

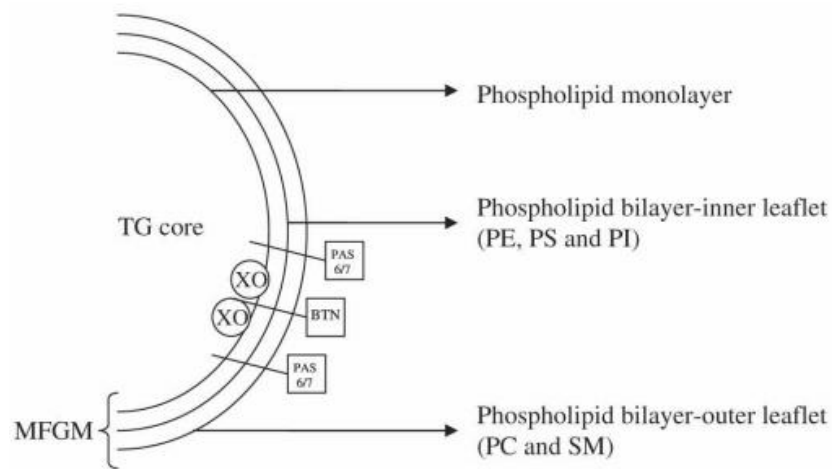
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Susu Sapi

Susu sapi didefinisikan sebagai cairan yang berasal dari ambing sapi yang sehat dan bersih, diperoleh dengan cara pemerahan yang benar, dengan kandungan alami yang tidak dikurangi atau tidak ditambah sesuatu apapun dan belum mendapatkan perlakuan apapun kecuali pendinginan (Badan Standarisasi Nasional, 2011). Secara kimia, susu merupakan emulsi lemak dalam air yang mengandung gula, garam-garam mineral dan protein dalam bentuk suspensi koloidal (Rahman dkk., 1992; Sunarlim, 2009).

Lemak di dalam susu berbentuk globula. Diameter globula lemak pada susu sapi adalah sebesar 0,92 – 15,75 μm (Hariono dkk., 2011) dengan rata-rata ukuran globula lemak sebesar 2,5 – 3,5 μm (Indratiningsih dkk., 2008). Globula lemak susu tersusun atas protein, *phospholipid* dan mineral (Walstra dkk., 2006; Morin dkk., 2007). Secara struktur, globula lemak terdiri dari *lipid monolayer*, *protein coat* dan *lipid bilayer* (Keenan, 2001; Smoczyński dkk., 2012). Struktur lapisan globula lemak susu ditampilkan pada Ilustrasi 1. *Phospholipid* pada globula lemak bersifat amfifilik, yaitu memiliki dua ikatan hidrofobik dan hidrofilik sekaligus (Contarini dan Povolo, 2013). Bagian inti dari globula lemak disusun oleh lipid hidrofobik, yaitu trigliserida (triester dari asam lemak dan gliserol) (Gresti dkk., 1993; Lopez dkk., 2011).

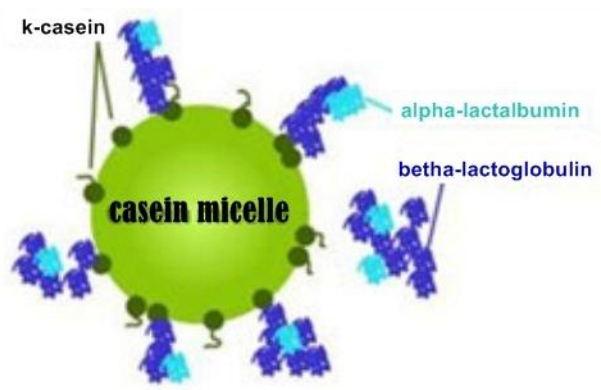


Ilustrasi 1. Struktur Globula Lemak. Lipid: TG (trigliserida), PE (*phosphatidylethanolamine*), PS (*phosphatidylserine*), PI (*phosphatidylinositol*), PC (*phosphatidylcholine*), SM (*shpingomyelin*); Protein: XO (*xanthine oxidase*), PAS (*periodic acid shift*), BT: (*butyrophilin*) (Danthine dkk., 2000; Morin dkk., 2007).

Protein pada susu sapi dibagi menjadi dua kelompok yaitu kasein dan protein *whey*. Kasein merupakan protein utama susu dengan proporsi sekitar 80% dari total protein dalam susu. Kasein terdapat dalam bentuk kasein kalsium, yaitu senyawa kompleks dari kalsium fosfat dan terdapat dalam bentuk partikel-partikel kompleks koloid yang disebut *micelles* (Buckle dkk., 2007). *Casein micelles* pada susu sapi memiliki ukuran 50 – 600 nm atau 0,05 – 0,6 μm dengan rata-rata ukuran *casein micelles* sebesar 100 nm atau 0,1 μm (Horne, 2011). Terdapat empat jenis kasein dalam susu antara lain α_{s1} -*casein*, α_{s2} -*casein*, β -*casein* dan κ -*casein* (Cheema dkk., 2015). Menurut Fox dan McSweeney (1998) kisaran persentase empat jenis kasein di dalam susu adalah sebesar 37%, 10%, 35% dan 12% dari keseluruhan kasein susu. Komposisi *whey* di dalam susu adalah sekitar 20%. Ada empat jenis *whey* yang terdapat di dalam susu yaitu β -laktoglobulin, α -

laktalbumin, *blood serum albumin* dan *immunoglobulin* (Jovanović dkk., 2005). Menurut Fox dan McSweeney (1998) kisaran persentase β -laktoglobulin, α -laktalbumin dan *blood serum albumin* di dalam susu adalah sebesar 50%, 20% dan 10% dari total keseluruhan *whey* dalam susu.

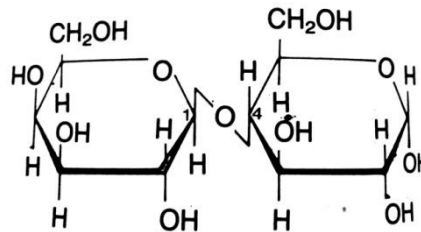
Kasein merupakan protein dengan sifat hidrofobik yang lebih kuat apabila dibandingkan dengan *whey*. Hal ini disebabkan gugus hidrofobik pada kasein berada di bagian permukaan molekul, sedangkan gugus hidrofobik pada *whey* berada di dalam molekul, namun beberapa kasein memiliki sifat hidrofobik yang lebih lemah daripada *whey* jenis β -laktoglobulin (Fox dan McSweeney, 1998). β -*casein* merupakan jenis protein susu dengan sifat hidrofobik paling kuat diantara jenis protein susu lainnya (Carr, 1999). Struktur kasein dan *whey* ditampilkan pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Struktur Kasein dan *Whey* pada Susu (Karam dkk., 2013)

Laktosa adalah karbohidrat utama pada susu. Laktosa dibentuk oleh dua gula sederhana yaitu glukosa dan galaktosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4-*glycosidic* (Jansson, 2014). Laktosa bersifat polar (Sharma dan Surolia, 1997) dan merupakan komponen susu yang menyebabkan rasa manis pada susu (Hasim dan

Martindah, 2008). Laktosa susu memiliki ukuran sekitar 0,001 μm (Saxena dkk., 2009; Kumar dkk., 2013). Struktur laktosa ditampilkan pada Ilustrasi 3.



Ilustrasi 3. Struktur Kimia Laktosa Susu (Winarno, 2004)

Kualitas kimia susu sapi segar dapat dipengaruhi oleh bangsa sapi, pakan, sistem pemerahan, perubahan musim dan periode laktasi (Lingathurai dkk., 2009; Utami dkk., 2014). Kualitas susu juga dapat dipengaruhi oleh proses penanganan, pengolahan, pengawetan dan penyimpanan (Usmiati dan Abubakar, 2007). Kandungan nutrisi susu sapi segar ditampilkan pada Tabel 1.

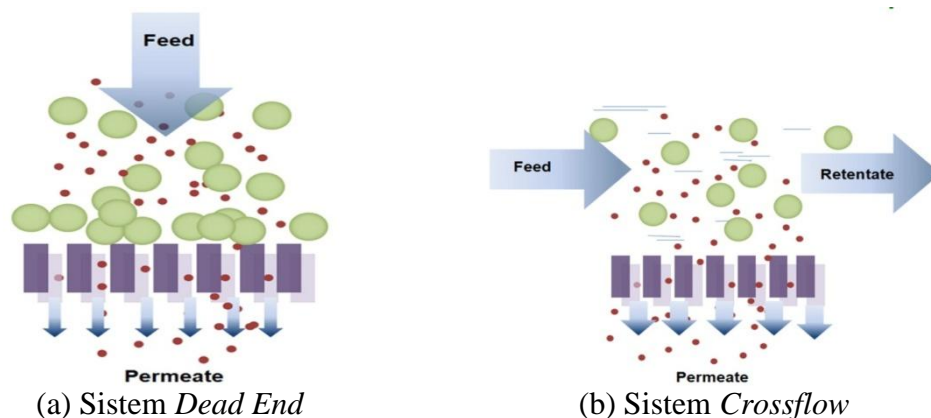
Tabel 1. Kandungan Nutrien Susu Sapi Segar

| Sumber Pustaka | Kadar Air | Lemak | Protein | Laktosa | <i>Solid Non Fat (SNF)</i> |
|--|-----------|-------|---------|---------|----------------------------|
| | | | | | |
| Badan Standarisasi Nasional (2011) | 89,20 | 3,00 | 2,80 | – | 7,80 |
| Eniza (2004); Laryska dan Nurhajati (2013) | 87,90 | 3,45 | 3,20 | 4,60 | 8,65 |
| Buckle dkk. (2007) | 87,10 | 3,90 | 3,40 | 4,80 | – |
| Edelsten (1988); Legowo dkk. (2009) | 87,50 | 3,80 | 3,30 | 4,70 | – |

2.2. Teknologi Membran

Membran adalah lapisan tipis yang berfungsi untuk memisahkan komponen yang berbeda berdasarkan sifat permeabilitasnya (Mulder, 1996). Membran

bersifat penghalang terhadap suatu spesi tertentu, dapat memisahkan zat dengan ukuran berbeda dan membatasi transport dari berbagai spesi berdasarkan sifat fisik dan kimianya. Proses pemisahan dengan membran terjadi karena adanya perbedaan ukuran pori, bentuk, serta struktur kimianya. Membran yang demikian disebut juga sebagai membran semipermeabel yang berarti dapat menahan spesi tertentu, tetapi dapat melewatkan spesi yang lainnya. Fasa yang akan dipisahkan disebut dengan umpan (*feed*) (Al, 2003). Pada operasi membran, aliran umpan dipisahkan menjadi dua aliran yaitu permeat dan retentat. Permeat merupakan aliran yang dapat melewati membran, sedangkan retentat merupakan aliran yang tertahan oleh membran (Mulder, 1991; Murni dan Sudarmi, 2010).



Ilustrasi 4. Sistem Operasi Membran (Tsibaranska dan Tylkowski, 2013)

Membran dapat dioperasikan dengan menggunakan sistem *dead end* dan *crossflow* (Ilustrasi 4) (Tsibaranska dan Tylkowski, 2013). Pada sistem *dead end*, arah aliran umpan tegak lurus terhadap membran. Hal ini menyebabkan partikel-partikel lebih cepat terakumulasi dan membentuk lapisan pada permukaan membran yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan fluks membran

(Setiawan dkk., 2013). Pada sistem *crossflow*, umpan dialirkan secara aksial (sejajar) dengan permukaan membran. Hal ini menyebabkan pembentukan lapisan terjadi sangat lambat karena tersapu oleh gaya geser yang disebabkan oleh aliran *crossflow* umpan (Notodarmojo dkk., 2004).

2.2.1. Kinerja membran

Faktor penting yang perlu diperhatikan dalam proses filtrasi agar dapat diperoleh kinerja membran yang baik adalah fluks atau laju alir dan selektivitas yang tinggi, *fouling* yang rendah dan kestabilan kinerja membran dalam waktu operasi yang panjang (Susanto dan Ulbricht, 2009). Kondisi optimal dalam kinerja membran dinyatakan oleh besarnya permeabilitas dan selektivitas membran terhadap suatu spesi tertentu (Radiman dkk., 2002).

Permeabilitas membran dinyatakan sebagai harga laju alir. Laju alir merupakan aliran volume atau massa yang melewati membran per satuan waktu (Aprilia dkk., 2011). Beberapa faktor yang mempengaruhi dapat permeabilitas membran antara lain jumlah dan ukuran pori, interaksi antara membran dan larutan umpan, viskositas larutan serta tekanan dari luar (Agmalini dkk., 2013). Laju alir dapat dijadikan sebagai indikator stabilitas kinerja membran (Susanto dan Ulbricht, 2009). Selektivitas membran dapat dinyatakan dengan rejeksi (Mulder, 1996). Selektivitas merupakan kemampuan suatu membran untuk menahan suatu spesi. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi selektivitas membran terdiri dari ukuran partikel, interaksi antara membran, larutan umpan dan ukuran pori (Agmalini dkk., 2013).

2.2.2. Klasifikasi membran

Berikut ini adalah beberapa klasifikasi membran :

Tabel 2. Klasifikasi Membran

| No. | Dasar Klasifikasi | Pembagian |
|-----|---|---|
| 1. | Berdasarkan morfologi (Pinem dan Angela, 2011) | a. Membran berpori Membran dengan prinsip pemisahan berdasarkan perbedaan ukuran partikel. |
| | | b. Membran tak berpori Membran yang berpotensi untuk memisahkan molekul dengan ukuran yang hampir sama satu sama lain. |
| | | c. Membran komposit Membran dengan kombinasi selektifitas tinggi dari membran rapat dan laju permeasi yang tinggi dari membran yang sangat tipis. |
| 2. | Berdasarkan struktur (Mulder, 1991; Murni dan Sudarmi, 2010) | a. Membran simetrik Membran dengan struktur yang seragam. Memiliki ketebalan berkisar antara 10 – 50 μm . |
| | | b. Membran asimetrik Membran dengan struktur yang tidak seragam. Lapisan atas membran memiliki pori kecil dengan ketebalan 0,1 – 0,5 μm dan didukung lapisan berpori pada lapisan bawah dengan ketebalan 50 – 150 μm . |
| 3. | Berdasarkan ukuran pori (Mulder, 1996) | a. Membran mikrofiltrasi Membran dengan ukuran pori 0,05 – 10 μm . |
| | | b. Membran ultrafiltrasi Membran dengan ukuran pori 1 – 100 nm. |
| | | c. Membran nanofiltrasi Membran dengan ukuran pori 0,01 – 5 nm. |
| | | d. Membran <i>reverse osmosis</i> Membran dengan ukuran pori < 2 nm. |

2.2.3. Fouling

Fouling merupakan masalah utama pada proses filtrasi dengan menggunakan membran (Uju dkk., 2008). *Fouling* sangat dipengaruhi oleh karakteristik membran dan interaksinya dengan umpan (Cheryan, 1998; Uju dkk., 2008). *Fouling* menyebabkan terjadinya penurunan kinerja membran yaitu berupa penurunan laju alir dan perubahan selektivitas membran. *Fouling* juga dapat memperpendek umur membran karena pencucian yang akan sering dilakukan (Susanto dkk., 2012).

Fouling yang terjadi pada permukaan membran dapat berasal dari berbagai macam kontaminan antara lain partikulat anorganik, bahan organik terlarut, padatan terlarut dan bahan biogenik (Beyer dkk., 2010; Jayanti dan Widiassa, 2016). Menurut Bacchin dkk. (2006) *fouling* pada membran dapat terjadi melalui beberapa mekanisme berikut ini :

1. Adsorpsi, terjadi akibat gaya tarik menarik antara *foulant* dan membran.
2. *Pore blockage*, terjadi apabila komponen dalam umpan memblokir pori membran secara total maupun parsial.
3. Deposit, terjadi apabila *foulant* yang telah terdeposisi pada permukaan membran dapat terus tumbuh membentuk lapisan *cake* yang menyebabkan penambahan tahanan hidrolis.

2.2.4. Polyethersulfone (PES)

Membran polimer yang paling banyak digunakan di dalam industri pangan terbuat dari polimer PES (Short, 1995; Elias dan Cleef, 1998; Malik dkk., 2013).

PES mempunyai sifat mekanik yang baik, tahan terhadap temperatur tinggi hingga 200⁰C, tahan terhadap klorin dan bahan kimia sensitif lainnya. PES mudah untuk dibentuk modul dalam berbagai konfigurasi (Arahman dkk., 2014). PES merupakan polimer yang bersifat hidrofobik serta memiliki toleransi pH pada rentang pH 1 – 13 (Liu dkk., 2012). PES memiliki gugus eter dan sulfon pada tulang punggungnya. Subunit dari polimer ini adalah (-O-aril-O-aril-SO₂-aril)_n. PES diproduksi melalui reaksi kondensasi antara difenol dan 4,4'-diklorodifenil sulfon dengan menghasilkan produk samping berupa garam klorida (Handayani dkk., 2010).

2.2.5. Polyethylene glycol (PEG)

PEG adalah molekul sederhana dengan struktur molekul linier atau bercabang, polieter netral dan memiliki beberapa variasi bobot molekul. PEG memiliki sifat larut di dalam air dan larut pada beberapa pelarut organik antara lain toluen, metil klorida, etanol dan aseton (Harris, 1992; Amiyati, 2016). PEG tidak beracun dan tersedia dalam wujud yang bervariasi sesuai dengan berat molekulnya. PEG 600 berupa cair, PEG 1.000 – 1.450 berupa padat lunak dan PEG 3.350 – 14.000 bentuk fisiknya berupa bubuk (Rahardjo, 1986; Effendi, 2008). Penambahan PEG sebagai aditif pada pembuatan membran dapat menyebabkan terbentuknya pori-pori pada permukaan membran. Semakin banyak penambahan PEG, maka ukuran pori-pori yang terbentuk pada membran akan semakin besar (Utomo dkk., 2014).

2.2.6. Penelitian terdahulu tentang filtrasi susu menggunakan membran

Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian terdahulu mengenai filtrasi susu dengan menggunakan membran :

Tabel 3. Penelitian Terdahulu Tentang Filtrasi Susu Menggunakan Membran

| No. | Peneliti | Hasil Penelitian |
|-----|----------------------------|---|
| 1. | Moreno-Montoro dkk. (2015) | Kandungan nutrisi susu kambing berhasil ditingkatkan menggunakan membran ultrafiltrasi dengan ukuran pori 50 kDa (Vivaflow 2.000 yang diproduksi oleh Sartorius Stedim Biotech, Madrid, Spanyol). |
| 2. | Kurniawan dkk. (2011) | Kadar air pada susu berhasil diturunkan dengan filtrasi menggunakan membran mikrofiltrasi dan <i>reverse osmosis</i> . Kandungan nutrisi susu hasil filtrasi mengalami peningkatan, sedangkan kandungan lemak susu hasil filtrasi mengalami penurunan. Membran mikrofiltrasi yang digunakan memiliki ukuran pori 0,3 µm, sedangkan membran <i>reverse osmosis</i> yang digunakan memiliki ukuran pori lapisan dalam sebesar 9 µm, lapisan tengah sebesar 0,4 µm dan lapisan luar sebesar 0,03 µm. variasi tekanan 1, 2, 3 dan 4 bar untuk membran mikrofiltrasi dan variasi tekanan 6, 7 dan 8 bar untuk membran <i>reverse osmosis</i> . |
| 3. | Domagala dan Kupiec (2003) | Kandungan nutrisi susu berhasil ditingkatkan melalui proses filtrasi dengan membran ultrafiltrasi tipe <i>Amicon's Hollow Fiber</i> dengan ukuran pori yang berbeda yaitu 10 kDa, 30 kDa dan 100 kDa. Susu hasil filtrasi selanjutnya diproses menjadi yogurt. Tekstur yogurt terbaik dihasilkan dari susu hasil filtrasi dengan membran ultrafiltrasi dengan ukuran pori 30 kDa. |
| 4. | Elwell dan Barbano (2006) | Total bakteri, spora, <i>coliform</i> dan jumlah sel somatik pada susu berhasil diturunkan dengan proses filtrasi dengan membran mikrofiltrasi yang dikombinasikan dengan proses pasteurisasi. Jenis membran mikrofiltrasi yang digunakan adalah membran keramik dengan ukuran pori 1,4 µm. Susu hasil kombinasi proses filtrasi dan pasteurisasi tersebut memiliki masa simpan yang lebih lama yaitu selama 92 hari pada suhu 4,2°C. |

2.2.7. Pemanfaatan teknologi membran untuk pengolahan hasil ternak

Teknologi membran merupakan teknologi yang mengalami pertumbuhan cepat, khususnya dalam bidang pangan (James dkk., 2003). Teknologi pemisahan dengan menggunakan membran menawarkan sejumlah kelebihan dalam industri pangan. Beberapa kelebihan tersebut antara lain dapat meningkatkan mutu produk secara signifikan dibandingkan proses pemanasan, memperbaiki sifat-sifat separasi unik, fraksi dan pemekatan kontinyu serta dapat digunakan untuk desalinasi dan purifikasi larutan (Tragardh, 1995; Harnanik, 2013). Berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari pemanfaatan teknologi membran antara lain biaya operasi yang relatif murah, ramah lingkungan, efisiensi ruang, kemampuan dalam memisahkan partikel sampai ukuran nano dan proses pemisahan dapat berlangsung secara kontinyu (Aufiyah dan Damayanti, 2013).

Teknologi membran sudah banyak diaplikasikan pada industri pangan, salah satunya adalah pada industri pangan yang berbahan baku hasil peternakan. Teknologi membran dalam bidang pangan digunakan dalam berbagai proses, antara lain proses klarifikasi, pemekatan, perolehan kembali dan sterilisasi. Pada industri pangan dengan bahan baku hasil peternakan, teknologi membran telah dimanfaatkan dalam berbagai proses antara lain pemekatan putih telur dan kuning telur, pemekatan gelatin, demineralisasi susu, pemisahan *whey*, pemekatan *whey* dan fraksionasi susu untuk pembuatan keju (Wenten, 2002). Teknologi membran juga dapat dimanfaatkan untuk proses isolasi atau pemisahan komponen-komponen penting yang ada di dalam susu serta dapat dimanfaatkan untuk proses penghilangan mikroba dalam susu (Asselt dan Weeks, 2013).