

PENGEMBANGAN CHILLER SUSU DENGAN PENUKAR PANAS TIPE SIRIP

Development of Milk Chiller with Fin Type Heat Exchanger

Supriyanto dan Uning Budiharti¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan chiller susu dengan fungsi utama mendinginkan susu, dari suhu awal (28 °C) ke suhu aman (3 °C) dalam waktu maksimal 1 jam, sehingga diharapkan mikroba yang sudah ada tidak berkembang lebih lanjut. Sistem yang digunakan adalah ice bank, yaitu suatu sistem yang mampu menyimpan dan mendinginkan air dalam jumlah besar dengan suhu sampai dibawah titik beku air. Chiller difungsikan untuk mendinginkan susu sebelum susu disimpan dalam cooling unit. Hasil uji verifikasi menunjukkan bahwa chiller mampu menurunkan suhu susu sebanyak 80 ltr dengan kecepatan penurunan suhu 0,88 °C/menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penukar kalor tipe sirip seperti yang dikembangkan pada prototipe ini, mempunyai selisih 4 °C dari suhu yang diinginkan.

Kata kunci: Rancang bangun, chiller susu, penukar panas tipe sirip

ABSTRACT

The objective of the reseach was to design and develop a milk chiller to decrease milk temperature from the initial of 28 °C to the safe temperature of 3 °C in a short period (1 hour maximum), so that microbes did not develop any further. The chiller was an ice bank system using a chamber to store water cooler in large volume mixed with anti-freezing substance. Chiller was used to decrease milk temperature before storing in a cooler. Verification test results showed that chiller with the ice bank temperature of 2 °C was able to reduce the 80 litre milk temperature from 28 °C to 6 °C in 25 minutes. Result showed that to reach the milk temperature of 3 °C, the temperature of water in the bank must be set – 1 °C. Additionally, the fin type heat exchanger system in this chiller had a temperature difference of 4 °C compared to the desired temperature.

Keywords: Design, milk chiller, fin type heat exchanger

PENDAHULUAN

Susu merupakan komoditi peternakan yang mudah rusak diakibatkan oleh serangan bakteri/kapang serta pembusukan akibat reaksi kimia dari rantai proses penghancuran sehingga kecepatan pemrosesan setelah pemerahan susu sangat menentukan kualitas hasil akhir.

Kualitas susu yang dijual oleh koperasi susu di Indonesia pada saat ini masih rendah. Apabila standar mutu di Uni Eropa yaitu di bawah 100.000 CFU/ml (CFU = *Colony Forming Unit*) (Anonim, 1995), maka akan banyak susu yang ditolak oleh Industri Pengolahan Susu (IPS); oleh karena itu di Indonesia diberlakukan suatu standar minimal yang dikonversi ke dalam harga beli. Semakin baik kualitas

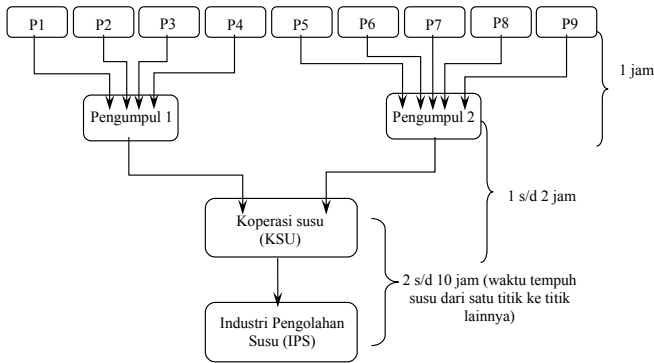
susu, semakin tinggi harga jualnya ke IPS, begitu sebaliknya semakin rendah kualitas susu maka semakin rendah harga jualnya.

Tingkat kerusakan susu di Indonesia masih sangat tinggi, yaitu mencapai 30 % dari total produksi. Kerusakan pada umumnya diakibatkan oleh tidak higienisnya pemerahan, serta lambatnya proses penurunan suhu susu dari 28 °C ke 3 °C.

Sistim pengembangan peternakan sapi perah di Indonesia yang memisahkan antara peternak sebagai produsen, koperasi sebagai pengumpul, dan IPS sebagai pengguna produk, mengakibatkan rantai perjalanan susu dari peternak sampai IPS menjadi sangat panjang dan membutuhkan waktu yang lama untuk sampai ke pusat pengolahan (Gambar 1). Sedang

¹ Perekayasa di BPP Mektan, Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian (BPP Mektan), Situgadung, Legok, Tromol Pos 2, Serpong, Kabupaten Tangerang, Banten 15310

pemrosesan awal untuk mencegah berkembangnya mikroba, baru dapat dilakukan di tingkat koperasi, karena pada tingkat tersebut tersedia peralatan pengolahan susu (*cooling unit*), sehingga mikroba yang telah ada pada saat pemerahan dapat dicegah perkembangannya.



Gambar 1. Rantai pengumpulan susu dari tingkat peternak sampai ke Industri Pengolahan Susu (IPS).

Koperasi mendapatkan susu dari anggota. Satu koperasi susu (KSU) mempunyai puluhan bahkan ratusan anggota peternak sapi perah yang lokasinya tersebar di sekitar KSU. Pengiriman susu dari anggota biasanya dilakukan 2 kali yaitu pagi dan sore. Susu yang diperah pada pagi hari akan langsung dikirim ke IPS pada siang hari, sedang yang diperah sore hari baru keesokan harinya dikirim ke IPS. Sehingga ada jeda waktu tertentu untuk mengumpulkan susu. Selama waktu menunggu tersebut susu seharusnya didinginkan sampai 3 °C agar bakteri yang telah ada tidak berkembang.

Guna mendinginkan susu, KSU pada umumnya menggunakan alat yang disebut *cooling unit* (tangki penyimpanan susu pada suhu 3 °C) yang berfungsi sebagai alat penyimpanan

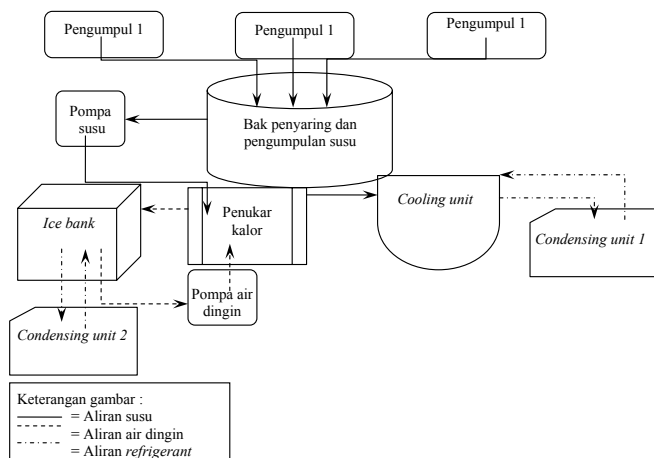
susu pada suhu rendah. Alat ini tidak mempunyai kemampuan untuk menurunkan suhu susu dengan cepat. Paling tidak dibutuhkan waktu sekitar 3 sampai 5 jam untuk menurunkan suhu dari 28 °C sampai dengan suhu aman, yaitu 3 °C, tergantung kapasitas *cooling unit* yang dipergunakan. (Gambar 2).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *chiller* susu yang fungsi utamanya adalah mendinginkan susu dari suhu awal (28 °C) ke suhu aman (3 °C) dalam waktu maksimal 1 jam, sehingga diharapkan mikroba yang sudah ada tidak berkembang lebih lanjut. Setiap suhu turun sebesar 8 °C maka kemampuan mikroorganisme untuk berkembang akan menurun sebesar 50 % (Winarno,1993)

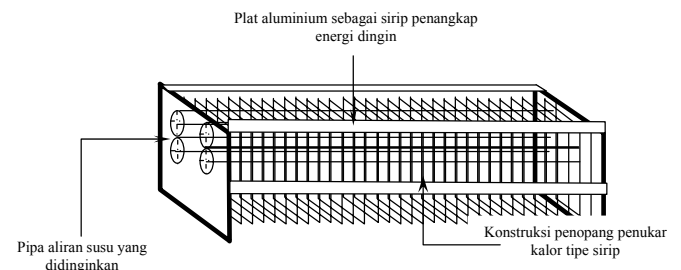
Chiller adalah alat yang dapat digunakan untuk menurunkan suhu susu dalam waktu yang cepat. Sistem yang digunakan adalah *ice bank*, yaitu alat yang mampu menyimpan dan mendinginkan air dalam jumlah yang besar. Agar air tetap dalam kondisi cair pada kondisi suhu di bawah titik beku maka air pada *ice bank* dapat dicampur dengan zat anti beku.

Awalnya *condensing unit* mendinginkan air dalam jumlah yang besar sampai - 1 °C, setara atau sedikit lebih besar dari jumlah susu yang akan didinginkan. Kemudian suhu yang ada di dalam *ice bank* ditransfer ke susu dengan menggunakan penukar kalor, sehingga suhu susu turun (Gambar 4).

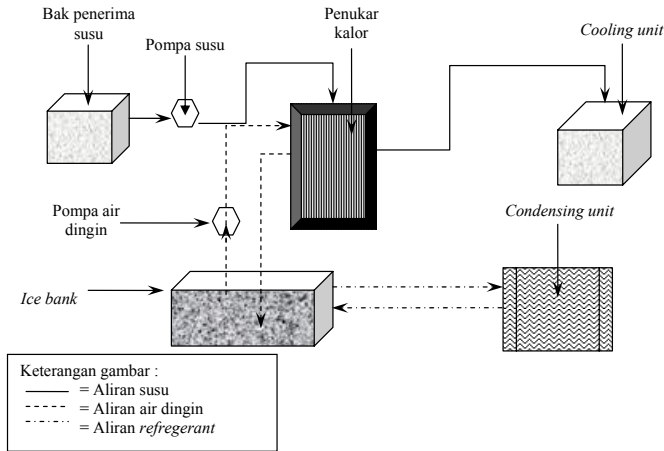
Penukar kalor (*heat exchanger*) adalah komponen utama dari *chiller* susu yang berfungsi mentransfer energi dingin dari *ice bank* ke susu. Terdapat berbagai macam penukar kalor yang dikenal banyak digunakan pada proses pendinginan susu, yang umum dipakai adalah tipe *plate* (berupa tumpukan plat yang digabungkan menjadi satu), dimana setiap plat mempunyai profil sehingga pada saat disatukan akan terbentuk lubang. Pada lubang tersebut air dingin dan susu saling mentransfer energi yang dibatasi oleh plat. Hal ini berbeda pada tipe sirip, dimana susu yang didinginkan disalurkan di dalam pipa yang pada bagian luarnya diberi sirip (plat berlubang yang dimasukkan ke dalam pipa) (Gambar 3) yang berfungsi sebagai bidang penangkap energi dingin yang kemudian disalurkan ke dalam pipa untuk mendinginkan susu, dan keseluruhan penukar kalor di rendam di dalam *ice bank*.



Gambar 2. Skema penggunaan *chiller* dalam penerapannya pada sistim pendingin susu di tingkat koperasi.



Gambar 3. Gambar penukar kalor tipe sirip.



Gambar 4. Diagram pendinginan susu dengan menggunakan *chiller* sebelum masuk ke *cooling unit*

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini meliputi bahan rekayasa (bahan pembuatan mesin), bahan uji, dan bahan pembantu. Bahan rekayasa terdiri dari plat *stainless steel* seri 304 untuk bagian yang tidak tersentuh susu dan seri 316 untuk bagian yg tersentuh susu, besi kanal, *condensing unit* (1 HP), *evaporating unit* (1 HP), penukar kalor, *polyurethan*, dan panel boks. Bahan uji berupa susu sapi segar yang dibeli langsung di lokasi peternakan dan pengujian langsung dilokasi. Bahan pembantu meliputi gas argon, kawat las *stainless steel* seri 304 dan 316, amplas, cairan pembersih hasil las, tungsol, dan piringan gerinda potong.

Pada proses uji fungsional maupun uji verifikasi digunakan peralatan ukur, seperti thermometer standar (tabung kaca) yang digunakan sebagai patokan suhu untuk melakukan setting pada thermometer elektronik. Pengukuran suhu pada susu menggunakan thermometer infrared sehingga pada saat pengukuran suhu dapat dilakukan tanpa menyentuh bahan yang diukur suhunya.

Rancangan Fungsional

Secara fungsional alat ini mempunyai dua fungsi utama yang bekerja secara terintegrasi. Bagian pertama adalah *ice bank* yang berfungsi mengumpulkan energi untuk digunakan pada saat kerja untuk menurunkan suhu susu, dan bagian kedua adalah alat yang berfungsi memindahkan energi dingin yang ada pada air yang berasal dari *ice bank* ke susu yang akan diturunkan suhunya.

Pada kegiatan ini kapasitas alat yang dirancang adalah 80 ltr susu per jam sehingga jumlah energi yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu susu dari 28 °C ke 3 °C adalah:

- Suhu awal susu (T_1) = 28 °C
- Suhu akhir susu (target) (T_2) = 3 °C
- Jumlah susu yang akan didinginkan (W) = 80 ltr (B_j susu = 1030 kg/m³) = 82,4 kg
- Panas jenis susu (C_p) = 0,517 kcal/kg (1Btu/lb = 5/9 kcal/kg)
- Kebutuhan (E_{susu}) energi untuk mendinginkan susu dari 28 ke 3 °C = $(T_1 - T_2) \times (C_p) \times W$ = $(28 - 3) \text{ °C} \times (0,517 \text{ kcal/kg}) \times 82,4 \text{ kg}$ = 1.065,02 kcl/kg
- Faktor tingkat keberhasilan = 20%
- Total kebutuhan energi aktual untuk mendinginkan susu = 1.278,02 kcal/kg

Berdasarkan kebutuhan energi guna pendinginan susu sebanyak 80 lt, maka jumlah air yang akan didinginkan pada *ice bank* dirancang mempunyai volume 5 (lima) kali lebih banyak dibanding jumlah susu yang akan didinginkan, hal ini dengan pertimbangan *chiller* susu akan bekerja secara kontinyu dengan jeda waktu 15 menit, maka energi untuk mendinginkan air adalah sebagai berikut :

- Suhu awal air (t_1) = 19 °C
- Suhu akhir air (t_2) = 2 °C
- Jumlah air yang akan didinginkan = 400 ltr (B_j air = 1000 kg/m³) = 400 kg
- Panas jenis air (C_p) = 0,56 kcal/kg
- Kebutuhan energi (E_{air}) untuk mendinginkan air dari 19 ke 2 °C = $(T_1 - T_2) \times (C_p) \times W$ = $(19 - 2) \text{ °C} \times 0,56 \text{ kcal/kg} \times 400 \text{ kg}$ = 3.808 kcal/kg
- Kemampuan *ice bank* mensuplai energi untuk mendinginkan susu dengan kapasitas *chiller* 80 ltr/jam : $(E_{air}) : (E_{susu})$ = $3.808 \text{ kcal/kg} : 1.278,02 \text{ kcal/kg} = 2,98$ Kali (dengan demikian alat akan mampu mendinginkan susu secara terus menerus tanpa jeda waktu untuk tiga kali ulangan).

Kebutuhan *condensing unit* dapat diperhitungkan dengan waktu pendinginan *ice bank* yang tersedia, dimana biasanya pemerahan susu oleh peternak hanya terjadi pada pagi hari dan sore hari, jadi terdapat jeda waktu sebesar 8 jam, dengan demikian kebutuhan *condensing unit* adalah sebagai

- *Condensing unit* 1 HP berdasarkan spesifikasinya mampu menghasilkan energi pendinginan sebesar = 1 ton *refrigeran* = 159.999,99 kcal/kg (24 jam) \approx 6.666,66 kcal/kg (1 jam).
- Berdasar kebutuhan energi total untuk mendinginkan air pada *ice bank*, maka untuk mendinginkan air pada *ice bank* dibutuhkan waktu (teoritis) :
 $= 14.991,28 \text{ kcal/kg} : 6.666,66 \text{ kcal/kg} = 4,047 \text{ jam}$.
- Dengan memperhitungkan faktor tidak dapat diprediksi serta pelepasan energi dingin melalui dinding pipa, bak pendinginan, serta mengatasi panas yang dikeluarkan oleh pompa susu maka angka keamanan diambil 50% maka waktu untuk mendinginkan air pada *ice bank* 6,0705 jam (teoritis).
- Berdasarkan perhitungan ini dipilih *condensing unit* 1 HP \approx 745,7 Watt.
- Pompa susu yang digunakan mempunyai debit aliran susu 480 ltr susu per jam.
- Penukar kalor tipe sirip yang digunakan mampu mentransfer energi sebesar 766,326 kcal/jam berarti dibutuhkan waktu 1 jam untuk menurunkan suhu susu dari 28°C ke 3 °C.

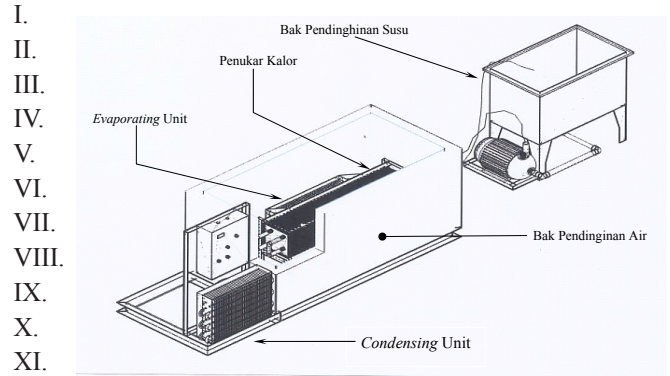
HASIL DAN PEMBAHASAN

Disain Konstruksi dari Chiller Susu

Chiller susu mempunyai tiga bagian utama, yaitu 1) *ice bank* yang terdiri dari bak tempat dimana air didinginkan, 2) *condensing unit* (merupakan mesin pendingin yang digunakan untuk menangkap energi dingin dari udara), dan 3) *evaporating unit* yang berfungsi untuk melepaskan dingin yang dihasilkan oleh *condensing unit* ke media air (Gambar 4 dan 5).

Sistim pendingin ini menggunakan *refregirant* R₂₂ yang mampu mencapai tingkat suhu - 20 °C. Guna mencegah air yang didinginkan membeku, maka pada air yang didinginkan dicampurkan zat anti beku sehingga suhu air dapat mencapai titik di bawah 0 °C. Perataan suhu air dilakukan dengan pemasangan agitator yang berfungsi mengaduk air sehingga suhu dapat merata keseluruh bagian air.

Mekanisme kerja mesin ini adalah sebagai berikut, pertama dilakukan pendinginan air pada sistem *ice bank* sampai mencapai suhu 2 °C, setelah itu susu masuk ke sistem penyaluran untuk didinginkan pada *ice bank chamber*, dengan mekanisme pindah panas pada penukar kalor, maka



Gambar 5. Konstruksi chiller susu.



Gambar 6. Komponen utama dari ice bank

temperatur susu akan turun mendekati temperatur pada *ice bank*. *Agitator* atau pengaduk digunakan pada *ice bank chamber* untuk mempercepat pindah panas serta meratakan suhu air. Kapasitas mesin ini adalah 80 liter/jam, sistem penukar kalornya adalah tipe sirip dengan sistem pendingin air dan kebutuhan listrik 1 HP atau 0,75 KW. Dimensi *chiller* susu disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi *chiller* susu

No.	Unit	Dimensi (mm)		
		Panjang	Lebar	Tinggi
1	Keseluruhan	3300	740	755
2	Penukar kalor	2022	740	680
3	Penampung susu	900	490	755

Pengujian tahap awal dilakukan terhadap *ice bank* untuk mengetahui kemampuan *condensing unit* mendinginkan air yang akan dipakai untuk mendinginkan susu. Dengan suhu awal 19 °C dan suhu akhir 2 °C dan jumlah air yang didinginkan 400 lt setara dengan 1944,104 kg, hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk mencapai kondisi tersebut *ice bank* membutuhkan waktu 4 jam dengan kecepatan penurunan suhu sebesar 4,25 °C/jam (Tabel 2). Secara teoritis seharusnya suhu serendah itu dapat dicapai dalam waktu 1,686 jam, sehingga terdapat selisih sebesar 2,314 jam.

Berdasarkan uji tersebut diatas maka, efisiensi sistem *ice bank* (Gambar 6) yang meliputi 3 bagian utama (*condensing unit*, *evaporator*, serta *ice bank chamber*) adalah sebesar 42,15 %. Hal ini menunjukkan bahwa sistem secara keseluruhan masih belum sempurna untuk mencegah pelepasan dingin keluar, dengan asumsi *compresor*, *condensor*, serta *evaporator* bekerja

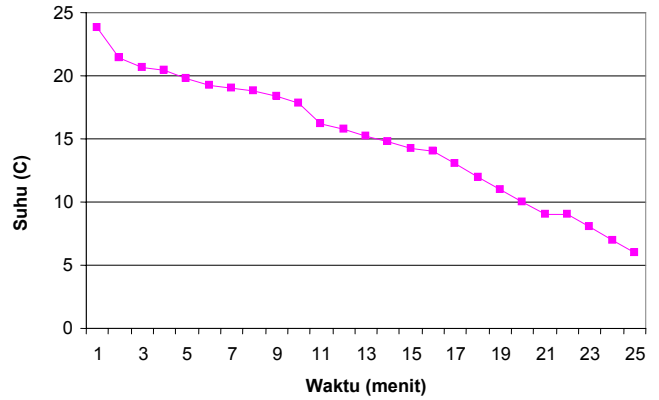
sesuai spesifikasi. Meskipun demikian pada bak dimana air didinginkan masih terdapat beberapa kelemahan. Pertama tutup bak tidak menggunakan tutup *double jacket* sehingga pelepasan dingin masih cukup besar, selain itu tebal *double jacket* hanya 7 cm dan dinding luar masih menyatu dengan dinding dalam sehingga perambatan dingin masih terjadi.

Selanjutnya air yang telah didinginkan digunakan untuk menurunkan suhu susu sebanyak 80 lt. Susu yang akan didinginkan dimasukkan terlebih dahulu ke dalam bak pendinginan susu, selanjutnya susu disirkulasi menggunakan pompa untuk masuk ke dalam penukar kalor yang terdapat di dalam bak air yang didinginkan. Proses sirkulasi ini terjadi berulang-ulang sampai suhu susu mencapai tingkat yang dikehendaki.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan suhu awal susu 23,8 °C setelah disirkulasi selama 25 menit maka suhu susu turun menjadi 6 °C (Tabel 2), setelah itu suhu tidak dapat menurun. Selanjutnya pengujian dilanjutkan dengan menurunkan suhu *ice bank* sampai 0 °C yang mampu menurunkan suhu susu menjadi 4 °C. Jadi dapat disimpulkan bahwa antara suhu *ice bank* dengan susu terdapat selisih 2 °C. Sehingga untuk mencapai suhu susu menjadi 3 °C maka suhu *ice bank* harus diturunkan menjadi - 1 °C.

Tabel 2. Hasil uji unjuk kerja *chiller* susu

Parameter	Nilai	Satuan
Kapasitas <i>chiller</i> susu	80	lt/jam
Waktu pendinginan <i>ice bank</i> dari 19°C ke 2°C	4	jam
Kecepatan penurunan suhu <i>ice bank</i> dari 19°C ke 2°C	4,25	°C/jam
Waktu pendinginan susu dari 23,8°C ke 6°C	25	menit
Kecepatan penurunan suhu susu dari 23,8°C ke 6°C	0.712	°C/menit
Efisiensi sistem <i>ice bank</i>	42,15	%



Gambar 7. Grafik penurunan temperatur susu di dalam *chiller*

KESIMPULAN

- Rancang bangun *ice bank* dengan efisiensi sebesar 42,15 % masih terlalu rendah (asumsi kompresor, *condensor*, ekspansi, dan *evaporator* sesuai dengan spesifikasi) sehingga perlu dilakukan perbaikan pada jaket pelindung dingin guna mencegah lepasnya dingin secara konduksi melalui rambatan pada logam yang menjadi bahan dari bak air yang didinginkan.
- Kecepatan pendinginan susu dari suhu 28 ke 6 °C dalam waktu 25 menit jauh lebih baik dibanding dengan menggunakan *cooling unit*, yang sebenarnya merupakan tempat penyimpanan susu dalam suhu rendah.
- *Ice bank* sangat cocok untuk digunakan di peternak sapi dengan kapasitas produksi 400 s/d 500 lt per hari, sehingga susu dapat cepat dilakukan proses pendinginan sebelum ditransportasi ke koperasi pengumpul.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (1995). *Dairy Processing Handbook*. Tetra Pak Processing System AB S-221 86 Lund, Sweden.

Winarno, F.G. (1993). *Pangan, Gizi, Teknologi dan Konsumen*. P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.