebelum dipompakan ke dalam tangki Premixer, air garam tersebut di sinari dengan sinar ultraviolet dengan tujuan untuk membunuh bakteri yang ada pada air garam tersebut.

1. Emulsifier

Sebagai pelarut, ke dalam tangki emulsifier (E-203, 210) dimasukkan RBDPO, kemudian setelah itu dimasukkan bahan emulsi dengan formula yang sesuai dengan jenis produk yang diinginkan. Untuk membantu larutnya bahan emulsi tersebut, dilakukan pemanasan dengan temperatur 70° C. Setelah itu emulsifier siap untuk dipompakan.

3. Premixer dan Buffer

Tahap ini disebut juga tahap blending, yang artinya seluruhh bahan baku pembuatan margarine dicampurkan pada tahap ini. RBDST, RBDPO, CNO, dicampurkan terlebih dahulu pada tangki premixer (P-401) yang berkapasitas 4900 kg, kemudia secara bergantian emulsifier dan garam juga dimasukkan ke dalam tangki tersebut. Sedangkan untuk produk shortening hanya berupa campuran RBDPO, RBDST dan dengan atau tanpa CNO dan bahan emulsi tanpa penambahan fase garam. Pada tangki ini terpasangg sebuah pengaduk dengan dua running step yaitu putaran rendah dan juga putaran tinggi, hal ini dimaksudkan agar bahan baku

dapat tercampur secara homogen. Selain itu juga terdapat jaket penukar panas yang bertujuan untuk menurunkan ataupun menaikkan temperatur di tangki tersebut. Pada umumnya temperatur yang diinginkan adalah berkisar antara $56 - 60^{\circ} \text{C}$, lalu kemudian blending tersebut dipompakan masuk ke dalam tangki buffer sebagai umpan proses crystallization.

4. Crystallizer dan Pin Rotor

Pada Crystallizer terjadi pendinginan secara berganting dan continue yang dimulai dari Crystallizer tube I kemudian masuk ke dalam Crystallizer tube II, lalu tube III, selanjutnya tube IV, kemudian setelah itu masuk ke dalam pin I dan II. Pada Crystallizer tube terjadi pembentukan kristal dari cairan margarine dengan zat pendingin R-7717 (amonia), partikel kristal yang terbentuk pada dinding tube akan diperkecil besar partikelnya dengan menggunakan mata pisau (bulldog knife) yang terpasang pada shaft, dimana shaft tersebut berputar dan pada shaft juga terdapat lubang yang berisikan air panas yang membantu untuk memperlancar putaran shaft tanpa adanya gangguan dari kristal margarine yang terdapat di pada tube-tube tersebut. Dari Crystallizer tube IV kemudian kristal margarine masuk ke dalam pin I dan II, pin ini berfungsi untuk memecah-mecah bongkahan kristal margarine yang mempunyai ukuran partikel yang besar. Pada pin rotor terdapat shaft yang berputar dengan kecepatan yang bervariasi dengan kecepatan putaran yang diinginkan.

5. Plasticator

Dari pin rotor kristal margarine masuk ke dalam plasticator. Pada plasticator ini juga mempunyai shaft yang berputar dengan kecepatan tinggi yang dapat diubah sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Plasticator berfungsi untuk memperluas ukuran kristal margarine yang terbentuk hingga tekstur produk margarine yang dihasilkan lebih stabil dan halus hingga pada waktu penyimpanan yang relatif lebih lama, tekstur margarine tidak menjadi lembek ataupun keras. Kristal yang belum memenuhi persyaratan akan dimasukkan ke dalam Remelt (R-6001) untuk di daur ulang..

6. Filling Station

Margarine yang telah memenuhi standar akan dikemas di dalam wadah plastik yang dilengkapi dengan pembungkus karton oleh dua buah filling station yang dilengkapi dengan dua buah pipa pengeluaran yang bekerja bergantiann secara otomatis.

7. Remelt

Remelt tank merupakan tangki penampung kristal margarine yang belum memnuhi standar. Pada remelt tank terdapat pengaduk dan jaket pemanas untuk mengubah kristal margarine menjadi bentuk cair kembali, kemudian cairan terebut akan dipompakan kembali ke tangki buffer sebagai umpan ulang proses pengolahan.

BAB III

LANDASAN TEORI

III.1. Pengertian Heat Transfer (Perpindahan Kalor)

Perpindahan kalor (panas) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang karena adanya perbedaan suhu diantara benda dan material. Ilmu perpindahan kalor juga tidak hanya menjelaskan bagaimana perpindahan kalor tersebut berpindah, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan (Q) yang terjadi pada kondisi tertentu. Ilmu termodinamika berbeda dengan ilmu perpindahan kalor karena ilmu termodinamika hanya dapat membahas sistem dalam kesetimbangan dan dapat meramalkan energi yang diperlukan tetapi tidak dapat meramalkan kecepatan perpindahan kalor.

III.2. Mekanisme Perpindahan Kalor

Terdapat berbagai mekanisme perpindahan kalor yang terjadi dari sumber panas dan penerima panas. Umumnya dalam bentuk teknik mekanisme perpindahan kalor dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor dengan cara merambat pada dinding bahan yang dipanaskan. Perpindahan jumlah energi panas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$dQ = k A (-dt/dx) \quad (\text{pers. 3.1.})$$

dimana :

t = temperatur pada titik sembarang pada dinding

x = ketebalan dinding pada arah perpindahan kalor

$(-dt/dx)$ = perubahan temperatur

k = konstanta konduktivitas panas untuk bahan tertentu.

A = penampang luas dinding

b. Konveksi

Adalah perpindahan kalor antara bagian panas dan bagian dingin antara dua fluida. Jenis perpindahan kalor ini dirumuskan pada persamaan berikut:

$$dQ = h A dt \quad (\text{pers. 3.2.})$$

dimana:

h = koefisien perpindahan kalor pada fluida tersebut

Jika persamaan di atas diintegalkan maka persamaan menjadi

$$Q = h A \Delta t \quad (\text{pers. 3.3.})$$

Persamaan ini disebut juga persamaan cooling Newton.

Sedangkan laju perpindahan panas dari yang terjadi pada suatu aliran fluida didapat dari persamaan:

$$Q = m c_p \Delta t \quad (\text{pers. 3.4.})$$

dimana c_p adalah spesifik panas fluida dan m adalah laju aliran fluida.

c. Radiasi

Adalah proses perpindahan kalor secara radiasi termal dari sumber panas ke penerima panas.

Laju panas yang diberikan oleh sumber dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$dQ = \sigma \varepsilon dA T^4 \quad (\text{pers. 3.5.})$$

dimana: T adalah temperatur absolut, σ adalah konstanta dimensional, sedangkan ε adalah emisivitas (daya absorpsi suatu benda).

III.3. Perpindahan Kalor Proses

Perpindahan kalor ialah ilmu yang mempelajari laju kalor yang tertuka antara sumber dan penerima biasanya diperlakukan secara tersendiri. Sedangkan perpindahan kalor proses selain berhubungan dengan laju perpindahan kalor, juga pengaplikasiannya pada peralatan teknik dan proses kimia. Permasalahan yang timbul pada perpindahan kalor proses bertitik berat pada jumlah kalor yang dapat dipindahkan, kecepatan perpindahan kalor, perencanaan permukaan sumber dan penerima kalor secara terpisah dan juga mengenai energi yang akan dibutuhkan untuk proses perpindahan kalor tersebut.

III.4. Alat Penukar Panas

Pada sektor industri modern sekarang ini, sangatlah dibutuhkan alat penukar panas yang tepat untuk memenuhi kebutuhan kondisi proses yang diinginkan. Adapun jenis-jenis alat penukar panas yang umum digunakan antara lain yaitu :

1. Jenis plat rata
2. Jenis spiral
3. Shell dan tube
4. dan jenis-jenis lainnya

1. Heat Exchanger Jenis Plat Rata

Jenis ini banyak digunakan pada industri kimia dan makanan serta diberbagai sektor lainnya. Konstruksi alat ini sangatlah sederhana, plat pertukaran panasnya dibentuk tipis dan ukuran yang sama. Plat ini ditahan oleh bingkai dan ditekan oleh baut yang dapat diperketat atau diperlonggar. Kapasitas panas pada jenis alat ini adalah 10 ltr/hr hingga 200 ton/hr setiap unitnya.

2. Heat Exchanger Jenis Spiral

Jenis ini adalah jenis yang ideal untuk industri selain jenis plat rata. Dirancang dan diperbaharui serta memiliki spiral di dalam suatu tabung yang dapat meningkatkan efisiensi pertukaran kalor. Permukaan spiral terbuat dari aluminium, hastelloy dan baja karbon dan juga stainless steel. Luas perpindahan kalor yang maksimum yaitu 400 m^2 dengan tekanan 25 kg/cm^2 dan temperatur 300° C .

3. Heat Exchanger Jenis Shell-Tube

Alat ini sangat luas pemakaiannya di industri makanan, kimia, minyak bumi dan lain-lain. Alat ini sangat efektif di dalam steam karena efektivitas pertukaran kalornya sangat tinggi. Konstruksi alat ini sangat kokoh sehingga diasumsikan memiliki umur yang cukup lama.

III.5. Bagian-Bagian Alat Penukar Kalor Shell-Tube

1. Tube

Jenis tube pada alat penukar jenis ini telah dirancang sesuai dengan tube condenser yang telah mempunyai ukuran tertentu dengan bentuk pipa baja ataupun pipa besi biasa. Tube ini dapat dibuat dengan ukuran yang sama pada berbagai jenis bahan seperti baja, tembaga, aluminium dan lainnya. Jenis $\frac{3}{4}$ out side diameter 1 inch adalah jenis yang selalu dipakai pada perencanaan alat penukar kalor shell dan tube.

2. Tube Pitch

Lubang tube tidak dapat dibuat sangat berdekatan antara satu tube dengan tube lainnya. Jarak tube yang paling dekat disebut *clearance*. Susunan tube ada dua jenis yaitu square pitch dan triangular pitch. Susunan tersebut bermaksud untuk memudahkan pembersihan sisi luar tube dan juga memperkecil penurunan tekanan pada saat fluida mengalir melalui bagian tube.

3. Shell

Shell dibuat dari pipa baja dengan nominal IPS (International Pipe Standart). Standar ketebalan pipa ini adalah sama yaitu $\frac{3}{8}$ inch dengan tekanan 300 pound per inch kuadrat (psi) dan shell ini terbuat dari pipa baja. Shell yang mempunyai diameter di atas 24 inch dibuat dari plat baja yang dapat dibentuk bulat.

4. Baffles

Untuk meningkatkan pusaran (turbelensi) pada aliran fluida yang mengalir pada sisi shell biasanya digunakan baffles yang mana juga menyebabkan aliran

menuju yang tepat pada daerah luar dinding tube sehingga meningkatkan efektivitas perpindahan kalor pada alat. Jarak antara baffles disebut baffles spacing.

III.6. Mass Velocity (Percepatan Aliran Massa)

Percepatan aliran massa fluida berubah di sepanjang daerah antara dua buah baffles, jika lebar shell dan jumlah tube bervariasi. Maka untuk menghitung percepatan aliran fluida pada sisi shell dapat digunakan persamaan:

$$G_s = W/a_s \quad (\text{pers. 3.6.})$$

dimana:

G_s = percepatan aliran fluida $\text{lb}/(\text{hr})(\text{ft}^2)$

W = flow aliran fluida (lb/hr)

a_s = luas antara baffles (ft^2)

dan a_s dapat dihitung dengan persamaan:

$$a_s = \frac{ID \cdot C' \cdot B}{Pt.144} \quad (\text{pers. 3.7.})$$

dimana:

ID = Diameter dalam shell (inch)

C' = Clearance (inch)

B = Jarak antara baffles (inch)

Pt = Pitch Tube (inch)

Untuk percepatan aliran massan fluida pada sisi tube dapat dihitung dengan persamaan:

$$G_t = W/a_t \quad (\text{pers. 3.8.})$$

dimana:

G_s = percepatan aliran massa fluida pada sisi tube lb/(hr)(ft²)

W = flow aliran fluida pada sisi tube (lb/hr)

a_s = luas antara baffles pada tube total (ft²)

Luas aliran pada tube dapat dihitung dengan persamaan:

$$a_t = N_t \cdot a_t' / 144 \cdot n \quad (\text{pers. 3.9.})$$

dimana:

N_t = jumlah tube yang digunakan

a_t' = luas aliran fluida pada setiap tube

n = jumlah lintasan tube

III.7. Bilangan Raynold

Adalah suatu bilangan yang menunjukkan karakteristik fluida yang mengalir pada suatu sistem perpipaan. Ada dua jenis yang umum karakteristik fluida yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Karakteristik aliran ini terjadi karena kekentalan fluida tersebut.

Bilangan Raynold dapat dihitung dengan persamaan:

$$Re = \frac{D \cdot G}{\mu} \quad (\text{pers. 3.10.})$$

dimana:

D = diameter tabung (ft)

G = percepatan aliran fluida pada tabung (lb/hr ft²)

μ = viscositas fluida (lb/ft.hr)

Dari hasil perhitungan Reynold menyimpulkan bahwa aliran turbelen adalah $Re > 2300$.

III.8. Koefisien Perpindahan Kalor

Koefisien perpindahan kalor di bagian luar tube disebut dengan *koefisien perpindahan kalor shell* (h_0). Baffles yang mengarahkan aliran fluida pada shell sepanjang tube dari atas ke bawah atau dari samping kanan ke samping kiri maka koefisien pertukaran kalor lebih tinggi dibandingkan jika baffles tidak digunakan. Jadi lebih banyak baffles digunakan maka akan terjadi aliran pusaran yang akan meningkatkan koefisien pertukaran kalor.

Untuk menghitung koefisien perpindahan kalor pada sisi shell dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_0 = jH \frac{k}{D_e} \{(c\mu/k)\}^{1/3} \Phi_s \quad (\text{pers. 3.11})$$

dimana:

h_0, h_i = koefisien perpindahan kalor pada sisi shell, tube (btu/hr.ft² F)

jH = Faktor perpindahan panas pada sisi shell aatau sisi tube

c = Spesifik panas fluida yang mengalir (btu/hr.ft²)

μ = viskositas fluida yang mengalir [btu/hr.ft² (F/ft²)]

D = diameter shell atau tube (feet)

Φ_s = viskositas rasio $(\mu/\mu_w)^{0.14}$ (lb/ft.hr)

μ_w = viskositas fluida pada sisi dinding tabung

III.9. Temperatur Dinding Tube

Temperatur tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_w = t_\alpha + \frac{h_0}{h_{i0} + h_0} (T_\alpha - t_\alpha) \quad (\text{pers. 3.12.})$$

dimana:

t_w = temperatur pada dinding pipa ($^{\circ}\text{F}$)

t_α = temperatur rata-rata dinding fluida ($^{\circ}\text{F}$)

T_α = Temperatur rata-rata fluida panas ($^{\circ}\text{F}$)

h_{i0} = koefisien perpindahan kalor pada permukaan luar tube (BTU/hr.ft² F)

III.10. Shell-Side Pressure Drop (Penurunan Tekanan Pada Shell)

Penurunan tekanan pada sisi shell alat penukar adalah berbanding lurus dengan jumlah lintasan aliran fluida pada luas antara baffles dan juga berbanding lurus dengan jarak antara baffles pada setiap lintasan aliran fluida. Jumlah lintasan aliran fluida pada luas antara baffles adalah:

$$N + 1 = \text{Panjang tube (inch)}/\text{jarak baffles (inch)} \quad (\text{pers. 3.13})$$

Jika panjang tube adalah 16 in dan jarak antara baffles adalah 18 in, maka jumlah lintasan aliran adalah 11 in dengan jumlah baffles adalah 10, dan dari hasil

perhitungan dari persamaan di atas maka persamaan penurunan tekanan pada sisi shell adalah:

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} D_e s \Phi_s} \text{ psf} \quad (\text{pers. 3.14.})$$

dimana:

ΔP_s = penurunan tekanan pada sisi shell (psf)

f = faktor gesekan (ft^2/inc^2)

G_s = percepatan aliran fluida (lb/hr.ft^2)

D_s = diameter dalam shell (ft)

D_e = Diameter ekivalen shell (ft)

s = spesifik gravity fluida

Φ_s = ratio viscosity $(\mu/\mu_w)^{0.14}$ lb/ft.hr

μ_w = viskositas pada sisi temperatur dinding tube x 2,42 lb/ft.hr

III.11. Tube-Side Pressure Drop (Penurunan Tekanan Pada Sisi Tube)

Penurunan tekanan pada sisi dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L_n}{5,22 \times 10^{10} D_e s \Phi_t} \text{ psf} \quad (\text{pers. 3.15.})$$

dimana:

ΔP_t = penurunan tekanan pada sisi tube (psf)

f = faktor gesekan (ft^2/inc^2)

G_t = percepatan aliran fluida pada tube (lb/hr.ft^2)

n = jumlah lintasan aliran tube

Φ_s = ratio viscosity $(\mu/\mu_w)^{0.14}$ lb/ft.hr

III.12. Faktor Pengotoran

Setelah dipakai beberapa lama, permukaan perpindahan kalor mungkin akan dilapisi dengan kotoran-kotoran yang berasal dari fluida atau mungkin mengalami korosi akibat dari interaksi antara fluida dengan bahan yang digunakan dalam konstruksi alat. Hal ini mengakibatkan menurunnya kemampuan kerja alat tersebut. Pengaruh tersebut disebut dengan faktor pengotoran. Untuk mengantisipasi hal tersebut di atas maka di dalam perhitungan kapasitas perpindahan panas (Q) diikuti sertakanlah nilai koefisien pengotoran atau all desing koefisien (U_d). Maka persamaan laju perpindahan kalor menjadi:

$$Q = U_d A \Delta T_m \quad (\text{pers. 3.16})$$

Dimana:

Q = kapasitas perpindahan kalor

U_d = koefisien rancangan perpindahan kalor menyeluruh

A = luas penampang

ΔT_m = beda suhu rata-rata log

Nilai U_d diperoleh dari:

$$1/U_d = 1/U_c + R_d \quad (\text{pers. 3.17})$$

dimana:

U_c = koefisien perpindahan panas bersih

R_d = faktor pengotoran gabungan antara tube dan shell.

Sedangkan U_c didapat dari:

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_o}{h_{i0} + h_o} \quad (\text{pers. 3.18})$$

dimana:

h_{i0} = koefisien perpindahan panas bersih pada permukaan tube (BTU/hr.ft².F)

h_o = koefisien perpindahan kalor pada bagian luar fluida (BTU/hr.ft².F)

III.13. Beda Suhu Rata-Rata

Pada alat penukar kalor shell dan tube, fluida yang mengalir dapat dalam aliran berlawanan arah dan juga aliran sejajar. Beda suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada waktu masuk dan pada waktu keluar adalah tidak sama, dan kita perlu menentukan nilai rata-rata untuk digunakan dalam persamaan. Untuk aliran sejajar beda suhu rata-rata Log (ΔT_{LMTD}) dapat ditulis:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h1} - T_{c1}) - (T_{h2} - T_{c2})}{\ln[(T_{h1} - T_{c1}) / (T_{h2} - T_{c2})]} \quad (\text{pers. 3.19})$$

Dimana:

$T_{h1,2}$ = temperatur fluida panas masuk dan keluar (°F)

$T_{c1,2}$ = temperatur fluida dingin masuk dan keluar (°F)

ΔT_{LMTD} = beda temperatur rata-rata log (°F)

Untuk menghitung beda suhu rata-rata pada aliran berlawanan arah adalah:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln[(T_{h1} - T_{c2}) / (T_{h2} - T_{c1})]} \quad (\text{pers. 3.20})$$

Jadi jika dihubungkan antara persamaan 3.16 dan 3.20 maka persamaan akan menjadi:

$$Q = U_d A \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln[(T_{h1} - T_{c2}) / (T_{h2} - T_{c1})]} \quad (\text{pers. 3.21})$$

III.14. Penggunaan Uap (Steam) Sebagai Media Pemanas

Pada berbagai alat penukar kalor, steam selalu digunakan sebagai media pemanas. Biasanya pada alat penukar kalor, steam dialirkan pada sisi tube hal ini mencegah terperangkapnya condensat steam pada baffles sehingga menimbulkan kerusakan pada alat apabila steam dimasukkan secara tiba-tiba ke dalam shell.

Dalam perhitungan laju perpindahan kalor dengan menggunakan steam sebagai media pemanas persamaan menjadi:

$$Q = m \cdot h_{fg} \quad (\text{pers. 3.22})$$

dimana:

M = laju aliran steam (lb/hr)

h_{fg} = spesifik laten evaporasi steam berdasarkan tekanan pada temperaturnya.

III.15. Pengertian Biaya

Menurut D. Hartarto biaya (cost) adalah biaya-biaya yang dianggap memberikan manfaat (service potensial) di waktu yang akan datang dan karenanya merupakan aktiva yang dicantumkan dalam neraca.

Sedangkan menurut Hadibroto S. biaya suatu barang adalah nilai barang-barang lain yang dikorbankan untuk menghasilkan barang tersebut.

Dari definisi di atas diperoleh pengertian tentang ongkos produksi dan biaya. Ongkos produksi adalah ongkos yang dikeluarkan untuk memproduksi barang-barang dalam suatu periode tertentu. Sedangkan biaya adalah segala pengorbanan yang dikeluarkan untuk mencapai suatu tujuan tertentu dan biasanya dalam bentuk uang.

III.16. Elemen-Elemen Biaya

Elemen-elemen biaya menyatakan yang terjadi di dalam pembuatan suatu produk dari mulai pembuatan bahan baku, pengolahan sampai produk siap untuk dipasarkan.

Elemen-elemen biaya dapat dibagi atas dua bagian yaitu:

1. Biaya yang terjadi di dalam pabrik antara lain:
 - a. Biaya bahan langsung
 - b. Biaya buruh langsung
 - c. Biaya-biaya tak langsung
2. Biaya-biaya yang terjadi di luar pabrik atau biaya komersial, antara lain:
 - a. Biaya pemasaran atau penjualan
 - b. Biaya administrasi.

BAB IV

PENGUMPULAN DATA

IV.1. Data Proses Pemanasan Pada Sistem Lama

Adapun data-data proses dengan menggunakan sistem tangki berjaket adalah sebagai berikut:

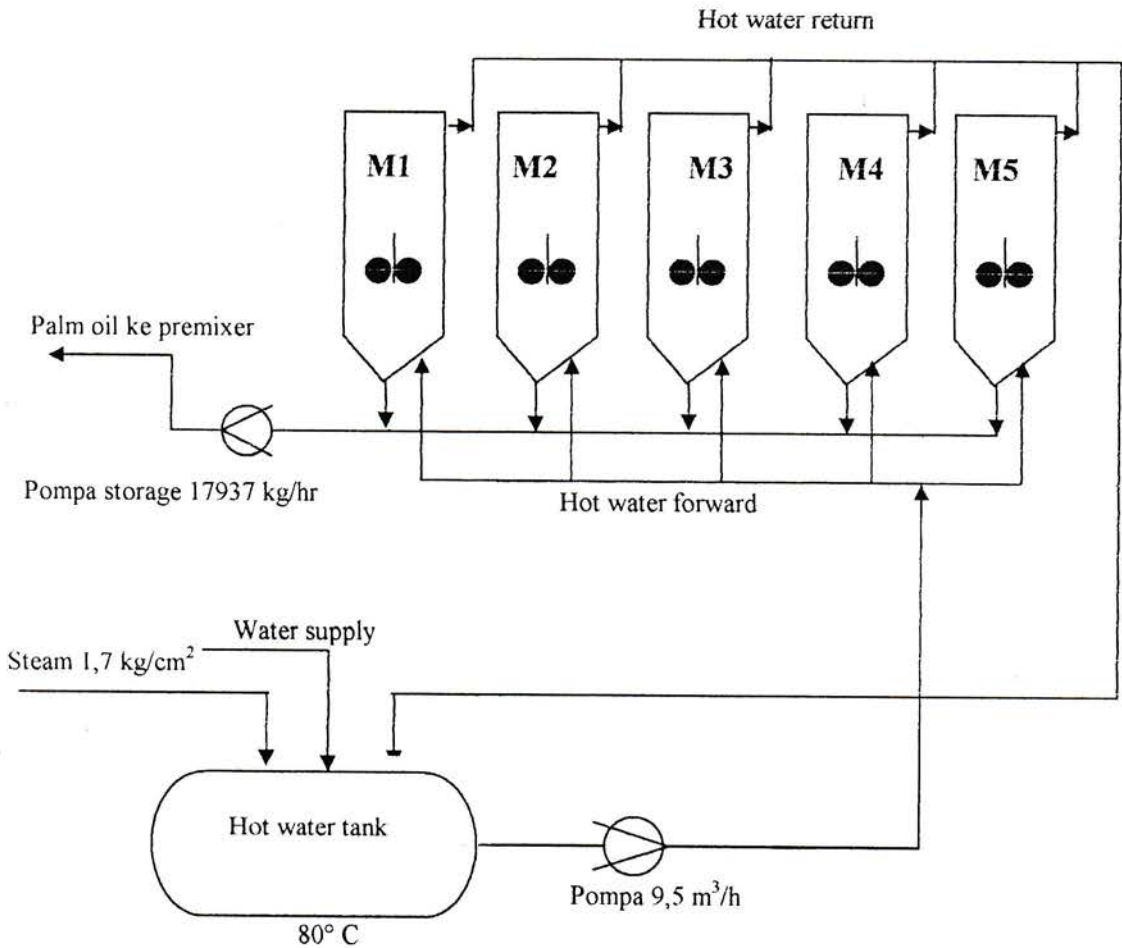
Kapasitas perpindahan kalor	: 65.542 Btu/hr
Temperatur air pemanas awal	: 80° C
Temperatur air pemanas akhir	: 71,6° C
Laju aliran air panas	: 9.500 kg/hr
Massa bahan baku	: 25.000 kg
Laju aliran bahan baku	: 17.937 kg/hr
Temperatur awal bahan baku rata-rata	: 48° C
Temperatur akhir yang diinginkan	: 57° C
Temperatur dan tekanan steam	: 113° C dengan tekanan 1,7 kg/cm ²

IV.2. Mekanisme Pertukaran Kalor Sistem Lama

Sebelum air panas digunakan untuk memanaskan bahan baku margarine, terlebih dahulu air tersebut diinjeksikan dengan steam bertekanan rendah. Hingga temperaturnya mencapai 80° C, kemudian dialirkan melalui jaket tangki dengan menggunakan pompa. Air yang telah terpakai kembali semula ke tangki air panas, dan steam akan diinjeksikan untuk menjada agar temperatur air pemanas konstan

selama proses berlangsung. Apabila level air pada tangki berkurang karena adanya penguapan atau kebocoran, maka air akan ditambahkan melalui pipa water supply.

Mekanismenya dapat dilihat pada gambar berikut:



Keterangan:

- M1 = Tangki RBDPO
- M2 = Tangki RBDPO
- M3 = Tangki CNO
- M4 = Tangki RBDST
- M5 = Tangki RBDST

Gambar IV.1. Flow diagram proses pertukaran panas bahan baku margarine

IV.3. Waktu Pemanasan Yang Dibutuhkan Pada Sistem Lama

Tabel IV.1. Waktu Pemanasan Palm Oil (RBDPO) Dengan Temperatur Akhir 57° C

No.	Temperatur Awal (° C)	Temperatur Akhir (° C)	Waktu (mnt)
1	48	57	415
2	48	57	407
3	48	57	405
4	48	57	405
5	48	57	405
6	48	57	402

Rata-rata pemakaian waktu: 406,5 menit atau 6,78 jam.

IV.4. Pemakaian Energi

A. Energi Listrik

Adapun peralatan serta jumlah pemakaian energi listrik untuk pemanasan palm oil dengan temperatur 48° C menjadi 57° C adalah sebagai berikut:

Tabel IV.2. Pemakaian Energi Listrik Untuk Pemanasan Setiap 25.000 kg RBDPO

No.	Peralatan		Waktu (jam)	Pemakaian Listrik		Total (Kwh)
	Agitator (kw)	Pompa air (kw)		Agitator (kw)	Pompa air (kw)	
1	1,5	1,9	6,92	10,38	13,15	23,53
2	1,5	1,9	6,78	10,17	12,88	23,05
3	1,5	1,9	6,75	10,13	12,83	22,96
4	1,5	1,9	6,75	10,13	12,83	22,96
5	1,5	1,9	6,75	10,13	12,83	22,96
6	1,5	1,9	6,70	10,05	12,73	22,78

B. Energi Panas

Tabel IV.3. Pemakaian Steam Setiap Jam Pemanasan Air Menjadi 80° C

No.	Angka Flow Meter Awal (kg)	Angka Flow Meter Akhir (kg)	Selisih
1	52364	52527	163
1	52511	52660	149
1	52660	52797	137
1	52087	52237	150
1	52955	53087	132
1	53102	53248	146

Rata-rata pemakaian steam setiap jamnya adalah = 146,2 kg/jam

IV.5. Biaya

1. Biaya Operasional

Biaya operasional pada proses pemanasan ini antara lain yaitu:

- a. Biaya pemakaian listrik
- b. Biaya pemakaian steam

Tabel IV.4. Biaya Operasional Untuk Pemanasan RBDPO 25.000 kg

No.	Energi Listrik		Steam		Waktu (jam)	Total Biaya (Rp)
	Pemakaian (kwh)	Biaya (Rp)	Pemakaian (kg)	Biaya (Rp)		
1	23,53	9883	1127,96	107156	6,92	117039
2	23,05	9681	1010,22	95971	6,78	105652
3	22,96	9643	924,75	87851	6,75	97494
4	22,96	9643	1012,5	96188	6,75	105831
5	22,96	9643	891	84645	6,75	94288
6	22,78	9568	978,2	92929	6,70	102497

Catatan:

- Harga energi listrik setiap kwh =Rp. 420
- Harga steam setiap kg = Rp. 95

Total biaya operasional biaya rata-rata = Rp. 103.800

2. Biaya Maintenance

Tabel V.5. Biaya Maintenance Setiap Tahun

Bulan ke	Air		Bahan Kimia 3%		Energi Listrik	
	M ³	Biaya/m ³	Kg	Biaya/liter (Rp)	Kwh	Biaya/kwah (Rp)
4	8	1200	240	2300	1,9	420
8	8	1200	240	2300	1,9	420
12	8	1200	240	2300	1,9	420

Biaya maintenance setiap empat bulan adalah:

$$= \text{Rp. } 9600 + 552000 + 798$$

$$= \text{Rp. } 562.398$$

Maka total biaya maintenance setiap tahunnya:

$$= \text{Rp. } 562.398 \times 3$$

$$= \text{Rp. } 1.687.194$$

BAB V

ANALISA DAN EVALUASI DATA

V.1. Analisa Data

Dari hasil pengamatan terhadap waktu pemanasan yang dilakukan oleh penulis, maka diperlukan perubahan mekanisme yang lebih efektif untuk dapat menghemat waktu perpindahan kalor pada bahan baku. Mekanisme tersebut adalah dengan menggunakan suatu penukar panas jenis shell-tube. Sebelum diaplikasikan, alat ini harus dirancang terlebih dahulu spesifikasinya agar temperatur akhir fluida yang akan dipanaskan sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.

Langkah-langkah untuk merancang alat tersebut adalah:

1. Tentukan terlebih dahulu kondisi operasi yang diinginkan serta media pemanas yang sesuai dengan fluida proses.
2. Menentukan spesifikasi tube yang diinginkan.
3. Hitung neraca kalor untuk mendapatkan laju perpindahan kalor sesuai dengan data yang diinginkan dengan rumus dasar $Q = m c_p \Delta t$.
4. Hitung beda suhu rata-rata untuk digunakan menghitung luas total permukaan perpindahan kalor pada alat. Dengan rumus:
$$\Delta T_m = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln[(T_{h1} - T_{c2}) / (T_{h2} - T_{c1})]}$$
5. Hitung luas total permukaan perpindahan kalor pada alat dengan memasukkan nilai asumsi overall design (U_d). Dihitung dengan rumus:

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

6. Tentukan jumlah tube yang akan digunakan berdasarkan hasil perhitungan luas total permukaan tersebut.
7. Setelah ditentukan jumlah tube yang digunakan, nilai U_D dikoreksi dengan menghitung ulang luas total permukaannya.
8. Hitung luas aliran sisi shell dan juga sisi tube.
 - Untuk sisi shell: $a_s = ID \times C' \times B/144 P_t$
 - Untuk sisi Tube: $a_t = N_t \cdot a_t'/144.n$
9. Hitung percepatan aliran rata-rata pada kedua sisi.
 - Untuk sisi shell: $G_s = W/a_s$
 - Untuk sisi tube: $G_t = W/a_t$
10. Hitung nilai Reynold (Re) untuk mengetahui karakteristik aliran padat pada alat tersebut sesuai dengan temperatur masing-masing sisi. $Re = \frac{D \cdot G}{\mu}$
11. Hitung koefisien perpindahan kalor (h_0) pada kedua sisi
 Sisi shell :

$$h_0 = jH \frac{k}{D_e} \{(c\mu/k)\}^{1/3} \Phi_s$$
 Untuk tube: $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F}$ karena memakai media steam.
12. Perhitungan dilanjutkan ke nilai koefisien design bersih (U_c)

$$U_c = \frac{h_{i0} \times h_o}{h_{i0} + h_o}$$

13. Hitung faaktor pengotoran (Rd) apakah rancangan sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

$$Rd = \frac{U_c - U_d}{U_c U_d}$$

14. Apabila rancangan telah sesuai dengan yang telah ditentukan maka perhitungan dilanjutkan pada penurunan tekanan (ΔP) kedua sisi:

Untuk sisi shell:

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 D_s (N+1)}{5,22 \times 10^{10} D_e s \Phi_s}$$

Untuk sisi tube :

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L_n}{5,22 \times 10^{10} D_c s \Phi_t}$$

1. Kondisi operasi:

Fluida panas

Media pemanas : Low pressure steam

Tekanan : 1,7 kg/cm³ (24,1791 lb/inc² (psi)

Temperatur : 113° C (235,4 °F)

Viscosity : 0,0128 centipoise

Enthalpy evaporasi : 954,87

Fluida dingin

Fluida : Palm oil (RBDPO)

Laju aliran (m) : 17937 kg/hr (39543 lb/hr)

Temperatur awal (t1) : 48° C (118,4 °F)

Temperatur akhir (t2) : 57° C (134,6 °F)

Spesifik Heat (cp) (48° C) : 0,4978 kkal/kg °C (0,4978 Btu/lb °F)

Viscosity : 11,7 centipoise

Temperatur rata-rata : 52,5° C (126,5 °F)

Jenis Tube yang digunakan

Pada umumnya jenis tube yang digunakan adalah jenis ¾ inc OD, 1 inc square pitch, 14 BWG dan panjang 6 feet.

2. Perhitungan untuk design pemanas palm oil

a. Neraca Kalor

Dari hasil perhitungan diperoleh $Q = 3188889$ btu/hr, sehingga laju aliran steam = $Q/h_{ig} = 318889/954,87 = 334$ lb/hr.

b. Beda suhu log rata-rata (ΔT_{LMTD})

Fluida Panas		Fluida dingin	Selisih
235.4 °F	Temp. tinggi	134.6 °F	100.8
235.4 °F	Temp. rendah	118.4 °F	117
0	Selisih	16.2	16.2

Sehingga dari rumus $\Delta T_m = 108.7$ °F

t_a palm oil = 134.6 °F + $118.4/2 = 126.5$ °F

t_a steam = 235.4 °F



c. Jumlah tube (Nt) dan Nilai overall design (Ud)

Asumsi $U_d = 110$, faktor pengotoran = 0,0002, penurunan tekanan = 10 psi max. Sehingga dari rumus luas permukaan keseluruhan alat (A) adalah 26,67 ft².

Dari hasil di atas dapat dihitung jumlah tube (Nt) yang akan digunakan yaitu 22,64 atau 23 tube.

Perhitungan terdekat untuk jenis tube $\frac{3}{4}$ inc OD, 1 inc square pitch adalah:

Pilihan I : jumlah tube = 20; lintasan 4; diameter dalam shell 8 inc

Pilihan II : jumlah tube = 26; lintasan 2; diameter dalam shell 8 inc

Yang dipilih adalah pilihan kedua karena semakin banyak lintasan yang digunakan maka akan menghasilkan penurunan tekanan yang lebih tinggi sehingga kapasitas pemompaan akan menjadi lebih terganggu.

Dari rumus perhitungan koreksi nilai U_D yaitu:

$$A = 30.62 \text{ ft}^2.$$

$$\text{maka } U_d = 95,81 \text{ Btu/hr.ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

Fluida dingin, RBDPO (palm oil), sisi shell

d. Luas aliran shell (as)

ID shell = 8 inc; jarak baffles (B) = 5 inc; Clearance = 0,25 dan Pitch tube (Pt) = 1 inc. Dari data tersebut di dapat as = 0,06944 ft².

e. Percepatan aliran massa shell (Gs)

$$G_s = 5694556 \text{ lb/hr.ft}^2.$$

f. Pada temperatur 126,5 °F

$$\text{Viskositas} = 25,4 \text{ lb/ft.hr}$$

Diameter ekivalen (D_c) = 0,0792 ft

Maka Raynold Number (Re_s) = 1776.

g. Koefisien Perpindahan Kalor

Faktor perpindahan kalor sisi shell (j_H) = 22

Spesifik heat (c_p) pada temp 126,5 °F = 0,5077 Btu/lb °F

Thermal konduktivitas (k) palm oil = 0,0835

Dari data tersebut dan setelah dimasukkan ke rumus h_0 maka diperoleh koefisien perpindahan kalor (h_0) = 124,4 Btu/hr.ft² °F.

h. Temperatur dinding tube (t_w)

Dari perhitungan rumus diperoleh t_w = 134,8 °F.

i. Pada temperatur 134,8 °F

Viskositas palm oil (μ_w) = 23,23 lb/hr.ft

Sehingga Φ_s' = 1,01258

Maka koreksi nilai h_0/Φ_s'

h_0 = 125,97 Btu/hr.ft² °F.

Fluida panas steam sisi tube

j. Luas aliran sisi tube (a_t)

Luas aliran a_t' = 0,268 inc²

maka a_t = 0,0242 ft².

k. Percepatan aliran tube (G_t)

Dari rumus diperoleh G_t = 13802 lb/hr ft².

l. Pada temperatur 235,4 °F

$$\text{Viskositas } (\mu) = 0,031 \text{ lb/ft hr}$$

$$\text{Diameter dalam (D)} = 0,0487 \text{ ft}$$

$$\text{Re}_1 \text{ (Raynol Number)} = 21682$$

m. Koefisien perpindahan kalor pada sisi tube (h_{i0})

$$h_{i0} = 1500 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

n. Clean overall koefisien (U_c)

$$\text{Dari rumus diperoleh } U_c = 116,2 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

o. Faktor pengotoran (R_d)

$$\text{Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh } U_d = 95,81 \text{ btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}$$

$$\text{Maka } R_d = 0,0018.$$

Catatan: perhitungan faktor pengotoran memenuhi persyaratan rancangan 0,002.

p. Penurunan tekanan

Fluida dingin, RBDPO (palm oil) sisi shell

1. Untuk $Re_s = 1776$

2. Faktor gesekan (f) = $0,0031 \text{ ft}^2/\text{inc}^2$

3. Spesifik gravity (S) = $\rho \text{ palm oil} / \rho \text{ air} = 55,91 \text{ lb/ft}^3 / 62,5 \text{ lb/ft}^3$

$$\text{Maka } S = 0,8946.$$

- Jumlah lintasan aliran fluida pada luas antara baffles

$$N + 1 = \text{panjang tube/jarak baffles} = 15 \text{ ft.}$$

- Diameter dalam shell (D_s)

$$D_s = 0,667 \text{ ft.}$$

Maka penurunan tekanan pada sisi shell (ΔP_s) adalah 2,36 psi.

4. Untuk $Re_s = 21682$

5. Faktor gesekan (f) = $0,00023 \text{ ft}^2/\text{inc}^2$

6. Spesifik gravity (S) = $\rho \text{ steam}/\rho \text{ air} = 00.0563 \text{ lb}/\text{ft}^3 / 62,5 \text{ lb}/\text{ft}^2$

$$\text{Maka } S = 0.0009$$

Maka penurunan tekanan pada sisi tube (ΔP_1) adalah = 0.23 psi

V.2. Evaluasi Data

1. Penghematan waktu

Secara teori waktu yang dibutuhkan untuk proses perpindahan kalor palm oil (RBDPO) dari temperatur 48° C hingga temperatur 57° C dengan jumlah massa 25.000 kg adalah sama dengan kapasitas pompa storage yaitu 17937 kg/hr jadi waktu yang dibutuhkan adalah:

Waktu perpindahan kalor = massa fluida/kapasitas pemompaan

$$= 25.000/17937 = 1,4 \text{ jam atau } 83,63 \text{ menit.}$$

Jika dibandingkan dengan waktu perpindahan kalor sistem jaket yang mempunyai waktu pemanasan $48^\circ \text{ C} - 57^\circ \text{ C}$ rata-rata 406, 5 menit maka penghematan waktu sekitar 79,4 %.

2. Pemakaian Energi

A. Energi Listrik

Seperti halnya sistem jaket, sistem ini juga menggunakan energi listrik untuk mengoperasikan pompa storage guna mengalirkan palm oil ke tangki premixer untuk diolah lebih lanjut. Pemakaian energi listrik pada sistem shell-tube untuk memanaskan palm oil dengan temperatur 48° C sampai 57° C setiap 25.000 kg RBDPO secara teori adalah sebagai berikut:

Tabel V.1. Pemakaian energi listrik untuk setiap 25.000 kg RBDPO

Alat	Daya (kw)	Temperatur (°C)		Waktu (jam)	Total (Kwh)
		Awal	Akhir		
Pompa storage	2.2	48	57	1.4	3.1
Agitator	1.5	48	57	0	0
Pompa air panas	1.9	48	57	0	0

B. Pemakaian energi panas

Energi panas yang digunakan pada sistem shell-tube ini adalah steam bertekanan rendah. Dari perhitungan neraca laju perpindahan kalor sebelumnya diketahui bahwa laju steam yang digunakan adalah 334 lb/hr atau 151,499 kg/hr. Sehingga dapat dihitung jumlah pemakaian steam yang digunakan untuk setiap proses pemanasan 25.000 kg RBDPO dari temperatur 48° C - 57° C selama 1,4 jam yaitu:

Pemakaian steam (kg) = laju aliran steam x waktu operasi

$$= 151,499 \times 1,4 = 212,1 \text{ kg.}$$

3. Penghematan Biaya

a. Biaya Operasional

Tabel V.2. Biaya Pemakaian Listrik dan Steam pada Sistem Shell-Tube

Energi Listrik		Steam (low pressure)	
Pemakaian (kwh)	Biaya/kwh (Rp)	Pemakaian (kg)	Biaya/kg (Rp)
3.1	420	212.1	95

Dari tabel di atas dapat dihitung :

Biaya pemakaian listrik = Rp. 1302

Biaya pemakaian steam = Rp. 20150

Total biaya keseluruhan = Rp. 21.452

Jika dibandingkan pemakaian sistem jaket dengan sistem shell-tube, maka penghematan biaya operasional apabila sistem shell-tube ini diaplikasikan adalah:

Penghematan biaya = biaya operasional sistem jaket – sistem shell-tube

= Rp. 103.800 - Rp. 21.452

= Rp 82.348/25.000 kg RBDPO.

b. Biaya Maintenance

Tabel V.3. Biaya Maintenance Setiap Tahun

Bulan ke	Pemakaian Bahan				Biaya
	Brus Kawat	Biaya/satuan (Rp)	Gasket	Biaya/satuan (Rp)	
2	3	4500	1	56300	69800
4	6	4500	2	56300	136600
6	9	4500	3	56300	209400
8	12	4500	4	56300	279200
10	15	4500	5	56300	349000
12	18	4500	6	56300	418800

Dari tabel di atas total biaya per tahunnya adalah: Rp. 418.800.

$$\begin{aligned} \text{Penghematan biaya} &= \text{Biaya maintenance sistem jaket} - \text{sistem shell-tube} \\ &= \text{Rp. 1.687.194} - \text{Rp. 418.800} \\ &= \text{Rp. 1.268.394} \end{aligned}$$

4. Perbandingan Sistem Jaket Dengan Sistem Shell-Tube

Tabel V.4. Perbandingan Waktu Pemanasan Sistem Jaket dengan Sistem Shell-Tube untuk 25000 kg RBDPO

No	Massa RBDPO (kg)	Waktu Pemanasan Sistem Jaket (menit)	Waktu Pemanasan Sistem Shell-Tube (menit)
1	25000	415	83.63
2	25000	407	83.63
3	25000	405	83.63
4	25000	405	83.63
5	25000	405	83.63
6	25000	402	83.63

Tabel V.5. Perbandingan Total Biaya Operasi Sistem Jaket Dengan Sistem Shell-Tube Untuk 6 Kali Pengoperasian

No	Total Biaya Operasi Sistem Jaket (Rp)	Total Biaya Sistem Shell-Tube (Rp)
1	117039	21452
2	105652	21452
3	97494	21452
4	105831	21452
5	94288	21452
6	102497	21452

Tabel V.6. Perbandingan Total Biaya Maintenance Sistem Jaket Dengan Sistem Shell-Tube

Bulan ke	Total Biaya Maintenance Sistem Jaket (Rp)	Total Biaya Maintenance Sistem Shell-Tube (Rp)
2	0	69800
4	562398	139600
6	562398	209400
8	1124796	279200
10	1124796	349000
12	1687194	418800

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju perpindahan kalor pada sistem shell-tube lebih besar dibandingkan dengan laju perpindahan kalor sistem jaket (sistem yang sudah ada) yaitu:

Sistem shell-tube : 80360 Kcal/hr

Sistem Jaket : 16517 Kcal/hr

Dengan demikian hal ini akan menyebabkan waktu proses pemanasan 25.000 kg palm oil (RBDPO) menjadi lebih cepat dengan penghematan waktu 79,4%.

2. Pemakaian sistem pertukaran kalor sistem shell-tube lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem pertukaran kalor jaket karena biaya operasional pemanasan setiap 25000 kg palm oil dan biaya maintenance setiap tahunnya dapat diefektifkan yaitu:

a. Biaya operasional : Rp. 82.348/25 ton RBDPO

b. Biaya maintenance : Rp. 1.268.394/ tahun

VI.2. Saran

1. Sebaiknya perusahaan menggunakan sistem shell-tube pertukaran karena dari segi waktu yang dibutuhkan, biaya operasi dan biaya maintenance setiap tahunnya lebih kecil dibandingkan dengan sistem pertukaran kalor lama.
2. Perusahaan sebaiknya mengadakan peningkatan sumber daya manusia di bidang teknik dengan memberikan program-program pelatihan agar dapat mengaplikasikan sistem proses yang lebih efektif dan lebih efisien, sesuai dengan kebijakan mutu perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abichoiri Hasbu, *Satuan Pengukuran dan Faktor Konversi*, Untuk Kalangan Sendiri, PT. Arun Natural Gas and Liquefaction Co.
2. Agus Sudiby (1996) *Pengendalian Mutu Pada Industri Minyak dan Lemak Pangan*. Departemen Perindustrian dan Perdagangan, Bogor.
3. Blocker, Jhon G, and Wletmer W. Keith (1955) *Cost Accounting*, Third Edition, McGraw-Hill Book Company (Chemical Engineering Series).
4. Donald Q, Kern (1950) *Proccess Heat Transfer*, International Edition, McGraw-Hill Book Company (Chemical Engineering Series).
5. Hadi Broto S (1977) *Masalah Akuntansi*, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Indonesia.
6. Hartarto D. (1981) *Akuntansi Untuk Usahawan*, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Indonesia.
7. J.P. Holman, Alih Bahasa Ir. E. Jasifi, M.Sc, (1995) *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga Jakarta.
8. Kalr T. Ulrich and Steven D. Eppinger, Alih Bahasa Nora Azmi (2001) *Perancangan dan Pengembangan Produk*, Penerbit Salemba Teknika.
9. Poul de Garmo and Jhon R. (1973) *Engineering Economy*, Mac Millan Publishing Co, New York.
10. Technical Department PT. Prakarsa Langgeng Maju Bersama, *Heat Transfer*, Untuk kalangan sendiri.