

Analisis Performansi Sistem Pembunuh Bakteri pada Susu Menggunakan *Heater*, Listrik Tegangan Tinggi, dan Sistem Refrigerasi

Cecep Sunardi¹, Tandi Sutandi², Ade Maulana³, Asep Kosasih⁴

¹Jurusan Teknik Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : csn_ra@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : ade.tandi@polban.ac.id

³Alumni Jurusan Teknik Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : ademaulana040@gmail.com

⁴Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Poltek Cirebon

E-mail: asepstikom62016@gmail.com

ABSTRAK

Minuman susu segar termasuk salah satu minuman favorit yang banyak dikonsumsi masyarakat, dan termasuk salah satu jenis minuman yang tidak dapat bertahan lama pada suhu lingkungan, akibat banyak sekali zat yang memicu bakteri untuk tumbuh dan berkembang biak dengan mudah di dalam susu. Pada penelitian ini dibahas tentang sistem pembunuh bakteri pada susu dengan menggunakan kombinasi sistem refrigerasi, *heater* dan listrik tegangan tinggi. Pada tahap awal susu segar dengan jumlah 4 liter dipanaskan oleh *heater* hingga mencapai suhu pasteurisasi (60°C – 70°C), kemudian diberi tegangan tinggi listrik (25 kv) dan terakhir suhunya dipertahankan pada 4°C dengan sistem refrigerasi. Setelah proses-proses tersebut didapatkan hasil bahwa untuk mencapai suhu pasteurisasi dibutuhkan 844.800 Joule dalam waktu 40 menit. Tegangan listrik tinggi yang dikeluarkan *flyback* selama 5 menit mampu membunuh sebagian bakteri di dalam susu dan untuk mencapai suhu 4°C pada sistem refrigerasi butuh waktu 120 menit. Dengan proses-proses tersebut sistem berhasil menurunkan kuantitas bakteri di dalam susu.

Kata Kunci

Sistem pembunuh bakteri, pasteurisasi, listrik tegangan tinggi, sistem refrigerasi, susu segar

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya pengetahuan masyarakat yang berkaitan dengan peternakan, maka semakin tinggi pula tingkat perkembangan masyarakat yang ikut andil di dalam peternakan. Susu sapi misalnya, sekarang jumlah peternak susu sapi perah menurut Badan Statistika Indonesia di tahun 2016 ada 852.951 peternak, sehingga memungkinkan menjadi salah satu barometer kemajuan perekonomian di Indonesia. Ditinjau dari perkembangan itu sudah sangat jelas perlu adanya perhatian khusus dari berbagai pihak misalnya pemerintah atau orang-orang berpendidikan di bidangnya untuk menangani masalah-masalah yang dihadapi oleh para peternak sapi. Pada dasarnya, penanganan permasalahan yang mungkin muncul dapat diatasi oleh adanya teknologi yang semakin hari semakin berkembang dalam kehidupan manusia, masyarakat perlu dikenalkan dan diedukasi terkait teknologi untuk mengatasi setiap masalah yang muncul dari para peternak ketika proses pemerahan susu berlangsung atau pada pasca pemerahan. Jika hal tersebut diabaikan, akan timbul kerugian atau kesulitan yang dihadapi para peternak sapi. Cara beternak sapi perah pada umumnya masih bersifat tradisional

sehingga peternak perlu dibekali pengetahuan tentang sanitasi peralatan pemerahan dan air untuk memperpanjang daya tahan produk susu sekaligus menekan pencemaran mikroorganisme [1].

1.1 Bakteri pada susu

Menurut Sanjaya et al. [4], susu yang dipanen selalu mengandung mikroba. Pencemaran dapat masuk melalui puting susu hewan. Usmiati dan Nurdjannah [5] menjelaskan bahwa pemerahan secara manual menimbulkan kontaminasi bakteri dengan jumlah cukup banyak dan semakin bertambah saat susu dikumpulkan di tempat penampungan. Total mikroba yang terdapat pada susu di KUNAK Bogor sebanyak $2,8 \times 10^5$ cfu/ml. Total mikroba pada peternakan sapi perah di Cisarua Bandung sebanyak $3,5 \times 10^6$ cfu/ml [6]. Hasil penelitian Usmiati dan Nurdjannah [5] menunjukkan bahwa TPC di daerah KUD Sarwamukti dan Tandangsari Sumedang masing-masing sebesar $1,32 \times 10^8$ cfu/ml dan $4,86 \times 10^6$ cfu/ml. TPC di daerah Semarang sebesar $1,1 \times 10^6$ cfu/ml.

Selain mengandung berbagai nutrisi yang baik bagi tubuh, ternyata terdapat bakteri jahat semisal

Escherichia coli, Klebsiella, Shigella, Enterobacter, Pseudomonas, dan Staphylococcus aureus di dalam susu.

1.2 Jenis-jenis pengelolaan susu

1.2.1 Kejut listrik tegangan tinggi

Kejut listrik tegangan tinggi (*pulsed electric field*) menyebabkan mikroorganisme yang terkandung pada susu mati. Kematian dapat terjadi akibat aktivitas metabolisme yang sudah tak normal. Kejutuan meningkatkan metabolisme tubuh sel terlalu tajam sehingga mengganggu kerja dan fungsi fisiologis sel. Sistem pengawetan kejut medan listrik menggunakan intensitas medan listrik yang tinggi terdiri dari sejumlah komponen, meliputi sumber energi (*power source*), kapasitor tumbol, wadah proses (*treatment chamber*), voltase, probe aliran listrik, serta peralatan pengemasan aseptis.

Produk susu ditempatkan pada ruang kejut medan listrik (*static chamber*) atau dipompakan melalui ruang kejut medan listrik kontinu (*continuous chamber*), kemudian dikemas dengan peralatan pengemasan aseptis.

Metode ini menggunakan medan listrik dengan intensitas tinggi. Aliran listrik diberikan pada produk susu dengan waktu singkat beberapa mikrodetik sampai milidetik (1×10^{-6} sampai 1×10^{-3} detik).

1.2.2 Sistem refrigerasi

Menurut Dossat [7], refrigerasi merupakan suatu proses penarikan kalor dari suatu benda/ruangan ke lingkungan sehingga temperatur benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperatur lingkungannya. Kinerja mesin refrigerasi kompresi uap ditentukan oleh beberapa parameter, di antaranya adalah kapasitas pendinginan, kapasitas pemanasan, daya kompresi, koefisien kinerja dan faktor kinerja. Kinerja sistem refrigerasi ditentukan oleh COP (*coefficient of performance*) dengan persamaan :

$$\text{COP}_{\text{aktual}} = \frac{q_e}{q_w} \quad (1)$$

dengan :

q_e = besarnya kalor yang diserap oleh evaporator

q_w = besarnya kerja kompresi

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (2)$$

dengan :

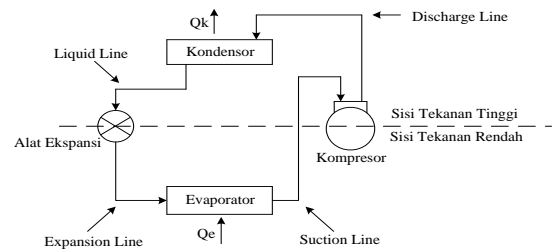
T_e = temperatur evaporasi

T_k = temperatur kondensasi

Sesuai dengan konsep kekekalan energi, panas tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat dipindahkan. Sehingga refrigerasi selalu berhubungan dengan proses-proses aliran panas dan perpindahan panas.

Minuman susu segar tidak akan bertahan lama pada suhu lingkungan, tetapi dengan sistem refrigerasi yang dioperasikan pada suhu $1^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}$ akan mampu bertahan sampai tiga hari [8].

Pada sistem refrigerasi mekanik kompresi uap, seperti pada Gambar 1, terdapat rangkaian dari empat komponen utama, yaitu: evaporator, kompresor, kondenser dan alat pengontrol aliran refrigeran/alat ekspansi [7].



Gambar 1 . Sistem refrigerasi kompresi uap

1.2.3 Heater

Heater atau pemanas listrik adalah suatu alat dimana energi listrik diubah menjadi energi panas. Alat ini memiliki elemen pemanas, yang merupakan piranti pengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *joule heating*. Prinsip kerjanya adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen tersebut. Sesuai dengan bunyi Hukum Joule ke-1 yaitu “pembentukan panas per satuan waktu akan berbanding langsung dengan kuadrat arus”, maka :

$$Q = V.I.t \quad (3)$$

dengan,

Q = panas yang ditimbulkan oleh arus listrik (joule)

V = tegangan listrik (volt)

I = arus (A)

t = waktu (s)

Gambar 2 adalah contoh dari sebuah elemen pemanas. Untuk proses pasteurisasi pada susu segar diperlukan pemanasan suhu antara $60^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$, sehingga dapat membunuh bakteri.



Gambar 2. Elemen pemanas

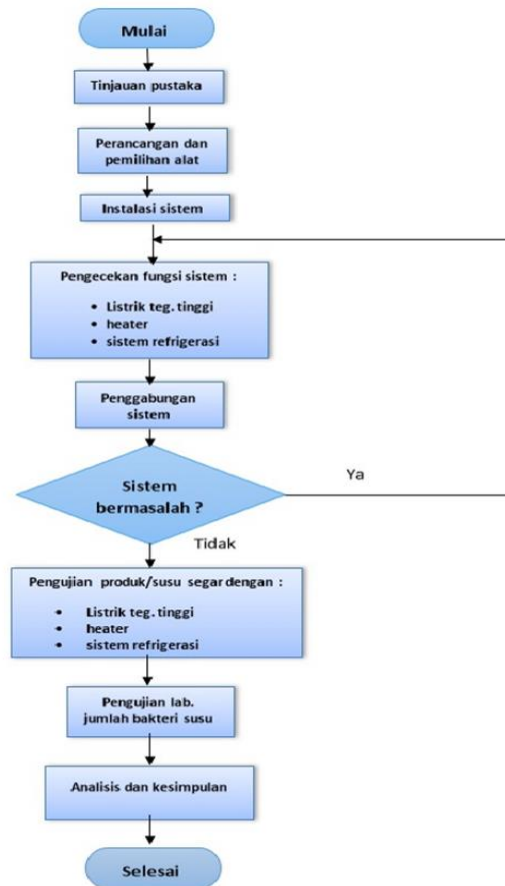
Pada penelitian ini *heater* tersebut akan dikombinasikan dengan listrik tegangan tinggi dan sistem refrigerasi yang digunakan sebagai pembunuh bakteri pada susu segar.

2. METODE PENELITIAN

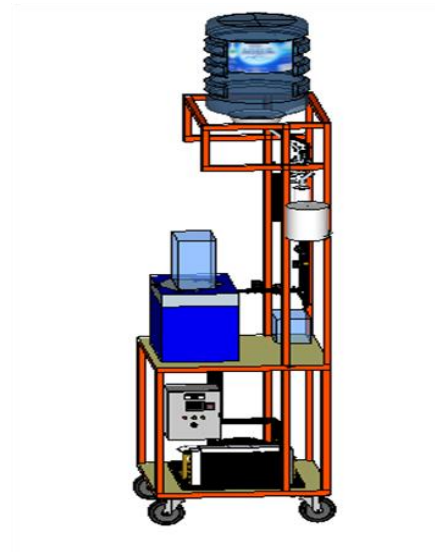
Secara umum ada empat tahapan yaitu : studi pustaka, perancangan, instalasi sistem dan pengujian. Setelah pengumpulan bahan dan alat-alat pendukung lainnya, dilanjutkan pada proses instalasi sistem, yang terdiri dari tiga proses yaitu : pembuatan *driver* listrik tegangan tinggi, instalasi *heater* dan sistem refrigerasi kompresi uap. Kemudian komponen-komponen tersebut digabungkan menjadi satu kesatuan. Gambar 3 memperlihatkan tahapan-tahapan berupa *flowchart* proses penelitian ini.

Kombinasi komponen-komponen selengkapnya bisa dilihat pada Gambar 4 dimana sistem ini mengkombinasikan teknologi yang sudah ada untuk dikemas menjadi satu kesatuan dalam satu sistem yang dikhususkan untuk penanganan bakteri pada susu segar.

Cara kerja sistem tersebut, pertama menggunakan *heater* untuk proses pasteurisasi, kemudian listrik tegangan tinggi, sebuah perangkat khusus yang dibuat menggunakan *driver* dan transformator *flyback* sehingga input listrik yang masuk pada *driver flyback* dapat diubah menjadi beberapa kali lipat. Keluaran dari *flyback* ini akan digunakan untuk proses pembunuhan bakteri fase kedua setelah pemanasan dengan *heater*, listrik yang dihasilkan dari transformator itu akan disalurkan menuju pipa stainless steel yang terhubung langsung menuju produk susu dan secara otomatis akan membunuh bakteri di dalamnya. Tahap terakhir adalah pendinginan susu pada suhu 4°C dengan sistem refrigerasi.



Gambar 3. *Flow chart* pengujian susu



Gambar 4. Kombinasi sistem pembunuh bakteri pada susu

Peralatan yang digunakan pada sistem adalah kondensing unit yang terdiri dari kompresor dan kondensor serta cooling unit yang terdiri dari evaporator dan katup ekspansi juga heater dan flyback . Peralatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Condensing unit dengan spesifikasi: Hermetic comp. AE 1390Y.

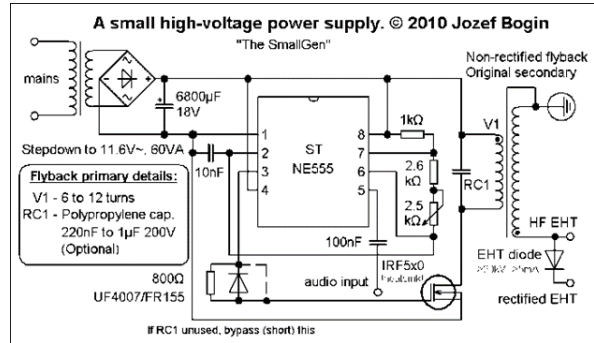


Gambar 6. Heater pemanas susu (220V; 1.6A.)

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Listrik Tegangan Tinggi

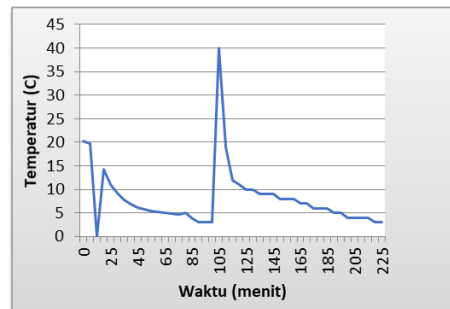
Pada saat penggunaan driver dengan rangkaian seperti pada Gambar 7, hasilnya cukup memuaskan dan cukup efektif untuk digunakan pada susu dengan penggunaan waktu yang relatif lebih lama. Daya tahan juga lebih lama dan listrik yang keluar cukup besar serta input yang dimasukkan ke rangkaian dapat diatur sesuai kebutuhan. Pada akhirnya sebagai parameter keberhasilan dari *driver* yang digunakan, maka listrik yang keluar dari *flyback* langsung diaplikasikan kepada objek ikan dan hasilnya ikan yang digunakan sebagai percobaan menjadi mati, karena menerima tegangan listrik pada media air.



Gambar 7. Rangkaian *driver flyback* penghasil tegangan tinggi

3.2 Sistem Refrigerasi

Awalnya Sistem refrigerasi dijalankan untuk mendinginkan air sampai dengan temperatur mencapai 4°C dalam waktu 95 menit, lalu susu dengan temperatur 60°C didinginkan oleh air sebelumnya yg telah mencapai suhu 4°C, dan susu terus turun temperturnya sampai suhu 4°C dalam waktu 120 menit. Pada Gambar 8 terlihat proses pendinginan air untuk pendinginan susu.



Gambar 8. Suhu air pada proses pendinginan susu.

Didapat data-data dari sistem refrigerasi pada menit ke 210, seperti Tabel 1 berikut :

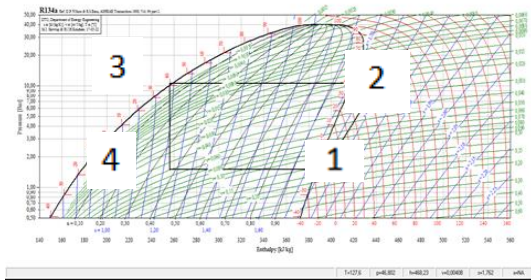
Tabel 1 Data parameter sistem refrigerasi menit ke 210

NO	Parameter	Keterangan	satuan
1	$T_{suction}$	-6	Celcius
2	$T_{discharge}$	58,3	Celcius
3	$T_{out kondensor}$	36,9	Celcius
4	$P_{suction}$	0,5	bar
5	$P_{discharge}$	9,6	bar

Setelah mendapatkan data-data maka kemudian mengubah satuan tekanan *discharge* dan *suction* dari

satuan *bar gauge* ke satuan *bar absolute* dengan menambahkan 1 atm, maka didapat yaitu :
 $P_d = 10,6$ bar abs.
 $P_s = 1,5$ bar abs.
 Nilai T_s di kurang 3 menjadi -9°C

Dan nilai T_d di tambah 3 menjadi $61,3^\circ\text{C}$, T_{out} di tambah juga 3 menjadi $39,9^\circ\text{C}$. Kemudian plot data yang diperoleh ke diagram P-h menggunakan *software coolpack*, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 9 berikut :



Gambar 9. Diagram P-h data menit ke 210

Dengan menggunakan diagram pressure-enthalpy maka dapat diperoleh nilai enthalpy sebagai berikut :

$$h_1 = 393,886 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 441,650 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 256,001 \text{ kJ/kg}$$

- Besarnya kerja kompresi (q_w)
 $q_w = h_2 - h_1$
 $= 441,650 \text{ kJ/kg} - 393,886 \text{ kJ/kg}$
 $= 47,764 \text{ kJ/kg}$
- Besarnya kalor yang dilepas oleh kondensator (q_c)
 $q_c = h_2 - h_3$
 $= 441,650 \text{ kJ/kg} - 256,001 \text{ kJ/kg}$
 $= 185,649 \text{ kJ/kg}$
- Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator (q_e)
 $q_e = h_1 - h_4$
 $= 393,886 \text{ kJ/kg} - 256,001 \text{ kJ/kg}$
 $= 137,885 \text{ kJ/kg}$
- $COP_{\text{aktual}} = \frac{q_e}{q_w}$
 $COP_{\text{aktual}} = \frac{137,885 \text{ kJ/kg}}{47,764 \text{ kJ/kg}}$
 $COP_{\text{aktual}} = 2,88$

- COP_{carnot}
 $= \frac{T_e}{T_k - T_e} = \frac{255,98}{314,72 - 255,98} = 4,35$

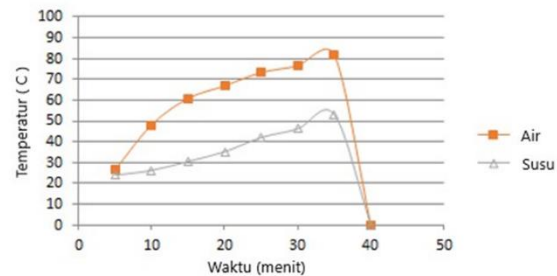
- Efisiensi sistem
 $\eta_{\text{ref}} = \frac{COP_{\text{aktual}}}{COP_{\text{carnot}}} \times 100\%$

$$\eta_{\text{ref}} = \frac{2,88}{4,35} \times 100\%$$

$$= 66\%$$

3.3 Heater

Heater adalah salah satu komponen yang digunakan pada sistem, dimana fungsinya adalah sebagai alat yang digunakan untuk proses pasteurisasi susu. Heater tidak langsung memanaskan susu, tetapi memanaskan air , kemudian air memanaskan susu sampai temperatur pasteurisasi dalam waktu 40 menit. Pada Gambar 9 terlihat perbandingan temperatur air dan susu.



Gambar 10. Perbandingan suhu air dan susu pada proses pasteurisasi.

Tabel 2. Perbandingan suhu Air dan susu

Waktu	suhu air ($^\circ\text{C}$)	Suhu susu ($^\circ\text{C}$)	ΔT ($^\circ\text{C}$)
5	26,4	23,9	2,5
10	48,1	26,2	21,9
15	60,8	30,5	30,3
20	66,9	35,2	31,7
25	73,3	42	31,3
30	76,5	46,2	30,3
35	81,8	53,1	28,7
40	78.3	53.6	24,7

Dari Tabel 2 di atas dapat diketahui besarnya kalor yang dihasilkan oleh arus listrik selama selang waktu yang digunakan, sesuai dengan persamaan (3) dengan $V = 220$; $I = 1,6$ A; $t = 40$ menit atau 2400 s.

Maka nilai dari :

$$Q = V.I.t$$

$$Q = 220 \text{ volt} . 1,6 \text{ A} . 2400\text{s}$$

$$Q = 844,800 \text{ joule}$$

Jadi jumlah kalor yang dihasilkan selama selang waktu 40 menit adalah sebesar 844,800 joule.

Susu yang sudah diproses dengan kombinasi tersebut, kemudian diuji jumlah bakterinya dan didapatkan hasilnya seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Penurunan kuantitas bakteri pada susu berdasarkan hasil uji laboratorium.

Sampel awal	Setelah proses <i>heating</i>	Setelah listrik tegangan tinggi	Hasil proses kombinasi
+++++	+++++	+++++	+++++

Tanda + menunjukkan kuantitas bakteri di dalam susu setelah uji laboratorium kimia.

4. KESIMPULAN

1. Sistem dengan kombinasi *heater*, listrik tegangan tinggi dan sistem refrigerasi telah berhasil membunuh bakteri di dalam susu, terbukti dengan hasil uji laboratorium yang menunjukkan penurunan kuantitas jumlah bakteri.
2. Untuk mencapai suhu pasteurisasi (60°C – 70°C) dibutuhkan 844.800 Joule dengan menggunakan *heater* dalam waktu 40 menit.
3. Untuk mencapai temperatur 4°C agar bakteri pada susu segar terhambat perkembangannya, pada sistem refrigerasi butuh waktu 120 menit, dan pada proses tersebut didapat performansi sistem : efsiensinya sebesar 66% dengan COP_a rata-rata sebesar 2,88; COP_c sebesar 4,35.
4. Berdasarkan spesifikasi *drivernya*, *flyback* mampu menghasilkan tegangan yang sangat besar sekitar 25 kv – 30 kv, dan berhasil membunuh bakteri pada susu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Politeknik Negeri Bandung. Terima kasih kepada staf teknis dan rekan-

rekan dosen Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara dimana penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lukman DW, Sudarwanto M, Sanjaya AW, Purnawarman T, Latif H, Soejoedono RR, " Higiene Pangan", Kesehatan Masyarakat Veteriner, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor, Bogor , 2009.
- [2] Everitt, B., T. Ekman and M. Gyllenward, " Monitoring Milk Quality and Adder Health in Swedish ", AMS Herds. Proc. of the 1st North American Conference on Robotic Milking. p V–72.Gustian, 2002.
- [3] Saleh,E.,"Dasar Pengolahan Susu Dan Hasil Ikutan Ternak ", Sumatera Utara. 2004
- [4] Sanjaya AW. Sudarwanto M, Lukman Dw Latif H., " Higene Pangan", Departemen Ilmu Penyakit Hewan Dan Kesehatan Masyarakat Veteriner, FKH-IPB, Bogor, 2007.
- [5] Usmiati, S dan Nurdjannah, "Perbandingan kualitas susu sapi peternak anggota KUD Sarwamukti dan KSU Tandangsari: Studi kasus", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner, Puslitbangnak 21-22 Agustus 2007. Bogor-Indonesia, 2007.
- [6] Budiyanto dan Usmiati, "Pemerahan Susu Secara Higienis Menggunakan Alat Perah Sederhana", Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. 2008.
- [7] Dossat, Roy J. "Principle of Refrigeration 2nd Edition". United States of America. JohnffWiley & Son. Inc, 1981
- [8] <https://kedaimilimilk.com/2015/11/10/cara-menyimpan-susu-murni/> 9 April 2020