

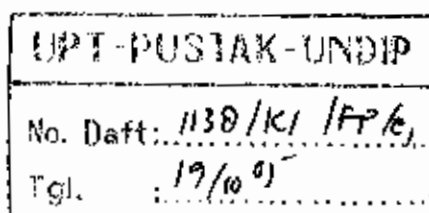
DIKTAT KULIAH

**SIFAT KIMIAWI, FISIK DAN
MIKROBIOLOGIS SUSU**



Disusun Oleh:

Dr. Ir. Anang Mohamad Legowo, MSc.



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL TERNAK
FAKULTAS PETERNAKAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2002**

KATA PENGANTAR

Diktat kuliah dengan judul “Sifat kimiawi, fisik dan mikrobiologis susu” ini disusun untuk menunjang perkuliahan Dasar Teknologi Hasil Ternak yang merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa dari 4 (empat) Program Studi S1 di Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro.

Dalam beberapa pokok bahasan pada mata kuliah Dasar Teknologi hasil Ternak mencakup pembahasan sifat-sifat komoditas peternakan seperti susu, daging, telur dan hasil ikutan. Khusus untuk komoditas susu, dibahas tentang sifat-sifat kimiawi, fisik dan mikrobiologisnya.

Diktat ini diharapkan dapat membantu pemahaman mahasiswa mengenai isi perkuliahan, disamping mahasiswa tetap disarankan merunut beberapa pustaka yang dijadikan acuan.

Semoga diktat ini bermanfaat bagi mahasiswa dan para pembaca. Masukan dan saran sangat diharapkan untuk penyempurnaan isi tulisan ini dimasa mendatang.

Semarang, Agustus 2002

Penulis,

Anang Mohamad Legowo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
BAB II. SIFAT KIMIAWI SUSU.....	3
2.1. Komposisi Susu dari Beberapa Spesies.....	3
2.2. Faktor yang Mempengaruhi Komposisi Susu.....	5
2.3. Susu Sebagai Cairan	9
2.4. Bahan Padat didalam Susu	10
BAB III. SIFAT FISIK SUSU.....	26
3.1. Arti Penting sifat Fisik Susu.....	26
3.2. Warna.....	27
3.3. Rasa dan Bau.....	27
3.4. Bobot Jenis.....	28
3.5. Viskositas.....	29
3.6. pH dan Keasaman.....	30
3.7. Titik Beku.....	32
3.8. Potensi Oksidasi-Reduksi.....	33
3.9. Indeks Refraksi.....	34
BAB IV. MIKROBIOLOGI SUSU.....	35
4.1. Jenis Mikroba dalam Susu.....	35
4.2. Pertumbuhan Mikroba.....	37
4.3. Uji Mikrobiologi Susu.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	48

BAB 1 **PENDAHULUAN**

Susu adalah salah satu hasil ternak yang dikenal sebagai bahan makanan bernilai gizi tinggi. Didalam susu terdapat berbagai jenis zat gizi. Kandungan zat gizi susu dinilai lengkap dan dalam proporsi seimbang, sehingga susu bermanfaat menunjang pertumbuhan dan kesehatan tubuh, baik bagi anak-anak, remaja maupun orang dewasa.

Sebagian besar susu yang dikonsumsi oleh manusia berasal dari sapi perah, karena jenis ternak ini adalah penghasil susu yang potensial. Ternak yang lain seperti kerbau, kambing, domba dan kuda juga menghasilkan susu, tetapi masih dalam jumlah terbatas. Susu yang berasal dari sapi perah lazim disebut susu, sedangkan susu dari ternak yang lain diberi sebutan sesuai dengan nama hewan penghasilnya. Sebagai contoh, susu dari kerbau disebut susu kerbau dan susu dari kambing disebut susu kambing.

Susu adalah cairan dari kelenjar susu (mammary gland) yang diperoleh dengan cara pemerahan sapi selama masa laktasi tanpa adanya penambahan atau pengurangan komponen apapun pada cairan tersebut. Secara kimiawi susu tersusun atas dua komponen utama, yaitu air yang berjumlah sekitar 87% dan bahan padat yang berjumlah sekitar 13%. Didalam bahan padat susu terdapat berbagai senyawa kimia, baik yang termasuk golongan senyawa zat gizi makro (makronutrien) seperti lemak, protein dan karbohidrat; maupun senyawa zat gizi mikro (mikro nutrien) seperti vitamin dan mineral, serta beberapa senyawa lainnya.

Adanya berbagai senyawa kimia didalam susu selain menentukan sifat kimiawinya, juga berpengaruh terhadap sifat fisik susu. Secara inderawi, susu tampak sebagai cairan berwarna putih sedikit kekuningan atau kebiruan serta mempunyai rasa gurih khas sedikit manis. Sifat fisik susu yang lain dapat ditunjukkan oleh beberapa variabel seperti misalnya: kekentalan, bobot jenis, dan titik bekunya.

Susu yang banyak mengandung air dan sekaligus kaya akan zat gizi merupakan media yang baik bagi pertumbuhan mikroba. Didalam setiap mili liter susu segar pada umumnya mengandung ratusan ribu hingga jutaan mikroba khususnya bakteri. Pada suhu kamar dan ruang terbuka, bakteri pembusuk didalam susu akan tumbuh dan berkembang sebanyak 8 kali lipat setiap jam. Oleh sebab itu, susu segar yang dibiarkan atau tidak ditangani dengan baik akan cepat rusak/ busuk dalam jangka waktu relatif singkat.

Sifat mikrobiologis susu menjadi bagian penting bagi persyaratan mutu susu segar. Menurut SNI (1992), susu dianggap baik bila jumlah kuman (total bakteri) tidak melebihi 3 juta sel dalam setiap milliliter. Mengupayakan agar kandungan bakteri didalam susu tidak tinggi harus dimulai sejak sebelum proses pemerahan, saat pemerahan hingga penanganan susu selanjutnya untuk siap diolah dan dikonsumsi.

BAB 2 **SIFAT KIMIAWI SUSU**

Sifat kimiawi susu sangat erat hubungannya dengan komposisi kimiawi susu. Secara umum bila komposisi kimiawi susu dalam kisaran normal, maka sifat kimiawi susu juga dinyatakan normal atau baik. Oleh sebab itu, pembahasan tentang sifat kimiawi susu akan lebih difokuskan pada tinjauan tentang komposisi kimiawi susu. Dalam bab ini akan diuraikan tentang komposisi susu dari beberapa spesies, faktor yang mempengaruhi komposisi susu, serta sifat masing-masing komponen utama didalam susu.

2.1. Komposisi Susu dari Beberapa Spesies

Menurut "United States Code of Federal Regulations" susu didefinisikan sebagai cairan hasil pemerahan ambing (*mammæ*) sapi sehat, yang didalamnya mengandung tidak kurang dari 8,25% bahan padat tanpa lemak dan 3,25% lemak, serta bebas kolostrum Berdasarkan definisi ini berarti susu yang normal mengandung bahan padat sedikitnya $8,25 + 3,25 = 11,5\%$. Bila bahan padat kurang dari 11,5% maka kemungkinan susu ditambah air atau diperoleh dari sapi perah yang tidak sehat. Adanya kolostrum tidak diikuti sertakan dalam pemerahan susu. Kolostrum adalah sekresi awal pada saat induk melahirkan dan cairannya mempunyai kenampakan, komposisi dan sifat yang berbeda dengan susu. Kolostrum biasanya kental, berwarna sedikit kuning kemerahan, berbau tajam dan rasanya pahit.

Di dalam ambing, susu disintesis pada *alveoli* sebagai unit produksi yang memiliki ruang penyimpanan yang disebut lumen. Bahan dasar didalam aliran darah setelah disintesis menjadi komponen-komponen susu, kemudian disimpan didalam lumen dan akan dikeluarkan melalui sistem saluran pengeluaran berdasarkan stimulasi hormonal pada waktu pemerahan. Ada sekitar 100.000 jenis

komponen didalam susu yang tergolong sebagai zat gizi seperti lemak, protein, karbohidrat, vitamin dan mineral, serta beberapa senyawa lainnya. Kandungan zat gizi susu dinilai sangat baik, karena mempunyai proporsi yang seimbang dan mudah dicerna sehingga dalam jumlah tertentu susu dapat memenuhi kebutuhan akan zat gizi bagi tubuh.

Pada Tabel 1 disajikan komposisi kimiawi susu dari beberapa jenis ternak dan susu dari manusia (ASI, air susu ibu). Meskipun secara umum kandungan air berbagai jenis susu adalah cukup tinggi, namun ternyata masing-masing sangat bervariasi. Sebagai contoh, kandungan air susu domba dan kerbau relatif rendah dibandingkan susu, ASI dan susu kuda.

Susu dari ternak ruminansia (sapi, kerbau, kambing dan domba) berbeda dengan susu dari ternak non-ruminansia (kuda, keledai, unta) maupun ASI. Hal tersebut kemungkinan disebabkan karena perbedaan sistem pencernaannya. Beberapa komponen susu disintesis dari prekursor yang ada didalam darah dan sebagian ditransfer langsung dari darah kedalam susu didalam alveoli. Didalam alveoli inilah komponen-komponen disintesis. Oleh karena perbedaan sistem pencernaan akan berpengaruh terhadap fenomena fisiologis dan biokimiawi darah, sehingga akan berpengaruh juga terhadap proses sintesis susu dan komposisi susu yang dihasilkan.

Tabel 1. Komposisi kimiawi susu dari beberapa spesies ternak dan ASI

Spesies/ Jenis Susu	Air	Lemak	Protein	Laktosa	Abu
	g/100 g atau %				
ASI (Air Susu Ibu)	87,5	4,0	0,9	7,0	0,2
Sapi	87,5	3,8	3,3	4,7	0,7
Kerbau	82,8	7,4	3,8	4,8	0,8
Kambing	85,2	5,6	3,8	4,8	0,7
Domba	80,7	7,4	5,5	4,8	1,0
Keledai	83,8	2,4	7,3	6,0	0,5
Unta	86,4	4,5	3,6	5,0	0,7
Kuda	88,8	1,9	2,5	6,2	0,5

Sumber: Edelsten (1988) dan Van den Berg (1988).

Susu (sapi) dan ASI sangat berbeda dalam hal kadar protein, laktosa dan abu (Tabel 1). Kadar protein susu rata-rata sekitar 3,3%, sedangkan kadar protein ASI hanya sekitar 1%. Akan tetapi kadar laktosa ASI relatif tinggi (7,0%) dibandingkan susu (4,7%). Rasio jumlah kasein dan whey dalam protein susu dan ASI bertolak belakang, yaitu masing-masing 4:1 dan 1:2. Sementara itu, susu domba dan kerbau mempunyai kadar lemak lebih tinggi dibanding ASI dan susu dari jenis ternak yang lain. Susu kuda dicirikan dengan rendahnya kadar lemak dan tingginya kadar laktosa.

2.2. Faktor yang Mempengaruhi Komposisi Susu

Pada umumnya komposisi kimiawi susu dipengaruhi beberapa faktor yaitu bangsa sapi perah, masa laktasi, umur sapi, adanya infeksi pada kelenjar susu, nutrisi pakan, musim dan frekuensi pemerahan (Eckles *et al.*, 1980; Edelsten, 1988). Setelah pemerahan, masih dimungkinkan terjadinya perubahan komposisi susu tergantung pada cara penanganan susu pasca pemerahan. Misalnya kemungkinan terjadinya dekomposisi beberapa senyawa karena proses kerusakan susu dan menguapnya senyawa volatil dari dalam susu.

2.2.1. Bangsa Sapi Perah

Satu bangsa sapi perah pada umumnya menghasilkan susu dengan komposisi yang relatif sama, tetapi berbeda dengan susu hasil produksi sapi perah dari bangsa yang lain. Banyak bangsa sapi perah yang kini dipelihara diberbagai negara. Sebagian besar bangsa sapi perah berasal dari Eropa seperti Friesien Holstein atau Fries Holland (FH), Jersey, Ayrshire, Brown Swiss, Guernsey dan Milking Shorthorn. Ada beberapa bangsa sapi perah yang berasal dari daerah tropis yaitu Red Sindhi, Sahiwal dan Australian Milking Zebu (AMZ). Diantara bangsa sapi perah tersebut, FH adalah sapi perah yang produksi susunya tertinggi. Susu dari sapi Jersey dan Guernsey pada umumnya mempunyai kandungan lemak relatif tinggi dibandingkan dengan susu dari sapi perah lain (Tabel 2). Kadar lemak yang tinggi sering diikuti kadar protein yang relatif tinggi pula.

K1

637.127

LE6

LE60W0,

Staff,

Kimia,

Si Susu,

Legow. ---

Revisi

Unif. 2

1, 49 b.

1. Susu - A

1. Susu - A

7/05/2
 mmd
 ias Sifat
 i/rodrigo
 comul
 8/1/24
 FPP

Tabel 2. Komposisi kimiawi susu dari beberapa bangsa sapi perah

Bangsa Sapi Perah	Air	Protein	Lemak	Laktosa	Abu
Jersey	85,27	3,80	5,41	5,04	0,75
Guernsey	85,45	3,84	4,98	4,98	0,75
Ayrshire	87,10	3,34	3,85	5,02	0,69
Fries Holland	88,01	3,15	3,45	4,65	0,68
Shorthorn	87,43	3,32	3,36	4,89	0,73

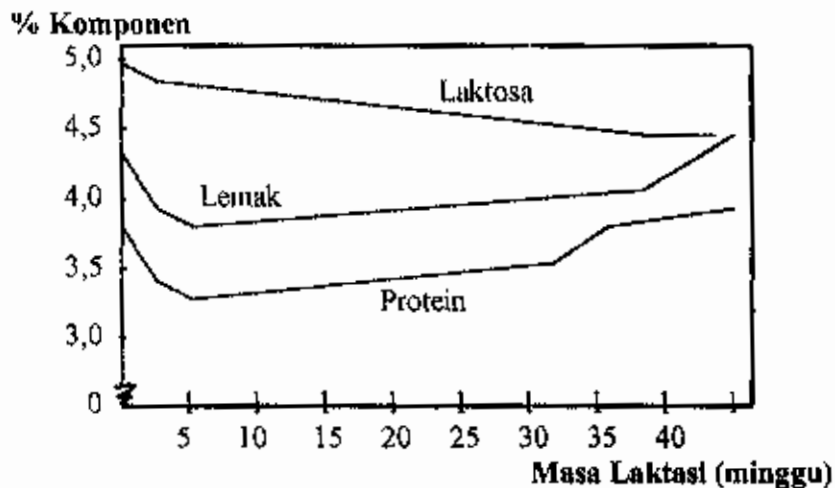
2.2.2. Masa Laktasi

Masa laktasi (pemerahan) berpengaruh secara signifikan terhadap komposisi susu. Perubahan beberapa komponen susu selama masa laktasi dapat dilihat pada ilustrasi 1. Pada minggu pertama pemerahan, kadar laktosa cenderung meningkat, yaitu dari sekitar 2,5 % pada hari pertama menjadi sekitar 5% pada hari ke-5 sejak kelahiran. Selanjutnya kadar laktosa relatif konstan hingga minggu ke-4 dan kemudian berangsur-angsur menurun sampai mencapai sekitar 4,5% pada minggu ke-40. Sebaliknya, kadar lemak pada hari pertama kelahiran cukup tinggi yaitu sekitar 5% kemudian berangsur-angsur menurun hingga minggu ke-5 mencapai dibawah 4%, dan kemudian meningkat perlahan-lahan hingga mencapai sekitar 4,5% pada minggu ke-40.

Didalam kolostrum, yaitu susu yang disekresikan saat awal setelah kelahiran, kandungan bahan padatnya lebih tinggi dibanding susu setelah periode laktasi tertentu. Kolostrum lebih kental dibanding susu normal dengan kandungan protein dan garam-garam mineral relatif tinggi, namun kandungan laktosanya rendah. Transisi dari kolostrum untuk menjadi susu normal adalah sekitar 4-5 hari setelah kelahiran. Kadar lemak, protein dan abu cenderung menurun setelah 6 minggu laktasi. Kadar TBP ada kecenderungan meningkat hingga 6-8 minggu laktasi, tetapi kemudian mengalami penurunan berangsur-angsur hingga akhir masa laktasi.

2.2.3. Umur Sapi Perah

Makin tua umur sapi perah, ada kecenderungan kadar lemak maupun bahan padat bukan lemak susu yang dihasilkan sedikit menurun. Penurunan kadar lemak mencapai sekitar 0,2%, sedangkan bahan padat bukan lemak sekitar 0,4% setelah lima kali masa laktasi. Penyebab terjadinya penurunan kadar lemak dan bahan padat bukan lemak tersebut diduga ada kaitannya dengan proses penuaan atau kerusakan sel-sel ambing, serta kemungkinan terkena mastitis secara berulang.



Ilustrasi 1. Perubahan Beberapa Komponen Susu selama Masa Laktasi

2.2.4. Infeksi Kelenjar Susu

Sapi yang terkena infeksi penyakit seperti mastitis akan menghasilkan susu yang berwarna kemerahan karena terikutnya darah. Komposisi susu yang demikian jelas berbeda dengan susu normal. Konsentrasi lemak, kasein dan laktosa pada susu yang terkena mastitis cenderung lebih rendah, sedangkan

kandungan protein whey cenderung meningkat. Mineral seperti kalium, kalsium dan posfor konsentrasinya relatif rendah, tetapi natrium dan klor justru meningkat.

2.2.5. Faktor Pakan

Faktor pakan terkait erat dengan jumlah dan jenis atau komposisi zat nutrisinya. Pemberian pakan yang cukup sangat penting untuk mendapatkan produksi susu yang optimal. Kecukupan pakan tersebut perlu diimbangi komposisi nutrisi pakan yang memadai. Kadar protein dan beberapa mineral susu relatif tidak banyak terpengaruh oleh komposisi nutrisi pakan dibandingkan dengan komponen lain, terutama lemak susu vitamin A dan yodium. Pemberian pakan dengan kandungan lemak yang tinggi berpengaruh nyata terhadap peningkatan kadar lemak susu.

2.2.6. Pengaruh Musim

Susu yang diproduksi di negara-negara yang memiliki 4 musim ternyata cukup bervariasi komposisinya tergantung pada musimnya. Kadar lemak dan protein cenderung tinggi pada musim dingin dibandingkan pada musim panas. Sebaliknya kadar laktosa pada musim dingin relatif rendah dibanding musim semi, panas dan gugur.

2.2.7. Frekuensi Pemerahan

Pemerahan pada umumnya dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pagi dan sore hari. Akan tetapi untuk sapi perah dengan produksi susu yang tinggi dapat dilakukan pemerahan hingga 3-4 kali sehari semalam. Menambah frekuensi pemerahan terbukti dapat meningkatkan produksi susu. Smith *et al.* (2002) melaporkan bahwa perubahan frekuensi pemerahan dari dua kali menjadi 3 kali mampu meningkatkan produksi susu hingga 3,5 liter per hari. Peneliti lain juga melaporkan bahwa frekuensi pemerahan 3 sampai dengan 4 kali dapat meningkatkan produksi susu lebih dari 15% dibandingkan dengan susu hasil

pemerahan 2 kali. Akan tetapi frekuensi pemerahan tersebut hanya sedikit berpengaruh pada komposisi susu yang dihasilkan, terutama berpengaruh pada kadar lemaknya.

2.3. Susu Sebagai Cairan

Air merupakan komponen utama didalam susu. Jumlah air didalam susu berkisar 83-89% atau rata-rata sekitar 86%. Komponen susu selain air disebut sebagai bahan padat (solid materials). Bahan padat dapat dinyatakan sebagai total bahan padat (TBP) atau "total solid" dan bahan padat tanpa lemak (BPTL). Dengan demikian TBP dapat dinyatakan sebagai selisih dari 100% dikurangi kadar air, sedangkan BPTL sama dengan TBP dikurangi kadar lemak susu. Berdasarkan persyaratan mutu susu menurut Standar Nasional Indonesia No. 01-3141-1992 (SNI, 1992) kadar TBP susu segar minimal 11,0% atau kadar BPTL minimal 3,0%. Persyaratan kadar TBP dan BPTL ini sebenarnya terlalu rendah bila dibandingkan dengan persyaratan "United States Code of Federal Regulations".

Air merupakan medium dispersi bahan padat susu. Ada tiga status dispersi dalam susu (Soeparto, 1992), yaitu dispersi kasar, dispersi koloid, dan dispersi molekuler. Dispersi kasar mempunyai diameter partikel $> 0,1 \mu\text{m}$. Senyawa yang ada dalam dispersi kasar adalah lemak dan senyawa konjugatnya (posfolipida, vitamin A, D, E, K dan sterol). Senyawa-senyawa ini terdispersi dalam bentuk emulsi, sehingga dispersi kasar pada susu sering disebut sebagai emulsi. Dispersi koloid mempunyai diameter partikel $0,001-0,1 \mu\text{m}$. Senyawa yang ada dalam dispersi koloid yaitu protein, enzim, garam dan mineral yang terikat pada misel kasein. Dispersi molekuler atau larutan sejati mempunyai diameter partikel $< 0,001 \mu\text{m}$. Senyawa-senyawa seperti laktosa, sebagian garam-garam mineral, serta vitamin yang larut dalam air (vitamin C dan B kompleks) ada dalam bentuk larutan sejati.

2.4. Bahan Padat didalam Susu

2.4.1. Protein

Protein susu dapat dikelompokkan kedalam dua golongan utama, yaitu kasein dan whey (atau serum) protein. Kasein ternyata bukan berupa satu molekul saja, tetapi memiliki beberapa varian yang berbeda karakteristiknya. Whey juga merupakan kelompok protein yang terdiri dari beberapa jenis protein. Pada Tabel 3 disajikan jenis-jenis protein didalam susu dan beberapa karakteristiknya.

Pemisahan kasein dan whey secara klasik dapat dilakukan dengan proses sedimentasi menggunakan asam pada pH 4,6. Pada pH tersebut kasein akan mengendap, sedangkan whey tetap dalam bentuk larutan/supernatant. Selanjutnya dengan sentrifugasi dan penyaringan, endapan kasein dapat dipisahkan dari whey.

Sudah sejak lama pemisahan kasein dilakukan untuk digunakan sebagai bahan dasar pembuatan keju. Namun kini kasein juga diproduksi kasein kering untuk beberapa keperluan seperti farmasi, kesehatan, dan pengembangan produk pangan. Susu kering bebas lemak atau "non fat dry milk" (NFDM), yang kaya protein, banyak digunakan untuk produk pangan formulasi. Disamping itu, whey yang semula dikenal sebagai limbah pabrik keju, kini sudah diproses sebagai hasil samping (by-product) yang menguntungkan. Dalam dua dekade terakhir ini produk protein whey kering telah diproduksi secara komersial, yaitu sebagai konsentrat protein whey (WPC, whey protein concentrate) dan sebagai isolat protein whey (WPI, whey protein isolate).

1) Kasein

Kasein didalam susu dari bangsa sapi perah dikenal sebagai senyawa postprotein yang dapat diendapkan dengan cara pengasaman pada pH 4,6 pada suhu 20°C. Kini kasein dapat dipisahkan dengan metoda elektroforesis menjadi 4 fraksi, yaitu α_{S1} -, α_{S2} -, β -, dan κ -kasein. Proporsi tiap fraksi dari total kasein adalah 40, 10, 45, dan 5% masing-masing untuk α_{S1} -, α_{S2} -, β -, dan κ -kasein.

Fraksi α_{S1} -kasein memiliki kemampuan mengikat kalsium yang sangat efektif, disamping mengikat Zn, sehingga dalam proses pembuatan keju menghasilkan "curd" yang kompak. Peptida α_{S2} -kasein (asam amino 65-203) terbukti memiliki aktivitas antibakteri. Fraksi β -kasein adalah paling hidrofobik dibanding fraksi kasein lainnya. Fraksi κ -kasein mengandung sejumlah komponen karbohidrat, khususnya berupa oligosakarida. Fraksi ini juga merupakan polimer yang memiliki beberapa ikatan disulfida (SS) dan grup tiol bebas.

Kasein banyak digunakan dalam industri pangan seperti pada industri pengolahan keju, "whitener" kopi, "bakery", dan "dessert topping", disamping juga cukup banyak digunakan untuk industri non pangan seperti farmasi dan pakan. Dari segi gizi, kasein mempunyai nilai gizi protein tinggi karena mengandung semua asam amino esensial dalam jumlah memadai (Tabel 4). Kasein sering digunakan sebagai protein standar (protein reference) pada saat uji nilai gizi protein suatu bahan pangan.

Tabel 3. Beberapa jenis protein susu dan karakteristiknya.

Jenis Protein	Jumlah dalam Skim (g/L)	Varian Genetik	Berat Molekul (KDalton)	pH Isoelektrik
Kasein:				
α_{S1} -Kasein	13,6	B	23.500	4,6-5,1
		C	23.500	5,1
α_{S2} -Kasein	3,4	A	25.226	-
β -Kasein	8,2	A	24.000	5,3
		B	24.000	5,3
κ -Kasein	4,1	A	19.000	3,7-4,2
		B	19.000	3,7-4,2
Protein Whey:				
β -Laktoglobulin	3,6	A	18.300	5,3
		B	18.300	5,3
α -Laktalbumin	1,7	B	14.200	5,1
Albumin serum	0,4	A	69.000	4,7
Imunoglobulin G1	0,3-0,6	-	160.000	-
Imunoglobulin G2	0,05	-	160.000	-
Imunoglobulin A	0,01	-	400.000	-
Imunoglobulin M	0,09	-	900.000	-
Proteose-peptone	0,7	-	4.000-40.000	3,7

Sumber: Brunner (1977)

Tabel 4. Asam Amino Esensial dalam Kasein dan Whey Kering.

Asam Amino	Kasein (g / 100 g)	Susu Kering Tanpa Lemak (g / 100 g)	Whey Kering (g / 100 g)
Triptofan	1,3	0,5	0,15
Treonin	4,3	1,6	0,68
Isoleusin	6,6	2,3	0,73
Leusin	10,0	3,5	1,04
Lisin	8,0	2,8	0,77
Metionin	3,1	0,87	0,19
Sistin	0,38	0,32	0,25
Fenilalanin	5,4	1,7	0,32
Tirosin	5,8	1,8	0,13
Valin	7,1	2,4	0,64

Sumber: Ockerman (1991)

2) Whey

Berdasarkan prinsip pengendapan kasein dari susu segar pada pH 4,6 pada suhu 20°C, maka cairan yang tersisa disebut sebagai whey. Beberapa komponen protein yang terdapat didalam whey yaitu β -laktoglobulin, α -laktalbumin, serum albumin, imunoglobulin, laktoferin (Tabel 3). Didalam whey juga terdapat komponen bukan protein seperti laktosa, mineral dan fraksi proteose pepton.

Produk protein whey kering, WPC dan WPI dapat dibedakan berdasarkan kadar protein yang dikandungnya. WPC sebagai produk konsentrat pada umumnya memiliki kadar protein sekitar 85%, sedangkan WPI sebagai isolat memiliki kadar protein lebih dari 90%. Penggunaan whey didalam industri pangan sangat luas seperti dalam industri "bakery", bahan campuran pada pembuatan sup, "confectionery", pada pengolahan margarin, makanan bayi, makanan untuk diet, dan industri minuman.

β -laktoglobulin. β -laktoglobulin adalah protein utama didalam whey, karena jumlahnya mencapai sekitar 55% dari total protein whey. Isolasi β -laktoglobulin pertama kali dilakukan oleh Palmer pada tahun 1934. Didalam susu ditemukan banyak varian genetik β -laktoglobulin, tetapi hanya varian genetik A

dan B yang dominan. Didalam ASI sangat sedikit atau tidak dijumpai adanya β -laktoglobulin. Oleh sebab itu, timbulnya alergi bagi seseorang yang rentan bila mengkonsumsi susu (sapi) salah satu penyebabnya adalah kehadiran protein tersebut.

Molekul β -laktoglobulin tersusun oleh 162 asam amino dengan dua ikatan disulfida (Cys66-Cys160 dan Cys106-Cys119) dan satu grup thiol (gugus SH) bebas pada Cys 121. Adanya ikatan disulfida dan gugus SH berperan penting pada saat protein ini mengalami proses gelasi atau pembentukan gel (Legowo *et al.*, 1993). β -Laktoglobulin dikenal sebagai pembentuk gel yang baik dan sangat dominan mendukung sifat fungsional whey dalam proses gelasi.

β -Laktoglobulin bersifat sukar larut didalam air, tetapi mudah mengalami denaturasi akibat pemanasan, serta relatif peka terhadap perubahan keasaman dan pengaruh ion/garam. Protein ini stabil pada suasana asam dan sukar mengalami denaturasi pada pH 2. Pada pH sedikit lebih tinggi (pH 3,8-5,2) molekul β -laktoglobulin mengalami dimerisasi yang diikuti dengan proses penggabungan molekul menjadi sebuah polimer.

Ditemukan bahwa struktur molekul β -laktoglobulin mirip dengan struktur protein pengikat retinol (RBP, retinol-binding protein). RBP adalah suatu protein yang disimpan didalam hati dan disekresikan ke plasma darah dan kemudian ditransfer kedalam jaringan retina mata. Hasil temuan ini menambah khasanah peranan β -laktoglobulin bagi tubuh manusia, yakni sebagai pengangkut retinol. Beberapa laporan penelitian juga menunjukkan bahwa β -laktoglobulin dapat mengikat protoporphyrin dan asam-asam lemak bebas utamanya asam lemak rantai panjang.

α -Laktalbumin. Jumlah protein ini mencapai sekitar cukup banyak terdapat didalam whey, jumlahnya mencapai sekitar 12% dari total protein whey. Konsentrasi α -laktalbumin cenderung menurun sejak awal pemerahan dan paling rendah pada akhir periode laktasi. Penurunan konsentrasi tersebut ternyata sejalan dengan penurunan konsentrasi laktosa dan berbanding terbalik dengan jumlah protein-protein yang lain. Molekul protein laktalbumin berbentuk globular yang

tersusun dari 129 asam amino. Seperti protein globular lainnya, α -laktalbumin memiliki beberapa sifat fungsional, antara lain pembentukan gel (gelasi), pembentukan buih, dsb.

Molekul laktalbumin mempunyai 4 ikatan disulfida, dan satu diantaranya (Cys6-Cys120) adalah paling reaktif terhadap gugus SH membentuk ikatan disulfida baru (Legowo *et al.*, 1996). α -Laktalbumin sendiri sulit membentuk gel, tetapi dapat mendukung gelsi protein lain bila dicampurkan dan disertai dengan proses pemanasan. Mekanisme gelasi tersebut utamanya melalui pembentukan ikatan disulfida antara laktalbumin dengan molekul protein lain. Diduga mekanisme tersebut berperan pula pada proses pembentukan buih.

Serum Albumin. Serum albumin adalah protein utama dalam serum darah yang ada pada seluruh jaringan tubuh. Protein tersebut mempunyai peranan penting dalam proses pengangkutan, metabolisme dan distribusi ligand; mempunyai kontribusi terhadap osmose tekanan darah; serta berperan menangkal radikal bebas. Jumlah serum albumin mencapai 1,5% dari total protein susu dan sekitar 8% dari protein whey.

Imunoglobulin. Fraksi imunoglobulin (Ig) mencapai sekitar 1% dari total protein susu atau sekitar 6% dari protein whey. Molekul Ig berada sebagai polimer yang mempunyai bentuk dasar seperti huruf "Y" dan tersusun dari 4 rantai polipeptida yang terikat satu sama lain dengan ikatan SS. Monomernya terdiri dari 2 rantai panjang identik yang disebut H (heavy chain) dengan berat molekul antara 55 – 76 kDa, serta 2 rantai pendek identik yang disebut L (light chain) dengan berat molekul antara 23,5 – 27,3 kDa. Monomer H mengandung suatu sisi konstan yang disebut C (constant) yang dapat mencirikan isotip atau kelas imunoglobulin, yaitu IgA, IgG, IgM, IgE dan IgD, disamping itu monomer H juga memiliki suatu domain bebas yang disebut V (variable) sebagai tempat pengikatan antigen.

Laktoferin. Senyawa ini merupakan glikoprotein yang jumlahnya didalam susu hanya sedikit, yaitu sekitar 0,2 g/l. Dalam kolostrum, jumlah laktoferin dapat

mencapai sekitar 0,5-1 g/l. Laktoferin mempunyai peranan sebagai senyawa antimikroba, karena senyawa tersebut dapat mengikat logam (besi) yang sangat diperlukan bagi pertumbuhan mikroba. Laktoferin dapat membunuh beberapa bakteri gram negatif kelompok *coliform* dengan mengikat besi yang dibutuhkan bakteri tersebut. Bakteri *coliform* merupakan penyebab utama sakit mastitis pada sapi. Laktoferin juga dapat mematikan beberapa bakteri gram positif seperti *Staphylococcus aureus* (juga penyebab mastitis), *Listeria monocytogenes*, dan *Bacillus* sp.

Lisozim. Senyawa ini hanya ada dalam jumlah kecil di dalam susu. Lisozim merupakan enzim proteolase seperti yang terdapat didalam putih telur, pada air liur, cairan air mata, ingus, ataupun didalam ASI. Lisozim efektif menyebabkan lisis terhadap *E. coli*, terutama bila bergabung dengan IgA, serta terhadap *Salmonella* sp. bila bersama-sama dengan asam askorbat dan peroksida.

2.4.2. Lemak

Lemak atau lipida merupakan ester dari gliserol yang atom karbonnya mengikat asam-asam lemak. Apabila ketiga atom C dari gliserol mengikat tiga asam lemak disebut trigliserida, bila dua atom C gliserol mengikat dua asam lemak disebut digliserida, dan bila hanya satu atom C mengikat satu asam lemak disebut monogliserida. Penyusun utama lemak susu adalah trigliserida (97-98%) dan selbihnya merupakan campuran digliserida, monogliserida, asam lemak bebas, fosfolipida dan sterol (Tabel 5). Pemisahan lemak susu dapat dilakukan dengan cara sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 menit atau dengan alat pemisah lemak (cream separator).

Lemak susu dan senyawa lain yang terikat dengan lemak susu ada dalam bentuk droplet atau globula yang dilapisi suatu membran. Fungsi membran adalah untuk mencegah bergabungnya globula lemak satu dengan globula lainnya. Membran tersebut jumlahnya sekitar 2% bobot lemak susu, serta tersusun atas

beberapa senyawa terutama kompleks fosfolipid-protein. Jumlah protein didalam membran mencapai 40% bobot kering yang didalamnya terdapat enzim xanthine oxidase dan alkalin fosfatase. Beberapa senyawa lain penyusun membran berupa fosfolipida, serbiosida, ester sterol dan beberapa senyawa hidrokarbon. Fosfolipida yang utama adalah lecithin, sphingomyelin dan cephalin yang jumlahnya sekitar 0,2-1,0% dari total lemak susu.

Diameter globula lemak adalah berkisar 1 – 15 mikron (μm). Globula lemak susu ini relatif lebih besar dibandingkan dengan globula lemak susu kambing yang berukuran sekitar 0,1 – 10 μm . Globula lemak yang besar mempercepat pembentukan lapisan krim pada saat susu disimpan atau pada waktu proses "churning" dalam pembuatan mentega. Pengecilan dan penyeragaman ukuran globula lemak sering dilakukan dengan cara homogenisasi untuk mendispersikan lemak secara baik terutama bila susu akan diolah sebagai susu pasteurisasi, es krim, maupun yogurt.

Asam lemak sering dibedakan kedalam tiga kelompok berdasarkan jumlah atom karbon penyusunnya, yaitu: (1) asam lemak rantai pendek dengan jumlah atom C 4-8, (2) asam lemak rantai sedang dengan jumlah atom C 10-14, dan (3) asam lemak rantai panjang dengan jumlah atom C 16 atau lebih. Susu dari ternak ruminansia banyak mengandung asam lemak rantai pendek yang dihasilkan oleh kelenjar mamari dari asam asetat ditambah dua atom C hasil urunan dari fermentasi rumen. Lebih khusus lagi, susu kambing dan domba mempunyai asam lemak rantai pendek lebih banyak dibanding susu (sapi) dan susu kerbau. Sedangkan didalam ASI hampir tidak mengandung asam lemak rantai pendek, karena tidak terdapat asam asetat dan glukosa (6 atom C) merupakan bahan dasar biosintesis asam lemak dalam tubuh manusia. Rata-rata kandungan asam-asam lemak didalam susu dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Persentase golongan lipida didalam susu.

Golongan Lipida	% dari Total Lipida
Trigliserida	97 - 98
Digliserida	0,25 - 0,48
Monogliserida	0,02 - 0,04
Asam Lemak Bebas	0,1 - 0,4
Postlipida	0,8 - 1,0
Sterol	0,2 - 0,4

Sumber: Edelsten (1988).

Berdasarkan ada tidaknya ikatan rangkap pada rantai atom C dari asam lemak dapat dibedakan dua asam lemak, yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap, sedangkan asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap. Apabila asam lemak tidak jenuh tunggal disebut MUFA (mono unsaturated fatty acid) dan bila berikatan rangkap dua atau lebih disebut PUFA (poly unsaturated fatty acid). Asam lemak tidak jenuh tersebut dianggap penting bagi kesehatan baik sebagai asam lemak esensial ataupun sifatnya tidak mudah menempel pada dinding pembuluh darah. Jumlah asam lemak tidak jenuh didalam susu sekitar 37% dari total asam lemak. Beberapa contoh asam lemak tidak jenuh yang penting bagi kesehatan adalah asam oleat, linoleat (omega-6) dan linolenat (omega-3) (lihat Tabel 6).

Didalam bahan pangan, termasuk didalam susu, lemak biasanya terdapat bersama-sama dengan kolesterol. Lemak jenuh dan kolesterol dianggap berperanan dalam proses penyempitan pembuluh darah yang dikenal sebagai penyakit "atherosclerosis". Struktur kimia kolesterol berbeda dengan struktur asam lemak maupun trigliserida. Jadi, kolesterol tidak sama dengan asam lemak, meskipun keduanya dibuat dari precursor asetil-koenzim A. Jumlah lemak jenuh dan kolesterol didalam setiap 100 g susu masing-masing adalah sekitar 2,2 g dan 15 mg. Jumlah tersebut relatif sangat rendah dan tidak berbahaya bagi kesehatan dan aman, meski seseorang mengkonsumsi susu 4 gelas per hari.

Tabel 6 Kisaran Kandungan Asam-asam Lemak didalam Susu

Asam Lemak	Jumlah dalam Lemak Susu (%)
<i>Asam lemak jenuh:</i>	
Butirat (C4)	3,0 - 3,7
Kaproat (C6)	1,4 - 2,0
Kaprilat (C8)	0,5 - 1,5
Kaprat (C10)	1,9 - 2,7
Laurat (C12)	1,9 - 3,7
Miristat (C14)	7,9 - 12,1
Palmitat (C16)	25,3 - 29,0
Stearat (C18)	9,2 - 12,7
<i>Asam lemak tidak jenuh:</i>	
Miristoleat (C14:1)	1,0 - 1,8
Palmitoleat (C16:1)	2,5 - 2,9
Oleat (C18:1)	26,7 - 34,0
Linolea (C18:2)	1,4 - 2,7
Linolenat (C18:3)	1,2 - 1,8
As. Lemak Tak Jenuh C20-22	0,3 - 1,7

Sumber: Edelsten (1988); Ockerman (1991).

2.4.3. Karbohidrat

Karbohidrat utama didalam susu adalah laktosa. Jenis karbohidrat yang lain ada dalam jumlah kecil yakni berupa monosakarida, oligosakarida, serta grup glikosil yang terikat dengan protein dan lemak.

1) Laktosa.

Laktosa pertama kali diisolasi pada tahun 1633 oleh Bartoletus dengan cara evaporasi whey (Holsinger, 1988). Jumlah laktosa didalam susu rata-rata mencapai sekitar 4,8-7,0%. Selain penting sebagai sumber kalori, laktosa juga berperan dalam proses absorpsi kalsium dan magnesium didalam tubuh.

Laktosa merupakan disakarida yang tersusun dari glukosa dan galaktosa dengan ikatan 1-4 glukosidik. Laktosa terdapat dalam beberapa bentuk dari golongan α dan β , yaitu α -laktosa hidrat, β -laktosa anhidrat, amorf, dan α -laktosa anhidrat (Adnan, 1984). Keempat bentuk laktosa ini terjadi pada proses kristalisasi laktosa. α -Laktosa hidrat dihasilkan dari kristalisasi larutan laktosa jenuh dibawah suhu $93,5^{\circ}\text{C}$. Kristalisasi dari β -laktosa anhidrat terjadi pada suhu diatas $93,5^{\circ}\text{C}$. α -Laktosa anhidrat dihasilkan dengan cara penghilangan molekul air dari kristal α -laktosa hidrat. Sedangkan laktosa amorf dihasilkan dari hasil pengeringan cepat susu kental sehingga tidak terjadi kristalisasi laktosa.

Pada waktu dikonsumsi, laktosa akan dipecah menjadi glukosa dan galaktosa oleh enzim laktase didalam usus halus. Beberapa anak di benua Afrika dan Asia mempunyai jumlah enzim laktase terbatas, sehingga kemampuannya mencerna laktosa juga terbatas. Akibatnya, mereka akan mengalami gangguan pencernaan pada waktu minum susu yang ditandai dengan perut kembung, mual dan diare. Kondisi tidak mampu mencerna laktosa ini dikenal dengan istilah "tidak toleran terhadap laktosa" atau "lactose intolerance".

2) Karbohidrat Lain.

Dilaporkan oleh Jenness (1988) bahwa jenis karbohidrat selain laktosa ada beberapa macam, baik sebagai golongan monosakarida, oligosakarida, glikosil, maupun glukoprotein dan masing-masing jumlahnya relatif kecil. Monosakarida didalam susu utamanya adalah glukosa dan galaktosa, yang masing-masing berjumlah sekitar 30 dan 90 mg per liter susu atau hanya sekitar 0,003% dan 0,009%. Oligosakarida didalam susu ada sekitar 1-2 g per liter (0,1-0,2%), sedangkan didalam ASI mencapai 10-25 g per liter (1-2,5%). Karbohidrat yang lain yaitu: L-fukosa, N-asetilgalaktosamine, N-asetilglukosamin, dan asam N-asetilneuraminik. Dari beberapa senyawa ini yang jumlahnya paling banyak adalah asam N-asetilneuraminik (100-300 mg/l) dan N-asetilglukosamin (112 mg/l).

2.4.4 Enzim-enzim

Enzim adalah protein atau protein yang berikatan dengan senyawa anorganik, yang bersifat spesifik dan katalitik. Banyak jenis enzim yang secara alami ada didalam susu dan ada beberapa jenis enzim dari bakteri kontaminan. Jenis enzim didalam susu dan reaksi yang dikatalisis disajikan pada Tabel 7.

Pada umumnya enzim-enzim didalam susu mempunyai pH dan suhu optimum dekat dengan nilai fisiologisnya, kecuali alkalin posfatase dan posfoprotein posfatase yang masing-masing memiliki pH optimum 9,8 dan 4,0-5,5. Aktifitas alkalin posfatase dapat digunakan untuk membedakan susu segar dengan susu pasteurisasi. Enzim tersebut rusak pada suhu destruksi bakteri patogen pada saat pasteurisasi susu. Oleh karena itu, proses pasteurisasi dianggap cukup bila semua bakteri patogen mati atau tidak ada lagi aktivitas enzim posfatase. Penambahan 0,1% susu segar kedalam susu pasteurisasi sudah dapat untuk mendeteksi adanya aktivitas enzim posfatase. Jenis enzim posfatase yang banyak terdapat pada membran globula lemak susu adalah β -Posfatase.

Enzim lipase merupakan enzim yang bertanggung jawab terhadap terbentuknya "flavor" tengik pada susu dan produk olahannya. Enzim tersebut menghidrolisis gliserida dan kemudian membebaskan asam-asam lemak. Proses ini sering disebut sebagai lipolisis. Proses lipolisis mudah terjadi pada suhu kamar atau beberapa derajat diatasnya, tetapi juga masih dapat berlangsung pada suhu rendah sekitar 4-5°C. Pada umumnya enzim lipase rusak pada suhu pasteurisasi HTST (high temperature short time) 72°C.

Enzim lipase didalam susu dapat dikelompokkan kedalam tiga kategori, yaitu lipase bakteriologis, lipase yang aktif secara alami, dan lipase terinduksi. Lipase bakteriologis dihasilkan oleh bakteri tertentu, baik didalam susu segar maupun pada susu pasteurisasi yang terkontaminasi ulang. Bahkan beberapa bakteri psikrotropik dapat memproduksi enzim lipase pada susu yang didinginkan (cooled milk) dan enzim tersebut relatif tahan panas.

Lipase yang aktif secara alami adalah enzim yang aktif secara spontan didalam susu jika ada senyawa organik tertentu sebagai pemicu. Sebagai contoh

lipoprotein lipase yang ada didalam plasma susu. Enzim ini tidak dapat menghidrolisis lemak susu jika ada lipoprotein plasma darah. Lipoprotein plasma ini dapat berfungsi sebagai kofaktor yang memungkinkan lipase dapat aktif dan menghidrolisis lemak.

Lipase terinduksi juga terdapat didalam plasma susu dan bergabung dengan misel kasein. Istilah lipase terinduksi sebenarnya kurang tepat, karena yang perlu diinduksi bukan enzimnya melainkan kondisi sekitar agar enzim lipase menjadi aktif. Proses induksi yang dimaksud adalah mengganggu atau merusak membran yang menutup globula lemak susu. Setelah terjadi kerusakan membran, maka globula lemak susu akan ditutup kembali dengan bahan padat khususnya kasein. Selanjutnya enzim lipase melakukan penetrasi pada membran kasein yang baru terbentuk tersebut, sehingga enzim dapat bergabung dengan lemak dan terjadi aktivitas lipolitik.

Enzim protease yang utama didalam susu adalah serin protease yang tampak identik dengan plasmin darah. Plasmin didalam susu segar ada dalam bentuk plasminogen. Sejalan dengan perubahan waktu, plasminogen berubah menjadi plasmin aktif. Kondisi optimum aktivitas plasmin adalah pada pH sedikit alkali dan suhu 37°C . Kandungan plasmin didalam susu terkait dengan proses involusi (fase penurunan produksi susu) pada akhir periode laktasi.

Enzim lain yang cukup penting didalam susu adalah katalase dan peroksidase yang mampu mendekomposisi H_2O_2 . Katalase mengubah H_2O_2 menjadi air dan molekul oksigen bebas, sedangkan peroksidase mengubah H_2O_2 menjadi air dan ion oksigen aktif. Enzim-enzim lain dan reaksi yang dikatalisis dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Enzim-enzim didalam Susu dan Reaksi yang dikatalisis

Enzim	Reaksi yang dikatalisis
Laktat dehidrogenase	$L\text{-Laktat} + \text{NAD}^+ \rightleftharpoons \text{piruvat} + \text{NADH} + \text{H}^+$
Malat dehidrogenase	$L\text{-Malat} + \text{NAD}^+ \rightleftharpoons \text{oksaloasetat} + \text{NADH} + \text{H}^+$
Xanthine oksidase	$\text{Xanthine} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{asam urat} + 2\text{O}_2^- + 2\text{H}^+$
Amin oksidase	$\text{RCH}_2\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{RCHO} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3$
Lipoamida dehidrogenase	$\text{NADH} + \text{H}^+ + \text{lipoamida} \rightleftharpoons \text{NAD}^+ + \text{dehidrolipoamida}$
NADH dehidrogenase	$\text{NADH} + \text{H}^+ + \text{akseptor} \rightleftharpoons \text{NAD}^+ + \text{akseptor tereduksi}$
Sulfhidril oksidase	$2\text{RSH} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{R-S-S-R} + \text{H}_2\text{O}_2$
Katalase	$2\text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Laktoperoksidase	$\text{Donor} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{donor teroksidasi} + 2\text{H}_2\text{O}$
Superoksida dismutase	$2\text{O}_2^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}_2$
γ -Glutamil transferase	$L\text{-}\gamma\text{-Glutamil-peptida} + \text{as. Amino} \rightleftharpoons \text{peptida} + L\text{-glutamil-as. Amino}$
Laktosa sintase	$\text{UDP-galaktosa} + \text{D-glukosa} \rightleftharpoons \text{UDP} + \text{laktosa}$
Aspartat aminotransferase	$L\text{-aspartat} + 2\text{-oksoglutarat} \rightleftharpoons \text{oksalasetat} + L\text{-glutamat}$
Alanin aminotransferase	$L\text{-alanin} + 2\text{-oksoglutarat} \rightleftharpoons \text{piruvat} + L\text{-glutamat}$
Riboflavin kinase	$\text{ATP} + \text{riboflavin} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{FMN}$
Gliserol kinase	$\text{ATP} + \text{gliserol} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{gliserol-3-posfat}$
FMN adeniltransferase	$\text{ATP} + \text{FMN} \rightleftharpoons \text{FAD} + \text{piroposfat}$
Tiosulfat S-transferase	$\text{S}_2\text{O}_3^- + \text{CN}^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^- + \text{SCN}^-$
Karboksil esterase	$\text{R-COOR}' + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ROH} + \text{RCOOH}$
Aril esterase	$\text{Penilasetat} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{penol} + \text{asetat}$
Asetilkolin esterase	$\text{Asetilkolin} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{kolin} + \text{asetat}$
Kolin esterase	$\text{Asilkolin} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{kolin} + \text{anion karboksilat}$
Lipoprotein lipase	$\text{Trigliserida} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{digliserida} + \text{asam lemak}$
Alkalin posfatase	$\text{R-O}_3\text{-PO}_3\text{-H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ROH} + \text{H}_3\text{PO}_4$
Asam posfatase	$\text{R-O}_3\text{-PO}_3\text{-H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ROH} + \text{H}_3\text{PO}_4$
5'-Nukleotidase	$5'\text{-Ribonukleotida} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ribonukleotida} + \text{H}_3\text{PO}_4$
Glukosa-6-posfatase	$\text{D-Glukosa-6-posfat} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{glukosa} + \text{H}_3\text{PO}_4$
Posfoprotein posfatase	$\text{Protein posfat} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{protein} + \text{H}_3\text{PO}_4$
Posfodiesterase	$\text{Posfor diester} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{posfor monoester} + \text{alkohol}$
Ribonuklease	Pemecahan endonukleolitik
α -Amilase	Hidrolisis polisakarida pd α -1,4 glikosidik dg acak
β -Amilase	Hidrolisis polisakarida pd α -1,4 glikosidik beraturan
Lisozim	Hidrolisis ikatan -1,4 glikosidik antara N-asetilglukosamin & N-asetilmuramin pada mukopolisakarida

α -D-Mannosidase	Hidrolisis α -D-Mannosida
β -N-Asetil-D-glukosaminidase	Hidrolisis chitobiose dan derivat protein dengan penghilangan N-asetil-D-glukosamin
β -Glukuronidase	β -D-Glukuronida + H ₂ O \rightleftharpoons alkohol + asam-D-glukuronat
Plasmin	Hidrolisis ikatan peptida pada Lisin & arginin
Protease asam	Hidrolisis ikatan peptida
Piropostfatase	$H_4P_2O_7 + H_2O \rightleftharpoons 2H_3PO_4$
Adenosin triposfatase	$ATP + H_2O \rightleftharpoons ADP + H_3PO_4$
Nukleotida piropostfatase	Dinukleotida + H ₂ O \rightleftharpoons 2 mononukleotida
Fruktosa-bisposfat aldolase	D-Fruktosa-1,6-posfat \rightleftharpoons dihidroksiaseton posfat + D-gliseraldehid-3-posfat
Karbonat dehidratase	$H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$
Glukosa posfat isomerase	D-Glukosa-6-posfat \rightleftharpoons D-Fruktosa-6-posfat

Sumber: Whitney (1988); Goff dan Hill (1993).

Keterangan: \rightleftharpoons adalah reaksi yang bersifat "irreversible" (dapat balik).

2.4.5. Vitamin

Susu banyak mengandung vitamin yang larut dalam lemak seperti vitamin A, D, E dan K (Tabel 8). Aktivitas vitamin A alami dihasilkan dari retinol dan beta-karoten yang jumlahnya bervariasi utamanya dipengaruhi oleh musim. Banyak sedikitnya beta-karoten juga akan berpengaruh terhadap intensitas warna kekuningan susu. Sedangkan aktivitas vitamin D diturunkan dari kolekalsiferol (vitamin D3) dan ergokalsiferol (vitamin D2). Variasi aktivitas vitamin D selain dipengaruhi oleh musim juga oleh pakan. Adapun vitamin E ada dalam bentuk tokoferol yang merupakan antioksidan alami yang sangat penting.

Susu juga merupakan sumber beberapa vitamin terlarut dalam air seperti vitamin B1 (tiamin), B2 (riboflavin), B6 (piridoksin), B12 (sianokobalamin), niasin (asam nikotinat) dan asam pantotenat. Vitamin-vitamin yang larut dalam air cukup stabil terhadap pengaruh pemanasan dan pengolahan kecuali vitamin B2 dan vitamin C. Vitamin B2 sangat mudah terdegradasi akibat cahaya pada panjang gelombang kurang dari 610 nm. Sedangkan vitamin C sangat labil dan mudah rusak dengan adanya pemanasan.

2.4.6. Mineral

Kandungan mineral suatu bahan pada umumnya dapat dicerminkan dari kadar abu bahan tersebut. Memang abu mengandung substansi-substansi mineral. Akan tetapi, fakta menunjukkan bahwa kadar abu tidak dapat mencerminkan seluruh mineral yang ada didalam susu. Hal ini disebabkan karena beberapa mineral didalam abu dihasilkan dari mineral terlarut didalam susu, dan lainnya dihasilkan dari komponen tak larut khususnya kompleks kasein yang mengandung kalsium, posfor dan sulfur.

Susu mengandung lebih dari 20 jenis mineral yang sangat diperlukan tubuh, sehingga susu dikenal sebagai sumber mineral. Jenis mineral yang sangat dominan didalam susu adalah natrium, kalium, kalsium, klor, magnesium dan posfor (Tabel 8). Natrium, kalium dan klor merupakan konstituen garam didalam susu yang ada dalam bentuk ion bebas dan mudah terdifusi. Sementara itu, kalsium, magnesium, posfor anorganik dan sitrat merupakan koloid bersama kasein misel. Konsentrasi keempat jenis mineral tersebut berkorelasi positif dengan kandungan kasein didalam susu.

Goff dan Hill (1993) melaporkan bahwa sekitar 20-30% dari kalsium dan magnesium ada dalam bentuk ion bebas, dan selebihnya merupakan garam-garam sitrat dan posfat. Konsentrasi kalsium, magnesium dan sitrat mempunyai korelasi positif, karena kalsium dan magnesium membentuk kompleks yang kuat dengan sitrat pada pH susu yang normal. Korelasi negatif antara konsentrasi kalsium dan pH serta korelasi positif antara ion kalsium dan ion asam posfat berkaitan dengan kelarutan produk dari misel kalsium posfat.

Meskipun secara proporsional mineral didalam susu mampu mensuplai kebutuhan mineral bagi tubuh, namun kini ada upaya memperkaya mineral tertentu, misalnya kalsium, untuk diet khusus. Sebaliknya, konsentrasi iodin yang tinggi kini perlu diwaspadai keterkaitannya dengan kemungkinan cemaran disinfektan iodofor.

Tabel 8. Jumlah Beberapa Vitamin dan Mineral didalam Susu

Vitamin	Jumlah dalam setiap liter susu
Vitamin A (IU)	400
Vitamin D (IU)	40
Vitamin E (μg)	1000
Vitamin K (μg)	50
Vitamin B1 (μg)	450
Vitamin B2 (μg)	1750
Niasin (μg)	900
Vitamin B6 (μg)	500
Asam pantotenat (μg)	3500
Biotin (μg)	35
Asam folat (μg)	55
Vitamin B12 (μg)	45
Vitamin C (mg)	20
Mineral	Jumlah dalam setiap liter susu
Natrium (mg)	350 - 900
Kalium (mg)	1100 - 1700
Klorida (mg)	900 - 1100
Kalsium (mg)	1100 - 1300
Magnesium (mg)	90 - 140
Posfor (mg)	900 - 1000
Besi (μg)	300 - 600
Seng (μg)	2000 - 6000
Kuprum (μg)	100 - 600
Mangan (μg)	20 - 50
Yodium (μg)	260
Fluor (μg)	30 - 220
Selenium (μg)	5 - 67
Kobal (μg)	0,5 - 1,3
Krom (μg)	8 - 13
Molibdenum (μg)	18 - 120
Nikel (μg)	0 - 50
Silikon (μg)	750 - 7000
Arsen (μg)	20 - 60

Sumber: Goff dan Hill (1993).

BAB 3 SIFAT FISIK SUSU

3.1. Arti Penting Sifat Fisik Susu

Susu bukan hanya merupakan bahan yang mempunyai senyawa kimiawi kompleks, tetapi juga mempunyai sifat fisik yang secara alami sangat kompleks. Beberapa sifat fisik susu yang cukup penting adalah warna, rasa dan bau; berat jenis; viskositas; pH dan keasaman; potensial oksidasi-reduksi; dan titik beku.

Sifat fisik susu tersebut diatas sangat dipengaruhi oleh komposisi kimiawinya. Adanya air dalam jumlah besar sebagai pembawa atau media dispersi untuk berbagai konstituen didalam susu memungkinkan terjadinya berbagai interaksi antar konstituen tersebut yang akhirnya berpengaruh terhadap sifat fisik susu, misalnya warna, pH dan potensial oksidasi reduksi. Berdasarkan ukuran partikel konstituennya dikenal dispersi kasar (ukuran partikel $> 0,1 \mu\text{m}$), dispersi koloid (ukuran partikel $0,001-0,1 \mu\text{m}$) dan dispersi molekuler (ukuran partikel $< 0,001 \mu\text{m}$). Proporsi ketiga macam dispersi ini juga akan mempengaruhi sifat fisik susu, misalnya viskositas.

Dalam industri persusuan, pengukuran sifat fisik susu mempunyai arti penting baik sebagai factor penentu mutu susu maupun diperlukan untuk beberapa keperluan seperti:

- (1) Mendukung data untuk perencanaan peralatan penanganan atau pengolahan susu, misalnya data tentang konduktivitas panas dan viskositas.
- (2) Dapat untuk menentukan jumlah komponen susu. Sebagai contoh, BJ dapat untuk menentukan kandungan BPTL, atau titik beku untuk mendeteksi adanya penambahan air.
- (3) Untuk menilai perubahan fisik maupun kimiawi susu dan produk olahannya. Misalnya, viskositas untuk menilai agregasi protein misel dan globula lemak,

atau keasaman untuk mengikuti perkembangan mikrobia yang dapat mengakibatkan beberapa perubahan fisiko-kimiawi.

3.2. Warna

Warna susu yang normal adalah putih sedikit kekuningan. Warna susu dapat bervariasi dari putih kekuningan hingga putih sedikit kebiruan. Warna putih sedikit kebiruan dapat tampak pada susu yang memiliki kadar lemak rendah atau pada susu skim.

Warna putih dari susu diakibatkan oleh dispersi yang merefleksikan sinar dari globula-globula lemak serta partikel-partikel koloid senyawa kasein dan kalsium posfat. Warna kekuningan disebabkan karena adanya pigmen karoten yang terlarut didalam lemak susu. Karoten mempunyai keterkaitan dengan pigmen santofil yang banyak ditemukan didalam tanam-tanaman hijau atau hijauan. Bila karoten dan santofil dikonsumsi oleh sapi perah, maka akan ikut dalam aliran darah dan sebagian terlarut/ bersatu dalam lemak susu.

Soeparno (1992) melaporkan bahwa pakan yang banyak mengandung karoten, misalnya wortel dan hijauan dapat menghasilkan susu dengan warna yang lebih kuning daripada pakan lainnya, misalnya jagung putih. Dilaporkan pula adanya fenomena tentang identiknya pigmen kuning yang mewarnai lemak tubuh sapi dengan pigmen susunya. Sapi yang menghasilkan lemak susu dengan intensitas warna kuning paling tajam juga mempunyai warna lemak tubuh paling kuning. Bangsa sapi Guernsey dan Jersey pada umumnya menghasilkan lemak dengan warna paling kuning, sedangkan bangsa FH dan Ayrshire menghasilkan lemak dengan warna relatif tidak kuning.

3.3. Rasa dan Bau

Susu segar memiliki rasa sedikit manis dan bau (aroma) khas. Rasa manis disebabkan adanya gula laktosa didalam susu, meskipun sering dirasakan ada

sedikit rasa asin yang disebabkan oleh klorida. Bau khas susu disebabkan oleh beberapa senyawa yang mempunyai aroma spesifik dan sebagian bersifat volatil. Oleh sebab itu, beberapa jam setelah pemerahan atau setelah penyimpanan, aroma khas susu banyak berkurang.

Pada saat mendeteksi rasa dan aroma susu diperoleh kesan satu kesatuan yang sulit dipisahkan. Gabungan rasa dan aroma tersebut dikenal sebagai "flavor". Kadang dijumpai penyimpangan atau abnormalitas "flavor" susu. Menurut Suparno (1992) hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, yaitu:

- (1) Sapi sedang mengalami gangguan fisik atau kesehatan. Dalam hal ini senyawa-senyawa yang memberikan rasa abnormal disekresikan bersama dengan susu.
- (2) Pakan ternak. Senyawa bau dari pakan diserap kedalam darah dan disekresikan didalam susu.
- (3) Absorpsi bau yang menonjol atau tajam oleh susu. Pada saat pemerahan dan penanganan susu segar sangat dimungkinkan terabsorpsinya bau disekeliling susu atau tempat pemerahan.
- (4) Dekomposisi komponen susu akibat pertumbuhan dan perkembangan biakan bakteri. Senyawa hasil dekomposisi tersebut akan menyebabkan "flavor" yang tidak normal.
- (5) Adanya benda asing yang terikut didalam susu, meskipun hal ini jarang terjadi. Apabila ada kotoran maka akan dihilangkan dengan cara penyaringan.
- (6) Perubahan-perubahan karena reaksi kimiawi, misalnya reaksi oksidasi yang dapat menimbulkan bau tengik (rancid).

3.4. Bobot Jenis

Bobot jenis (BJ) atau densitas merupakan berat (dalam gram) dari suatu bahan berupa cairan sebanyak 1 (satu) mililiter yang diukur pada suhu 20°C. Konsep densitas sering disetarakan dengan gravitas spesifik (specific gravity) yang menunjukkan perbandingan berat suatu bahan dengan berat air pada volume

yang sama. Susu lebih berat dari air karena susu merupakan sistem koloid yang kompleks, yakni terdispersinya garam-garam, gula dan senyawa lain dalam media air. BJ susu pada suhu 20⁰C pada umumnya berkisar antara 1,027-1,033. Rata-rata BJ susu dari beberapa jenis ternak dapat dilihat pada Tabel 9.

Bobot jenis susu tergantung dari kandungan lemak dan bahan padat susu tersebut, misalnya Bj lemak 0,930, laktosa 1,666, protein total 1,346 dan kasein 1,310. Kandungan lemak berpengaruh negatif terhadap BJ susu, karena BJ lemak lebih rendah dibandingkan BJ air ataupun plasma susu. Sebagai contoh, susu dengan kadar lemak 3,00% memiliki BJ sebesar 1,0295 dan susu dengan kadar lemak 4,50% memiliki BJ 1,0277. Sementara itu, besarnya kandungan bahan padat bukan lemak mempunyai pengaruh nyata terhadap besarnya BJ susu. Pada Tabel 9 tampak bahwa rata-rata BJ susu adalah 1,030, sedangkan BJ susu kerbau, susu kambing dan susu domba masing adalah 1,031, 1,033 dan 1,036. Perbedaan ini disebabkan oleh tingginya kandungan bahan padat bukan lemak didalam susu kerbau, kambing dan domba.

Tabel 9. Rerata nilai pH, BJ dan Titik Beku Susu Beberapa Jenis Ternak dan ASI

No	Jenis Susu	PH	BJ	Titik Beku (°C)
1	Susu (sapi)	6,60	1,030	- 0,522
2	Susu Kerbau	6,73	1,031	- 0,560
3	Susu Kambing	6,53	1,033	- 0,580
4	Susu Domba	6,63	1,036	- 0,597
5	Susu Unta	6,56	1,030	- 0,576
6	ASI	7,0	1,029	- 0,545

Sumber: Edelsten (1988); Van den Berg (1988); Goff dan Hill (1993).

3.5. Viskositas

Viskositas atau kekentalan susu merupakan faktor penting untuk menentukan pemisahan krim, perpindahan masa dan panas, serta kondisi aliran dalam proses penanganan dan pengolahan susu. Viskositas dapat diukur dengan

alat viskosimeter dan satuan yang digunakan adalah "poise" (P). Satu poise didefinisikan sebagai tenaga dalam dyne/cm^2 untuk menjaga kecepatan relatif 1 cm/detik antara dua bidang paralel yang bergerak terpisah 1 cm. Viskositas susu sering dinyatakan dalam satuan "senti poise" (cP) yang nilainya sama dengan 1/100 P. Viskositas susu yang normal besarnya adalah sekitar 1,5-2,0 cP.

Besarnya viskositas dipengaruhi oleh suhu dan komponen-komponen bahan padat didalam susu. Menurut Sherbon (1988) pengaruh suhu dapat dinyatakan dalam suatu persamaan berikut:

$$\text{Log (natural) Viskositas} = a + b/T$$

Dari persamaan diatas, a dan b adalah konstanta, sedangkan T adalah suhu mutlak. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar suhu justru semakin kecil viskositas susu. Nilai viskositas ini merupakan fungsi linier pada kisaran suhu 20-80°C, meskipun pada suhu diatas 40°C mulai terjadi bias. Hal ini diduga berkaitan dengan titik lebur lemak susu.

Pengaruh komponen bahan padat ditunjukkan oleh contoh besarnya viskositas dari whey, skim (kasein) dan susu penuh (whole milk) pada suhu 20°C yang masing-masing adalah 1,2 cP, 1,5 cP dan 2,0 cP. Data ini menunjukkan bahwa kasein misel dan globula lemak memberi kontribusi nyata terhadap viskositas susu. Oleh sebab itu, kandungan protein dan lemak berpengaruh terhadap viskositas susu.

3.6. pH dan Keasaman

Nilai pH suatu cairan (susu) berhubungan dengan besarnya konsentrasi ion H^+ didalamnya. Sorensen, seorang ahli kimia dari Denmark, membuat konsep pH dengan rumus:

$$\text{pH} = - \log (\text{H}^+)$$

Jadi, apabila konsentrasi ion $H^+ = 1 \times 10^{-7}$ Mol maka nilai pH = 7. Semakin besar (H^+) semakin kecil nilai pH yaitu terendah = 1, dan sebaliknya semakin kecil (H^+) semakin besar nilai pH yaitu tertinggi = 14. Nilai pH susu normal pada suhu $25^{\circ}C$ adalah berkisar antara 6,5-6,7. Nilai pH susu dari beberapa jenis ternak dan ASI dapat dilihat pada Tabel 9.

Nilai keasaman menunjukkan banyaknya jumlah asam yang ada didalam susu, dan sering dinyatakan sebagai total asam atau keasaman tertitrasi (titratable acidity). Nilai keasaman susu normal adalah berkisar antara 13-20 mmol per liter. Nilai ini setara dengan total asam (dihitung sebagai asam laktat) sebesar 0,12-0,33%.

Keasaman juga dapat dinyatakan dalam derajat "Soxhlet Hexel" ($^{\circ}SH$). Derajat SH merupakan rasio antara perkalian kuantitas (ml) dan normalitas NaOH yang digunakan untuk titrasi susu segar dengan normalitas NaOH. Susu normal biasanya mempunyai keasaman sekitar 5,8-6,2 $^{\circ}SH$.

Selama penyimpanan, keasaman susu cenderung meningkat karena sebagian laktosa akan diubah oleh mikroba menjadi asam laktat dan asam organik lain. Besarnya nilai keasaman tersebut berbanding terbalik dengan pH. Artinya, apabila keasaman susu meningkat maka nilai pH akan turun.

Nilai pH dan keasaman mempunyai korelasi dengan kemampuan bufer susu. Yang dimaksud bufer atau dapar atau penyangga adalah larutan yang menahan perubahan pH atau penambahan sedikit asam kuat maupun basa kuat. Pada penambahan asam, ion hidrogen dari asam berikatan dengan basa dalam bufer; dan penambahan basa menyebabkan ion hidroksil dari basa berikatan dengan asam dalam bufer. Kemampuan bufer dari susu ditunjang oleh beberapa senyawa yang tergolong dalam kelompok residu yang terikat dengan protein (seperti asam aspartat, asam glutamat, histidin, lisin, tirosin dan ester posfat) serta garam-garam (seperti posfat, sitrat, karbonat dan garam dari asam karboksilat). Jadi, secara alami kemampuan bufer tersebut dapat menghambat laju kerusakan susu yang diindikasikan dengan perubahan pH atau keasaman susu.

Susu segar yang baru saja diperoleh dari pemerahan sebenarnya tidak mengandung asam laktat. Nilai keasaman sebesar 0,12-0,33% atau nilai pH 6,5-

air dapat meningkatkan titik beku susu hingga mendekati titik beku air. Dilaporkan oleh Goff dan Hill (1993) bahwa penambahan 1,2% air kedalam susu dapat menyebabkan perubahan titik beku susu sebesar $0,007^{\circ}\text{C}$. Perlu dicatat bahwa penambahan air atau cairan lain (misalnya santan, dll.) kedalam susu adalah upaya pemalsuan susu dan merupakan tindakan ilegal.

- (2) Kadar laktosa susu. Laktosa merupakan komponen zat padat yang mempunyai pengaruh paling dominan terhadap titik beku susu. Oleh karena itu, tinggi rendahnya titik beku susu berpengaruh signifikan terhadap tinggi rendahnya kadar laktosa. Ada upaya membuat persamaan untuk menghitung kadar laktosa berdasarkan titik beku susunya. Akan tetapi persamaan tersebut tidak dapat diaplikasikan karena kadar laktosa susu cukup bervariasi antar bangsa maupun individu sapi.
- (3) Kandungan serbuk whey didalam bubuk skim. Hal ini berkaitan dengan keberadaan laktosa didalam whey, sehingga adanya whey didalam skim dapat diprediksi dari besarnya titik beku.

3.8. Potensi Oksidasi-Reduksi

Apabila suatu molekul di oksidasi maka akan melepaskan elektron dan apabila direduksi akan menerima elektron. Dalam proses melepaskan dan menerima elektron kemungkinan akan melibatkan transfer oksigen atau hidrogen. Potensi oksidasi-reduksi (redox, reduction-oxidation) dinyatakan dalam satuan "volt" (V) dan dilambangkan sebagai E_h . Besarnya potensi "redox" dari susu adalah berkisar antara + 0,2 hingga + 0,3 V dan terutama dipengaruhi oleh oksigen terlarut. Meskipun susu didalam ambung tidak mengandung oksigen bebas, tetapi setelah pemerahan didalam susu akan terisi oksigen bebas dari udara sebesar kira-kira 0,3 mM. Jumlah oksigen didalam susu tersebut berangsur-angsur berkurang sejalan dengan aktivitas metabolisme dan perkembangan biakan mikroba didalam susu. Fakta inilah yang dijadikan dasar pengujian kualitas susu dengan

air dapat meningkatkan titik beku susu hingga mendekati titik beku air. Dilaporkan oleh Goff dan Hill (1993) bahwa penambahan 1,2% air kedalam susu dapat menyebabkan perubahan titik beku susu sebesar $0,007^{\circ}\text{C}$. Perlu dicatat bahwa penambahan air atau cairan lain (misalnya santan, dll.) kedalam susu adalah upaya pemalsuan susu dan merupakan tindakan ilegal.

- (2) Kadar laktosa susu. Laktosa merupakan komponen zat padat yang mempunyai pengaruh paling dominan terhadap titik beku susu. Oleh karena itu, tinggi rendahnya titik beku susu berpengaruh signifikan terhadap tinggi rendahnya kadar laktosa. Ada upaya membuat persamaan untuk menghitung kadar laktosa berdasarkan titik beku susunya. Akan tetapi persamaan tersebut tidak dapat diaplikasikan karena kadar laktosa susu cukup bervariasi antar bangsa maupun individu sapi.
- (3) Kandungan serbuk whey didalam bubuk skim. Hal ini berkaitan dengan keberadaan laktosa didalam whey, sehingga adanya whey didalam skim dapat diprediksi dari besarnya titik beku.

3.8. Potensi Oksidasi-Reduksi

Apabila suatu molekul di oksidasi maka akan melepaskan elektron dan apabila direduksi akan menerima elektron. Dalam proses melepaskan dan menerima elektron kemungkinan akan melibatkan transfer oksigen atau hidrogen. Potensi oksidasi-reduksi (redox, reduction-oxidation) dinyatakan dalam satuan "volt" (V) dan dilambangkan sebagai E_h . Besarnya potensi "redox" dari susu adalah berkisar antara + 0,2 hingga + 0,3 V dan terutama dipengaruhi oleh oksigen terlarut. Meskipun susu didalam ambung tidak mengandung oksigen bebas, tetapi setelah pemerahan didalam susu akan terisi oksigen bebas dari udara sebesar kira-kira 0,3 mM. Jumlah oksigen didalam susu tersebut berangsur-angsur berkurang sejalan dengan aktivitas metabolisme dan perkembangan biakan mikroba didalam susu. Fakta inilah yang dijadikan dasar pengujian kualitas susu dengan

metode uji reduktase. Makin rendah potensi “redox” dari susu menunjukkan bahwa susu makin intens mengalami kerusakan.

3.9. Indeks Refraksi

Indeks refraksi suatu bahan merupakan rasio kecepatan cahaya didalam ruang hampa dengan kecepatan cahaya yang melewati bahan tersebut. Apabila suatu cahaya dilewatkan pada suatu bahan maka arah cahaya akan dibelokkan pada saat cahaya meninggalkan bahan. Pengukuran indeks refraksi didasarkan atas besarnya sudut yang terbentuk dari pembelokan sinar tersebut. Besarnya nilai indeks refraksi sangat dipengaruhi oleh kandungan zat padat

Nilai indeks refraksi untuk susu adalah sekitar 1,3440 – 1,3485, yaitu lebih tinggi dari indeks refraksi air adalah 1,33299. Besarnya indeks refraksi susu sangat dipengaruhi kandungan bahan padatnya. Dari beberapa laporan diketahui bahwa indeks refraksi untuk susu kerbau hampir sama dengan susu (sapi), sedangkan ASI, susu kambing dan susu domba mempunyai indeks refraksi lebih besar dibandingkan susu (Sherbon, 1988).

BAB 4 MIKROBIOLOGI SUSU

4.1. Jenis Mikroba dalam Susu

Mikroba atau mikroorganisme ada didalam susu mulai saat pemerahan. Sewaktu didalam kelenjar susu atau didalam ambing, susu hampir tidak mengandung mikroba, kecuali pada sapi yang terinfeksi atau sakit, misalnya *mastitis*, *tuberculosis*, atau *brucellosis*. Kontaminasi paling awal terjadi pada saluran puting terutama oleh bakteri *Micrococcus* dan *Streptococcus*. Adanya mikroba pada saluran puting inilah yang kemudian dapat menyebar kedalam ambing. Kontaminasi selanjutnya bersumber dari kulit ternak, tangan atau bagian tubuh pemerah, udara, serta peralatan untuk pemerahan dan penanganan susu.

Mikroba pada umumnya dapat dikelompokkan kedalam tiga golongan utama, yaitu: (1) bakteri, (2) "yeast" atau ragi, dan (3) "mold" atau jamur. Ciri bakteri adalah bersel tunggal dengan ukuran 0,5-5 μm serta berbentuk bulat (coccus, spherical) dan batang (rod). Yeast bersel banyak (uniseluler) dengan ukuran lebih besar dari bakteri, yaitu 5-10 μm . Jamur bersifat multi seluler, berukuran lebih besar daripada yeast dan mempunyai bentuk seperti benang (hypha) yang bercabang-cabang disebut miselium (mycelium). Dari ketiga golongan mikroba tersebut, bakteri merupakan mikroba yang paling dominan didalam susu segar, sedangkan yeast dan jamur biasanya tumbuh pada produk olahan susu. Bakteri didalam susu sebagian kecil merupakan bakteri patogen, yaitu bakteri yang dapat menimbulkan penyakit, dan sebagian besar adalah bakteri perusak atau bakteri pembusuk.

Didalam susu ditemukan banyak famili bakteri yang masing-masing terdiri dari beberapa jenis bakteri (Tabel 10). Penamaan jenis bakteri diklasifikasikan menurut sistem nomenklatur biner (binary nomenclature), yang

menempatkan dua nama latin untuk setiap jenis mikroba. Nama pertama atau nama depan adalah "genus" (jamak=genera) dan nama kedua adalah spesies. Genus ditulis dengan huruf awal kapital dan spesies ditulis semuanya dalam huruf kecil, misalnya *Lactobacillus casei* dan *Streptococcus thermophilus*. Setiap spesies kemungkinan dapat terdiri dari banyak "strain" yang masing-masing menunjukkan sedikit perbedaan sifat-sifatnya. "Strain" dapat diindikasikan dengan nomor dan huruf, atau dengan nama ketiga, atau dengan menuliskan nama penemu strain tersebut. Sebagai contoh yaitu bakteri *Lactobacillus casei* strain Shirota.

Jenis bakteri yang dominan didalam susu segar yang baru diperoleh dari pemerahan adalah golongan *Micrococcus* dan *Staphylococcus* yakni mencapai sekitar 46% dari total bakteri (Christiansen and Overby, 1988). Jenis bakteri lain yang banyak terdapat didalam susu adalah bakteri asam laktat (BAL) terutama yang masuk dalam genus *Streptococcaceae* dan *Lactobacillaceae*. Bakteri tersebut dinamakan BAL karena mampu mengubah substrat gula, khususnya laktosa, menjadi asam laktat. Pada kondisi pemerahan yang higienis susu masih mengandung bakteri tidak kurang dari 10.000 sel per ml. Bakteri-bakteri tersebut akan berkembang biak mencapai ratusan ribu atau bahkan jutaan sel per ml selama penanganan. Susu dengan jumlah bakteri awal tinggi didominasi oleh bakteri gram negatif, sedangkan susu dengan jumlah bakteri awal rendah didominasi oleh bakteri gram positif (Christiansen dan Overby, 1988). Berdasarkan SNI tahun 1992, susu dianggap bermutu baik bila jumlahnya tidak lebih dari 3 juta sel per mililiter. Beberapa industri pengolahan susu bahkan menginginkan susu segar sebagai bahan baku produk olahan mengandung bakteri kurang dari 1 juta per mililiter.

Beberapa jenis bakteri patogen didalam didalam susu masuk dalam genus *Brucella*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Clostridium* dan *Mycobacterium* (Tabel 10). Bakteri *Mycobacterium tuberculosis* merupakan bakteri patogen penyebab sakit TBC. Keberadaan bakteri ini dan bakteri patogen lainnya harus mendapatkan perhatian khusus pada saat mempersiapkan susu untuk dikonsumsi. Semua bakteri patogen tersebut harus dimatikan dengan cara pemanasan pada suhu dan waktu

yang cukup sehingga susu aman dikonsumsi. Bakteri patogen yang sering ada didalam susu segar dan sangat resisten terhadap pemanasan adalah *Coxiella burnetti*. Bakteri ini dapat menyebabkan sakit demam spesifik dan harus menjadi perhatian utama pada waktu pemanasan susu.

Tabel 10. Beberapa Famili dan Genus Bakteri dalam Susu

Famili	Genus	Ciri Khas
Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i> <i>Alcaligenes</i> (<i>Achromobacter</i>) <i>Acetobacter</i> <i>Brucella</i>	Gram negatif, aerob, berbentuk batang dan bulat
Enterobacteriaceae	<i>Escherichia</i> <i>Salmonella</i> <i>Klebsiella</i> <i>Enterobacter</i>	Gram negatif, fakultatif anaerob, berbentuk batang.
Vibrionaceae	<i>Aeromonas</i> <i>Flavobacterium</i> <i>Chromobacterium</i>	Gram negatif, fakultatif anaerob, berbentuk batang.
Micrococcaceae	<i>Micrococcus</i> <i>Staphylococcus</i>	Gram positif, berbentuk bulat.
Streptococcaceae	<i>Streptococcus</i> <i>Leuconostoc</i>	Gram positif, berbentuk bulat.
Bacillaceae	<i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i>	Gram positif, berbentuk batang dan bulat, pembentuk spora.
Lactobacillaceae	<i>Lactobacillus</i>	Gram positif, berbentuk batang, tidak membentuk spora.
Propionibacteriaceae	<i>Propionibacterium</i>	Gram positif
Actinomycetaceae	<i>Actinomyces</i>	Gram positif
Mycobacteriaceae	<i>Mycobacterium</i>	Gram positif

Sumber: Van den Berg (1988).

4.2. Pertumbuhan Mikroba

Mikroba hanya dapat tumbuh pada kondisi yang sesuai. Pengertian tumbuh bagi mikroba adalah hidup dan memperbanyak diri dengan menghasilkan

sel-sel baru yang jumlahnya bertambah secara eksponensial. Apabila pertumbuhan mikroba digambarkan sebagai fungsi logaritma jumlah sel dan waktu, maka kurva umum pertumbuhan mikroba dapat dilihat pada Ilustrasi 2. Kurva tersebut dibagi menjadi 4 fase pertumbuhan, yaitu: (1) fase adaptasi atau fase "lag", (2) fase logaritmik atau fase pertumbuhan eksponensial, (3) fase pertumbuhan stasioner, yang terjadi karena sebagian mikroba masih tumbuh tetapi sebagian yang lain sudah mati, dan (4) fase kematian, dimana mikroba berangsur-angsur mengalami kematian.

Fase pertumbuhan mikroba berkorelasi dengan tingkat kesegaran susu. Pada susu segar yang baru diperoleh dari pemerahan, sebagian besar mikroba kontaminan mulai menyesuaikan diri. Dalam hal ini fase pertumbuhan mikroba memasuki fase adaptasi. Apabila susu dibiarkan terbuka pada suhu kamar, maka berangsur-angsur mikroba melakukan reproduksi dan saat reproduksi mencapai maksimum akan ditunjukkan dengan pertambahan jumlah mikroba secara logaritmik. Dengan demikian fase pertumbuhan mikroba memasuki fase logaritmik. Apabila setelah pemerahan susu didinginkan, maka sebagian besar mikroba tidak dapat tumbuh sehingga fase adaptasi mikroba tersebut mengalami perpanjangan. Setelah jangka waktu tertentu atau susu tidak didinginkan, maka mikroba mulai tumbuh dan berkembang sehingga memasuki fase logaritmik. Pada fase logaritmik, susu mengalami kerusakan yang ditandai dengan terbentuknya gumpalan serta timbulnya bau dan rasa asam. Pertumbuhan mikroba didalam susu atau pada bahan pada umumnya dipengaruhi oleh banyak faktor. Beberapa faktor yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba yaitu ketersediaan air, ketersediaan nutrisi, ada atau tidak adanya oksigen, keasaman, suhu, senyawa penghambat pertumbuhan, dan radiasi sinar ultra-violet.

4.2.1. Ketersediaan Air

Air merupakan komponen utama didalam sel makhluk hidup termasuk mikroba. Air diperlukan untuk pembentukan sel-sel baru dan memungkinkan berlangsungnya seluruh proses biologis dan reaksi-reaksi biokimiawi didalam sel.

Air di lingkungan sel mikroba berfungsi sebagai media tempat terlarutnya zat padat, khususnya zat nutrisi, yang dibutuhkan oleh mikroba. Proses penyerapan zat nutrisi dapat terjadi bila tekanan osmose cairan didalam dan diluar sel mikroba sesuai. Apabila tekanan osmose cairan diluar sel mikroba lebih besar daripada tekanan osmose didalam sel, maka akan terjadi penarikan air dari dalam sel mikroba. Kemampuan setiap jenis mikroba menyesuaikan diri dengan tekanan osmose cairan disekelilingnya berbeda-beda. Beberapa bakteri akan terhenti pertumbuhannya pada larutan garam 15% dan beberapa bakteri yang lain justru telah mengalami hambatan pertumbuhan hanya dengan kadar garam 2%. Bakteri yang tahan terhadap tekanan osmose atau kadar garam relatif tinggi disebut sebagai bakteri halofilik.

4.2.2. Ketersediaan Nutrien

Nutrien atau zat gizi diperlukan untuk metabolisme dan pertumbuhan mikroba, karena zat tersebut merupakan bahan pembangun bagi pembentukan sel-sel baru. Susu banyak mengandung zat gizi, sehingga susu merupakan media yang baik bagi pertumbuhan banyak jenis mikroba. Ada sedikit jenis mikroba yang tidak memerlukan zat gizi yang tersedia didalam susu, tetapi mikroba tersebut mungkin dapat hidup dalam susu dengan memanfaatkan senyawa hasil metabolisme mikroba lain. Fenomena simbiosis semacam ini memungkinkan semakin banyak jenis mikroba yang dapat tumbuh didalam susu.

Faktor ketersediaan nutrien dan ketersediaan air mempunyai keterkaitan yang erat. Mikroba membutuhkan air dan sekaligus nutrien terlarut untuk pertumbuhannya, tetapi mikroba tidak dapat tumbuh didalam air murni atau padatan zat gizi tanpa air. Mikroba akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada media/bahan dengan kadar air tinggi dan jumlah nutrien yang memadai. Oleh sebab itu, susu sebagai bahan berupa cairan dengan kadar air sekitar 87% dan kandungan bahan padat 13% yang terdiri dari berbagai zat gizi merupakan media yang ideal bagi pertumbuhan sebagian besar bakteri.

4.2.3. Ketersediaan Oksigen

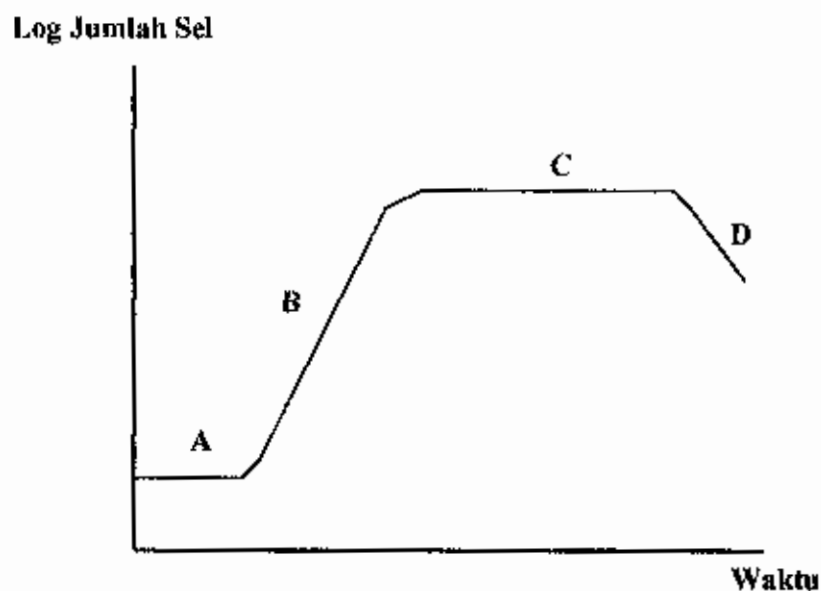
Bagi semua makhluk hidup dan mikroba pada umumnya, oksigen merupakan kebutuhan vital. Akan tetapi ada sebagian mikroba yang tidak memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, dikenal tiga kelompok mikroba, yaitu:

- (1) Mikroba Aerob, yakni mikroba yang memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya. Semua jamur serta sebagian besar yeast dan bakteri termasuk dalam kelompok ini.
- (2) Mikroba Anaerob, yakni kelompok mikroba yang tumbuh baik tanpa adanya oksigen. Banyak bakteri terutama sebagian besar BAL termasuk kelompok anaerob.
- (3) Mikroba fakultatif aerob atau fakultatif anaerob. Kelompok mikroba ini tumbuh baik dengan cukup oksigen atau hampir tanpa oksigen, meskipun secara umum lebih cenderung hidup baik pada satu kondisi saja. Contoh mikroba yang masuk dalam kelompok ini adalah sebagian BAL yang dapat tumbuh didasar wadah susu (milk can). Adanya BAL tersebut dapat mengakibatkan susu dibagian dasar dari wadah menjadi asam terlebih dahulu, meskipun susu dibagian atas mungkin masih baik.

4.2.4. Keasaman atau pH

Mikroba tumbuh baik pada kondisi keasaman atau pH media yang sesuai. Dalam hal ini pH lebih berperan menunjang pertumbuhan mikroba. Nilai pH susu normal sekitar 6,6-6,7 sangat cocok untuk pertumbuhan sebagian besar bakteri. Akan tetapi yeast dan jamur lebih cocok dengan kondisi yang lebih asam atau pada pH lebih rendah dari pH susu normal. Bakteri yang dapat memfermentasi protein secara umum tidak tahan pada pH rendah. Oleh sebab itu, asam yang dibentuk oleh BAL dapat menghambat pertumbuhan bakteri yang memfermentasi protein. Beberapa BAL toleran terhadap kondisi asam tertentu, sehingga

memungkinkan beberapa jenis BAL tersebut saling mendukung pertumbuhannya. Namun pada umumnya pembentukan asam terhenti pada pH 4,2.



Keterangan:

- A = Fase adaptasi/ fase lag.
- B = Fase pertumbuhan logaritmik.
- C = Fase pertumbuhan stasioner.
- D = Fase kematian.

Ilustrasi 2. Kurva Umum Pertumbuhan Mikroba

4.2.5. Suhu

Mikroba dapat tumbuh dan melakukan reproduksi (memperbanyak diri) secara optimal pada suhu tertentu yang disebut sebagai suhu optimum. Diluar suhu tersebut, mikroba masih dapat tumbuh pada kisaran suhu dari suhu minimum hingga suhu maksimum. Berbagai jenis mikroba menunjukkan variasi suhu pertumbuhan dengan kisaran yang relatif besar. Pada umumnya bakteri dapat

tumbuh pada suhu 0-70°C, sedangkan yeast dan jamur tumbuh dapat baik pada kisaran suhu 20-40 °C. Berdasarkan suhu optimum untuk pertumbuhannya, mikroba dapat dikelompokkan kedalam beberapa kategori seperti tampak pada Tabel 11.

Suhu maksimum merupakan suhu tertinggi bagi suatu mikroba untuk tumbuh. Pada suhu maksimum reproduksi mikroba akan terhenti. Pemanasan pada suhu diatas suhu maksimum pertumbuhan akan mematikan bakteri tersebut. Prinsip ini diterapkan pada proses pemanasan susu dengan cara pasteurisasi dan sterilisasi, serta pemanasan peralatan untuk penanganan dan pengolahan susu.

Tabel 11. Golongan Bakteri Berdasarkan Suhu Pertumbuhannya

No	Golongan Bakteri	Suhu Pertumbuhan Bakteri
1	Psikrofilik (Psychrophilic)	Bakteri dengan suhu optimum sekitar 4-6°C; kisaran suhu pertumbuhan 0 – 20°C.
2	Mesofilik (Mesophilic)	Bakteri dengan suhu optimum sekitar 25-35°C; kisaran suhu pertumbuhan 10-45°C.
3	Termofilik (Thermophilic)	Bakteri dengan rata-rata suhu optimum sekitar 50°C, kisaran suhu pertumbuhan 30 –80°C.

Sumber: Van den Berg, 1988 (diseleksi).

Suhu minimum menunjukkan batas suhu terendah suatu jenis mikroba masih dapat melakukan reproduksi. Dibawah suhu minimum mikroba tidak mampu melakukan reproduksi. Secara umum mikroba didalam susu mempunyai kisaran pertumbuhan sekitar 5-60°C. Kisaran suhu ini sering disebut sebagai wilayah berbahaya (danger zone), yang berarti pada kisaran suhu tersebut mikroba didalam susu dapat tumbuh dan berkembang biak. Oleh sebab itu, sebaiknya susu segar disimpan dan didistribusikan dengan pendinginan pada suhu dibawah 5°C. Pendinginan susu hingga mencapai titik beku air (0°C) atau titik beku susu(-0,522°C) tidak diperlukan karena tidak dapat mematikan mikroba kecuali hanya merusak dinding sel mikroba secara perlahan-lahan. Disamping itu, pendinginan pada suhu titik beku tersebut juga memerlukan energi dan biaya tambahan. Jadi suhu ideal yang disarankan untuk pendinginan susu segar adalah 3-4°C.

Golongan bakteri psikrofil merupakan bakteri yang hidup baik pada suhu dingin (Tabel 11). Secara umum golongan bakteri ini hidup pada kisaran suhu 0-20^oC dan suhu optimum untuk pertumbuhannya 4-6^oC. Golongan bakteri mesofil hidup pada suhu sedang, yaitu pada kisaran 10-45^oC. Banyak jenis bakteri yang dimanfaatkan untuk pembuatan produk susu fermentasi termasuk golongan mesofil. Bakteri yang dapat hidup pada suhu lebih tinggi dari kisaran suhu pertumbuhan bakteri mesofilik adalah golongan bakteri termofil. Susu segar ditempat pemerahan sering terkontaminasi bakteri termofil dari tanah, hijauan dan pakan kering. Sisa susu yang tertinggal pada wadah atau alat yang digunakan untuk pengolahan juga merupakan sumber kontaminasi bakteri termofil. Hal tersebut sering terjadi karena pembersihan peralatan kurang sempurna.

4.2.6. Senyawa Penghambat Pertumbuhan

Pertumbuhan mikroba didalam susu dapat dihambat dengan beberapa senyawa penghambat. Senyawa tersebut dapat berasal dari:

- (1) Deterjen atau bahan untuk sanitasi (sanitizer) yang digunakan pada waktu pembersihan peralatan penanganan dan pengolahan susu.
- (2) Antibiotik yang disekresikan bersama susu oleh sapi yang diberi antibiotik.
- (3) Bahan pengawet yang sengaja ditambahkan kedalam susu untuk memperpanjang masa simpannya. Akan tetapi, penggunaan bahan pengawet pada susu segar tidak diijinkan.
- (4) Senyawa penghambat yang berasal dari susu secara alami, misalnya agutinin, laktoferin, lisozim dan laktoperoksidase.

4.2.7. Radiasi Sinar Ultra Violet (UV)

Pada umumnya mikroba tumbuh baik dalam keadaan gelap. Mikroba sensitif terhadap sinar matahari, khususnya karena pengaruh radiasi sinar ultra violet (UV). Kemampuan sinar UV untuk merusak sel dan mematikan bakteri

banyak digunakan pada waktu sterilisasi ruang dan peralatan pengemasan susu. Penggunaan sinar UV untuk sterilisasi susu tidak dapat diterapkan, karena beberapa asam amino didalam susu akan menyerap sinar UV sehingga tidak efektif membunuh mikroba.

4.3. Uji Mikrobiologi Susu

4.3.1. Uji Total Mikroba

Susu secara alami mengandung sejumlah mikroba yang berasal dari saluran puting dan dapat bertambah banyak dengan terjadinya terkontaminasi. Kontaminasi didalam ambung dapat terjadi karena ternak sedang sakit, misalnya *mastitis*, *tuberculosis*, atau *brucellosis*. Diluar ambung, kontaminasi dapat berasal dari kulit ternak, dari pemerah, udara, dan peralatan untuk pemerahan/ penanganan susu. Pada kondisi pemerahan yang higienis susu masih mengandung mikroba, khususnya golongan bakteri, tidak kurang dari 10.000 sel per ml. Bakteri-bakteri tersebut akan berkembang biak mencapai ratusan ribu atau bahkan jutaan sel per ml selama penanganan hingga susu siap diolah atau dikonsumsi. Susu dengan jumlah bakteri awal tinggi didominasi oleh bakteri gram negatif, sedangkan susu dengan jumlah bakteri awal rendah didominasi oleh bakteri gram positif (Christiansen dan Overby, 1988). Berdasarkan SNI tahun 1992, susu dianggap bermutu baik bila jumlah bakterinya tidak lebih dari 3 juta sel per ml.

Uji mikrobiologi dimaksudkan untuk mengetahui jumlah bakteri yang ada didalam susu. Secara langsung jumlah total mikroba, khususnya bakteri, didalam susu dapat ditentukan dengan metoda penghitungan angka lempeng total atau "Standard Plate Count". Sedangkan secara tidak langsung, banyak sedikitnya bakteri yang berkembang didalam susu dapat dideteksi dengan beberapa uji seperti uji didih, uji alkohol, dan uji reduktase.

4.3.2. Uji Didih

Susu segar yang berkualitas baik tidak akan pecah (menggumpal) bila dipanaskan/dididihkan pada waktu tertentu. Sebaliknya, susu yang telah banyak ditumbuhi mikroba akan menjadi asam dan mudah pecah bila dipanaskan.

Cara pengujiannya yaitu dengan memasukkan 5 ml susu kedalam tabung reaksi dan dipanaskan. Setelah mendidih lalu didinginkan dan diamati adanya endapan atau gumpalan-gumpalan kecil pada dinding tabung. Bila terbentuk endapan, uji dinyatakan positif atau susu disebut pecah.

4.3.3. Uji Alkohol

Untuk mengetahui kemunduran kualitas susu dapat juga diketahui dengan uji alkohol. Prinsip uji alkohol mirip dengan uji masak, yaitu untuk mengetahui susu pecah dengan penambahan alkohol.

Prosedur uji alkohol yaitu dengan cara memasukkan 10 ml susu kedalam tabung reaksi besar kemudian ditambahkan 10 ml alkohol 70% dan digojog pelan-pelan. Apabila terjadi endapan pada dinding tabung, maka uji dinyatakan positif atau susu disebut pecah. Endapan yang terbentuk merupakan hasil koagulasi protein susu yang menunjukkan susu sudah mengalami proses kerusakan/pembusukan. Koagulasi protein susu diawali dengan lemahnya ikatan misel-kasein karena adanya asam yang dihasilkan oleh bakteri yang tumbuh didalam susu. Adanya penambahan alkohol 70% pada ikatan misel-kasein yang telah melemah mengakibatkan terjadinya koagulasi protein susu khususnya kasein.

4.3.4. Uji Keasaman

Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui derajat keasaman susu. Semakin besar derajat keasaman susu, semakin buruk kualitas susu segar. Derajat keasaman menunjukkan banyak sedikitnya asam yang terbentuk didalam susu akibat pertumbuhan mikroba.

Bahan yang digunakan untuk uji keasaman adalah larutan NaOH 0,25 N dan larutan indikator pp 2%. Sedangkan peralatan yang diperlukan meliputi buret dengan skala 0,1 ml, labu ukur dan tabung erlenmeyer 100 ml. Secara ringkas prosedur uji keasaman yaitu dimulai dengan memasukkan 50 ml susu kedalam erlenmeyer dan kemudian ditambah larutan indikator pp 2% beberapa tetes (sekitar 0,5 ml). Susu ini dititrasi dengan NaOH 0,25 N yang telah ditempatkan didalam buret hingga warna merah muda tidak hilang bila dikocok. Derajat keasaman dihitung berdasarkan jumlah ml NaOH yang diperlukan untuk titrasi.

4.3.4. Uji pH

Nilai pH merupakan cerminan jumlah ion H^+ dari asam didalam susu yang diakibatkan oleh pertumbuhan mikroba. Tujuan dari uji pH adalah mengetahui tingkat keasaman susu sehingga dapat diperkirakan tingkat kualitas dan keamanan susu untuk dikonsumsi. Secara tidak langsung pengukuran nilai pH akan memberi gambaran tentang normal tidaknya susu atau tuingkat kerusakan susu akibat pertumbuhan mikroba.

Cara praktis uji pH yang sering digunakan yaitu dengan menggunakan pH meter elektrik. Pada prinsipnya berbagai macam (merk) pH meter dapat digunakan. Sebagai kontrol digunakan larutan bufer (pH 4 dan 7) dan/atau akuades (pH 7). Susu normal mempunyai pH sekitar 6,3-6,8. Apabila pH susu yang diuji dibawah pH susu normal maka susu tersebut sudah mulai rusak, karena turunnya pH merupakan akibat adanya asam yang dibentuk oleh bakteri pembusuk didalam susu.

4.3.5. Uji Reduktase

Tujuan uji reduktase adalah untuk memprediksi jumlah mikroba didalam susu, sehingga kualitas susu dapat ditentukan. Pada prinsipnya mikroba didalam susu menghasilkan enzim reduktase yang dapat mereduksi zat warna biru dari

"methylene blue" (MB) menjadi tak berwarna. Apabila kedalam susu dimasukkan sejumlah tertentu MB, maka susu tersebut berwarna biru dan dalam waktu tertentu warna biru tersebut berangsur-angsur hilang. Lama waktu hilangnya warna biru atau waktu reduksi menunjukkan banyak sedikitnya jumlah mikroba didalam susu. Semakin banyak mikroba berarti semakin banyak pula enzim reduktase yang dapat mereduksi warna biru MB, sehingga waktu reduksi menjadi pendek dan demikian pula sebaliknya.

Uji reduktase dilakukan dengan cara menempatkan 20 ml susu kedalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan MB (0,0075%) sebanyak 0,5 ml dan tabung ditutup dengan plastik atau parafin cair serta dikocok-kocok. Tabung tersebut diinkubasi pada suhu 37°C dan diamati perubahan warna yang terjadi pada menit ke-20 dan ke-60 serta selanjutnya setiap satu jam. Berdasarkan waktu reduksi dapat ditentukan kualitas susu yang diuji seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Kualitas susu berdasarkan waktu reduksi dan perkiraan jumlah bakteri

Kualitas Susu	Waktu Reduksi	Perkiraan jumlah Bakteri (per ml susu)
Sangat baik	> 5 jam	500.000
Baik	>2-5 jam	500.000-4 juta
Sedang	20 menit-2 jam	4-20 juta
Jelek	<20 menit	>20 juta

Sumber: Van den Berg (1988).

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 1984. Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu. Liberty, Yogyakarta.
- Brunner, J.R. 1977. Milk proteins. **In** Food Proteins. J.R. Whitaker and S.R. Tannenbaum (Eds.). Avi Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut. p: 175-208.
- Christiansen, P. S. and A. J. Overby. 1988. Quality requirements of milk for processing. **In** Meat Science, Milk Science and Technology. H.R. Cross and A.J. Overby (Eds.). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Tokyo. p: 201-209.
- Eckles, C.H., W.B. Combs and H. Macy. 1980. Milk and Milk Products. Tata Mc Graw-Hill Publishing Co. Ltd., Bombay-New Delhi.
- Edelsten, D. 1988. Composition of milk. **In** Meat Science, Milk Science and Technology. H.R. Cross and A.J. Overby (Eds.). Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Tokyo. p: 175-199.
- Goff, H. D. and A. R. Hill. 1993. Chemistry and Physics. **In** Dairy Science and Technology Handbook: 1 Principles and Properties. Y.H. Hui (Ed.). VCH Publishers Inc., New York. p: 1-82.
- Holsinger, V. H. 1988. Lactose. **In** Fundamentals of Dairy Chemistry, 3rd ed. N.P. Wong, R. Jenness, M. Keeney and E.H. Marth (Eds.). Van Nostrand Reinhold, New York. p: 279-342.
- Jenness, R. 1988. Composition of Milk. **In** Fundamentals of Dairy Chemistry, 3rd ed. N.P. Wong, R. Jenness, M. Keeney and E.H. Marth (Eds.). Van Nostrand Reinhold, New York. p: 1-38.
- Legowo, A.M., T. Imade and S. Hayakawa. 1993. Heat-induced gelation of the mixtures of α -lactalbumin and β -lactoglobulin in the presence of glutathione. *J. Food Research International*, 26: 103-108.
- Legowo, A.M., T. Imade, Y. Yasuda, K. Okazaki and S. Hayakawa. 1996. Specific disulfide bond in α -lactalbumin influences heat-induced gelation of α -lactalbumin-ovalbumin-mixed gels. *J. Food Sci.*, 61:281-285.
- Ockerman, H. W. 1991. Food Science Sourcebook 2nd Part 2: Food Composition, Properties, and General Data. Avi-Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sherbon, J. W. 1988. Physical properties of milk. **In** Fundamentals of Dairy

- Chemistry, 3rd ed. N.P. Wong, R. Jenness, M. Keeney and E.H. Marth (Eds.). Van Nostrand Reinhold, New York. p: 409-460.
- Smith, J. W., L.O. Ely, W.M. Graves, and W.D. Gilson. 2002. Effect of milking frequency on DHI performance measures. *J. Dairy Sci.*, 85: 3526-3533.
- SNI (Standar Nasional Indonesia). 1992. SNI 01-3141-1992 tentang Syarat Mutu Susu Segar. Dewan Standarisasi Nasional-DSN, Jakarta.
- Soeparno. 1992. Prinsip Kimia dan Teknologi Susu. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Van den Berg, J. C. T. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics. PUDOC, Wageningen.
- Whitney, R. M. 1988. Proteins of milk. In *Fundamentals of Dairy Chemistry*, 3rd ed. N.P. Wong, R. Jenness, M. Keeney and E.H. Marth (Eds.). Van Nostrand Reinhold, New York. p: 81-170.