



Potensi dan Aplikasi Diafiltrasi Pada Bidang Pangan, Perkebunan dan Peternakan

Aspiyanto*

Pusat Penelitian Kimia, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan

*Email : aspivanto_2010@yahoo.com

Abstract

Today, various kinds of membrane-based separation technology regarded as a innovative breakthrough of chemical engineering have been widely invented, demonstrated, used industrially and commercialized to clarify, purify and concentrate wanted and valuable components in food and beverage, agricultural and farming, dairy, and animal product industries. Diafiltration (DF) is an operation mode of a pressure-driven filtration applied in hybrid with membrane-based separation in which fresh water or solute-free pure solvent or buffer as dialysate is added to the feed fluid and forced across the membrane together with salts, unwanted microsolute and impurities. The main purpose of a DF process is to enhance the separation target of membrane-retained macrosolutes from membrane-permeable microsolute and reduce as much salt, unwanted microsolute and impurities in the feed fluid as possible. A principle cycle of DF step involves Ultrafiltration (UF) or Nanofiltration (NF) membrane to reduce fluid volume and increase macrosolute concentration, DF process at constant volume to decrease macrosolute concentration and fluid volume reduction to increase macrosolute concentration. The process of DF is discussed in connection with their applications in purification of cane juice, purification of gelatin, recovery of whey and recovery of fermented mung beans.

Keywords : diafiltration (DF), ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF), hybrid, retentate, permeate.

Pendahuluan

Kebutuhan pangan, pakaian dan pemukiman diberbagai belahan dunia, termasuk Indonesia yang terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun merupakan masalah mendasar jangka panjang karena menyangkut kelangsungan dan kesejahteraan hidup suatu bangsa. Namun demikian, hal ini tidak diikuti oleh penambahan lahan untuk kegiatan pertanian, perkebunan, hortikultura dan peternakan serta pemukiman, bahkan dari tahun ke tahun area lahan cenderung berkurang sebagai dampak pemanasan global dan alih fungsi lahan. Salah satu sarana yang harus ditingkatkan sebagai landasan pada pembangunan manusia Indonesia adalah ketersediaan (availability) dan keterjangkauan (accessibility) produk pangan secara berkecukupan, aman, berkualitas dan bergizi dengan keanekaragaman dan jumlah memadai serta harga terjangkau. Selain itu, ketersediaan (availability) dan keterjangkauan (accessibility) produk pangan harus tidak bertentangan dengan keyakinan, agama dan budaya. Keadaan ini telah menuntut tersedianya jaminan konsistensi kualitas produk pangan dengan standar yang dapat diterima oleh konsumen baik dari aspek kecukupan gizi, sensori maupun keamanan pangan (**Muralidhara dan Satyavolu, 1999; Mursito, 2013**). Pangan adalah segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati dan air, baik melalui pengolahan maupun tanpa melalui pengolahan, yang diperuntukan sebagai makanan atau minuman bagi konsumsi manusia, termasuk bahan baku, bahan tambahan dan bahan-bahan lain yang digunakan guna menyiapkan, mengolah, dan/atau membuat makanan atau minuman. Pangan olahan merupakan makanan atau minuman hasil proses melalui cara atau metode tertentu serta dengan atau tanpa bahan tambahan (**Anonim, 2005**).

Tahun 2015, Indonesia bersama negara-negara ASEAN menghadapi era baru, yang dinamakan ASEAN Economic Community (AEC) atau Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA). MEA merupakan komitmen negara-negara ASEAN guna meningkatkan perekonomian kawasan ASEAN untuk penguatan dan peningkatan daya saing produk dalam negeri supaya tercipta dan terwujud pertumbuhan ekonomi secara merata. Tidak hanya di sektor perdagangan, tetapi negara-negara ASEAN juga akan menghadapi dan memasuki tantangan pada sektor industri pangan sehingga keamanan pangan dituntut semakin tinggi. Alur barang, jasa dan orang akan semakin mudah keluar dan masuk suatu negara. Industri pangan nasional akan menjalani persaingan yang semakin terbuka dan ketat dari produk-produk olahan pangan sejenis dan bervariasi dari negara-negara tetangga. Oleh karena itu, industri, pemerintah dan masyarakat konsumen harus memberikan dukungan guna menguatkan dan meningkatkan industri pangan nasional meliputi upaya penguatan sarana





dan prasarana produksi, pengadaan bahan baku lokal serta penguatan insentif terhadap rantai pasok lebih efisien. Selain untuk kawasan ASEAN, kita diharapkan mampu untuk menjadi gaya penggerak (driving force) baik di tingkat domestik maupun di tingkat regional melalui penguatan kelembagaan, peningkatan kapasitas bersaing produk dan produk olahan, penguatan pasar domestik, peningkatan ekspor, pengendalian impor dan pemudahan sumber investasi asing (Foreign Direct Investment, FDI). Agar industri pangan mampu eksis, maka ada beberapa hal penting dalam menghadapi MEA, yaitu memiliki kemampuan-kemampuan membuat terobosan, proaktif, berkreaitif dan berinovasi, menggali dan meningkatkan usaha, meningkatkan promosi produk, mengembangkan jaringan, membangun komunikasi dengan lembaga informasi, bersaing serta beradaptasi dengan perkembangan dan kecenderungan bisnis di kawasan ASEAN. Kita secara kontinue harus bisa mendorong produk olahan agar menerapkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Dengan diterbitkan UU Pangan (UU No. 18, Tahun 2012), peta jalan (road map) penyelenggaraan pangan nasional untuk ketahanan, kemandirian dan kedaulatan pangan perlu dirumuskan dan diaktualisasikan secara lebih cepat dan lebih rinci, sehingga sistem industri perkebunan, hortikultura, pangan, pertanian, perikanan dan peternakan nasional yang merupakan salah satu unsur penting dalam penopang perekonomian nasional tetap bertumbuhkembang dan berdaya saing signifikan (Arifin, 2013; Anonim, 2015; Kayatmo, 1999).

Selama ini, kita hanya mampu mengeksport bahan baku mentah tanpa diproses terlebih dahulu, maka akan mendapatkan nilai tambah minimal. Kini, pemangku kepentingan dituntut untuk mengolah sumber daya alam berupa produk bahan baku mentah melalui penguatan industri proses pengolahan, pemisahan dan fortifikasi guna meningkatkan nilai tambah, nilai ekspor dan nilai ekonomi sehingga mampu mengendalikan ketergantungan impor bahan olahan serta meminimalkan defisit perdagangan. Setiap berlangsung tahapan-tahapan proses pengolahan, pemisahan dan fortifikasi, maka saat itu juga terjadi peningkatan nilai tambah. Seiring dengan peningkatan status sosial ekonomi dan perubahan gaya hidup, maka permintaan konsumen terhadap pangan olahan akan semakin meningkat pula. Karena itu, industri dituntut untuk berinovasi, berkreasi dan mengeksplorasi peluang pengembangan industri pangan olahan guna meningkatkan nilai ekonomi suatu produk pangan melalui fortifikasi. Fortifikasi biasanya ditujukan guna mempertimbangkan karakter produk dan segmen pasar. Kemajuan-kemajuan di bidang iptek yang meliputi pengolahan, pemisahan dan fortifikasi yang sebelumnya dipandang kurang bersinergi dengan bidang teknik kimia, dewasa ini telah berafiliasi kuat ke dalam bidang teknik kimia. Salah satu iptek yang bersinergi dan berafiliasi dengan bidang teknik kimia adalah iptek membran. Dalam beberapa tahun terakhir ini, iptek membran telah memimpin dalam inovasi secara signifikan pada unit proses dan operasi, melibatkan kesempatan menarik dalam disain, rasionalisasi dan optimisasi proses-proses produksi yang inovatif. Kebanyakan ketertarikan pengembangan untuk iptek membran karena industri sangat tergantung pada kemampuan untuk memadukan berbagai operasi membran pada siklus industri yang sama dengan keseluruhan keunggulan dalam kualitas produk, keterpaduan peralatan, dampak lingkungan dan aspek energi (Marshall, 1982).

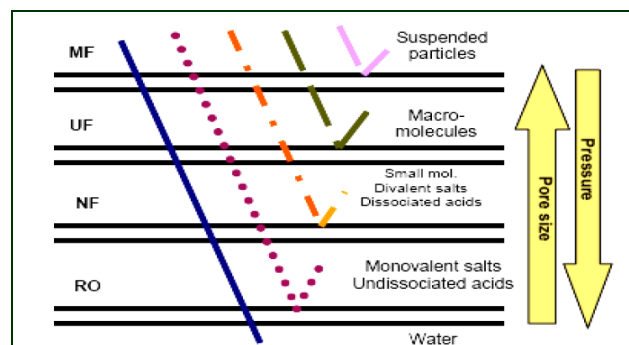
Teori dan prinsip filtrasi membran

Membran semi-permeabel didefinisikan sebagai suatu lapisan super tipis bersifat selektif, bermuatan listrik atau netral, berpori atau tidak berpori (dense) serta terbuat dari polimer sintesis dengan ketebalan sekitar 0,05 – 0,1 μm . Membran harus mampu memisahkan senyawa-senyawa bersifat permeabel tinggi terhadap air murni dan molekul solut berukuran sangat kecil daripada ukuran pori-pori membran, tetapi bersifat non-permeabel tinggi terhadap solut berukuran lebih besar daripada ukuran pori-pori membran serta bersifat hidrofilik (Howell dkk., 1993). Filtrasi membran merupakan suatu proses pemisahan kisaran ukuran mikro- dan nano-molekular secara fisika yang terjadi akibat adanya gaya pendorong (driving force), seperti perbedaan tekanan, potensial listrik, konsentrasi, potensial kimia dan temperatur yang memungkinkan terjadinya perpindahan massa dalam suatu fluida dari fasa satu ke fasa lain sehingga menghasilkan dua fraksi cairan, yaitu permeat dan retentat (pekatan). Permeat merupakan pelarut murni (air) dan solut berukuran partikel lebih kecil daripada pori-pori yang lolos secara bebas melalui membran semi-permeabel, sedangkan retentat (pekatan) merupakan fluida yang mengandung makromolekul yang ditolak dan ditahan oleh membran (Rose, 2003; Madaeni dan Mansourpanah, 2003; Aspiyanto, 1996).

Berdasarkan ukuran pori-pori membran, tekanan operasi dan derajat pemisahan, maka proses pemisahan berbasis membran dapat dibedakan menjadi mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF) dan hiperfiltrasi (HF) atau osmosa balik (OB). MF, yang merupakan salah satu unit operasi dirancang dan diterapkan untuk mengolah dan menjernihkan suspensi sebelum proses membran lain. MF mampu memisahkan mikroorganisme, kekeruhan (turbidity), partikel-partikel padatan tersuspensi berdasarkan pengaruh pengayakan (sieving) atau fraksionasi ukuran pori-pori membran dengan melewatkan fluida bertekanan rendah (berkisar < 2 bar) melalui membran semi-permeabel berukuran pori-pori 100 – 2.000 nm (Bennett, 2005; Yuan dan Zydney, 1999). UF dapat digunakan untuk memisahkan dan memekatkan makromolekul terlarut berBM 300 – 500.000 Da., solut koloidal tersuspensi, protein/polisakarida (10.000 –



1.000.000 Da. atau 2 – 10 nm) dalam fluida bertekanan (1 – 10 bar) melalui membran semi-permeabel berukuran pori-pori 10 – 200 nm (1.000 – 200.000 Da.) menurut mekanisme fraksinasi ukuran pori-pori membran (**Kwon dkk., 2000; Ghayeni dkk., 2005**). NF yang merupakan proses pemisahan membran generasi baru menjadi jembatan antara proses UF dan HF atau OB memiliki ukuran pori-pori sangat kecil berkisar 1 – 10 nm (300 – 1.000 Da.). NF mampu memisahkan partikel-partikel berdasarkan pengaruh-pengaruh pengayakan (*sieving*) atau fraksinasi ukuran pori-pori membran dan muatan listrik atau netral dengan melewati fluida bertekanan moderat (berkisar 5 – 40 bar) melalui membran semi-permeabel selektif guna menahan molekul kecil, ion-ion polivalen, senyawa-senyawa organik (BM 200 – 1.000 MWCO) dan gula. HF atau OB yang memiliki ukuran pori-pori < 1 nm - tanpa pori-pori (dense) digunakan untuk memisahkan partikel-partikel terlarut berdasarkan mekanisme solusi dan difusi dengan mengalirkan larutan bertekanan tinggi (10 – 100 bar) melalui membran semi-permeabel selektif guna menahan NaCl dan ion-ion mono valensi sebagai retentat (pekatan) dan meloloskan pelarut murni (air) secara bebas melalui membran (**Mehiguene dkk., 1999; Cadotte dkk., 1988; Mulijani dkk., 2010; Childress and Elimelech, 2000**), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi membran, ukuran pori-pori membran, tekanan operasi dan spesies-spesies yang tertahan pada membran.

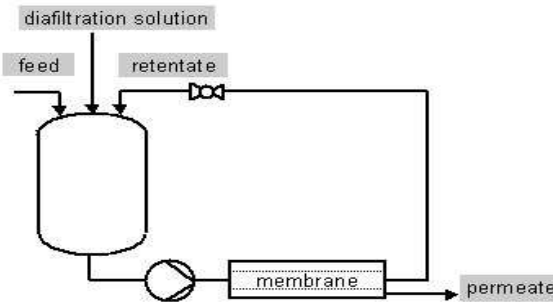
Prinsip diafiltrasi (DF)

Diafiltrasi (DF) merupakan salah satu unit operasi pada bidang teknik kimia yang berintegrasi (hibrid) dengan membran MF, UF dan NF untuk menghilangkan, mengurangi, mengganti dan mengeliminasi garam serta mikrosolut lain (anion, kation, gula, alkohol, garam, pelarut, senyawa anti-nutrisi (non-gizi), solut BM lebih kecil dan impuritas) dan bersifat permeabel dari fluida bertekanan yang mengalir sejajar permukaan membran mengandung makromolekul (protein, peptida, asam-asam amino, asam nukleat dan molekul-molekul biologi kecil lainnya) berdasarkan mekanisme pengayakan (*sieving*) dan fraksinasi ukuran molekular solut dengan cara penambahan air murni (dialisat) secara langsung dan kontinue ke tanki berisi fluida feed atau retentat (larutan makromolekul berBM lebih besar) pada laju alir sama dengan laju alir massa air melewati membran sebagai permeat. Diagram alir proses Diafiltrasi berhibrid dengan membran MF, UF, NF atau HF (OB) ditunjukkan pada Gambar 2 (**Grandison dan Lewis, 1996**).

Tujuan DF adalah untuk mengurangi sebanyak mungkin atau memodifikasi konsentrasi garam dan impuritis yang tidak dikehendaki dari fluida feed (retentat), mempersempit distribusi ukuran partikel, mencuci molekul solut bersifat permeabel, memaksimalkan perolehan kembali senyawa-senyawa berharga serta melanjutkan proses pemisahan membran guna mengatasi fluks rendah dan konsentrasi molekul solut tinggi serta mempertahankan volume feed (retentat) tetap konstan hingga hasil dan kemurnian yang dikehendaki telah tercapai sesuai target (**Regina dkk., 2001; Anonim, 1981**). Hal penting dalam proses DF adalah Bilangan Diavolum atau Volume Diluted yaitu perbandingan antara volume air bersih (dialisat) dan volume fluida feed awal selama proses DF. Pori-pori membran harus cukup besar untuk melewati solut-solut bersifat permeabel lolos secara bebas melalui membran (proses fraksinasi) serta pori-pori membran cukup kecil untuk menahan solut-solut berBM lebih besar (impermeabel) terhadap membran serta mengalir kembali (sirkulasi) menuju ke tanki larutan bulk (fluida feed) apabila untuk proses pemekatan (**Schwartz, 2014**).

Dua moda operasi DF yang paling umum diterapkan adalah Diafiltrasi Kontinue (DFK) dan Diafiltrasi Diskontinue (DFD). Diafiltrasi Kontinue (DFK) (DF volume konstant) yang menggunakan Ultrafiltrasi (DFK-UF) merupakan suatu moda proses membran UF, dimana air murni (dialisat) ditambahkan secara kontinue ke tanki berisi fluida feed (retentat) pada laju alir sama dengan laju alir massa air melewati membran (permeat) yang dipisahkan dari moda guna mempertahankan volume konstan. Selama proses DFK, volume dan konsentrasi makrosolut pada feed (retentat) tidak berubah. Pada moda DFK-UF ini, makromolekul berBM lebih besar yang tertahan oleh membran dengan konsentrasi konstan tetap tertinggal pada tanki fluida feed (retentat), sementara molekul-molekul solut berBM sangat kecil dan

bersifat permeabel (anion, kation, gula, alkohol, garam, pelarut, senyawa anti-nutrisi/non-gizi dan impuritis) akan berkurang konsentrasinya di dalam tanki fluida feed (retentat). Apabila air digunakan untuk proses DF, maka garam-garam terlarut akan dicuci dan konduktivitas menjadi lebih rendah. Selama ini, moda DFK-UF ini telah dinamakan pencucian molekular dengan volume fluida feed dan konsentrasi makrosolut pada feed (retentat) konstan serta memperpendek waktu proses yang dibutuhkan dan memerlukan beberapa metoda pengendalian ketinggian fluida yang akan mengukur penambahan dialisat guna menjaga volume retentat konstan.



Gambar 2. Diagram alir proses Diafiltrasi berhibrid dengan membran MF, UF, NF atau HF (OB).

Sementara, Diafiltrasi Diskontinue (DFD) menggunakan membran UF (DFD-UF) kadangkala juga diistilahkan dengan UF/Re-UF. DFD-UF merujuk berturut-turut kepada suatu proses pengurangan massa air serta molekul-molekul solut berBM sangat kecil dan bersifat permeabel (anion, kation, gula, alkohol, garam, pelarut, senyawa anti-nutrisi/(non-gizi dan impuritas) dalam feed fluida melalui proses pemekatan dengan UF hingga mencapai volume tertentu, penambahan air murni (dialisat) ke tanki berisi fluida feed dengan volume seperti volume feed fluida awal serta pengurangan kembali massa air serta molekul-molekul solut berBM sangat kecil dan bersifat permeabel (anion, kation, gula, alkohol, garam, pelarut, senyawa anti-nutrisi/non-gizi dan impuritas) melalui proses pemekatan dengan UF (Re-UF). Proses ini kemudian diulang lagi hingga konsentrasi solut BM kecil (garam) yang tersisa di tanki berisi fluida feed (retentat) tercapai serta volume fluida feed (retentat) dengan makromolekul berBM lebih besar yang dikehendaki sesuai target (Ghosh, 2003; Porter, 1990).

Aplikasi diafiltrasi (DF) terhadap hasil tanaman pangan, perkebunan dan peternakan

Studi yang menerapkan teknik filtrasi membran terhadap pemisahan protein kedelai pertama kali dilakukan pada awal sampai pertengahan tahun 1970 ketika Shallo (Shallo dkk., 2001) menerapkan proses DFK menggunakan membran UF (300.000 Da.) berbentuk tubular dan 50.000 MWCO (HF15-45-XM50) berbentuk hollow fiber berturut-turut terhadap ekstrak protein kedelai dan ekstrak air kedelai untuk menghasilkan konsentrat protein kedelai. Kemudian, penerapan teknik DF berkembang luas meliputi bidang pangan, perkebunan dan peternakan.

• Pemurnian nira mentah untuk menghasilkan gula kristal putih (GKP)

Secara garis besar, proses pembuatan gula tebu yang biasa dilakukan berawal dari penebangan tanaman tebu sampai dengan menjadi gula kristal putih (GKP) seperti yang terdapat dan beredar di pasaran meliputi proses-proses pengepresan dan penggilingan potongan batang tebu, penjernihan (klarifikasi) nira mentah, penguapan nira jernih diikuti oleh pengolahan nira kental dengan sulfur dioksida (sulfitasi nira kental), pembentukan kristal gula biasanya dengan pan vakum secara batch serta sentrifugasi, pengeringan dan pengemasan kristal gula (Balakrishnan dkk., 2000). Salah satu tahapan penting dan berpengaruh terhadap produksi dan kualitas GKP adalah tahapan penjernihan (klarifikasi) dan pemurnian nira mentah melalui proses filtrasi membran. Tujuan dari penjernihan (klarifikasi) dan pemurnian adalah untuk memisahkan antara nira serta suspensi kasar, dispersi koloid dan dispersi terlarut yang terkandung didalam nira sebanyak mungkin tanpa adanya kerusakan sukrosa dengan mengurangi kehilangan gula semiminal mungkin guna menghasilkan nira sejernih dan semurni mungkin melalui beberapa penggantian proses penjernihan (klarifikasi) secara konvensional. Penggantian proses penjernihan (klarifikasi) meliputi proses MF (pengganti unit pengendapan), proses UF (pengganti unit sulfatasi dan karbonatasi), proses NF (berfungsi sebagai penghilang garam-garam terlarut) dan proses HF atau OB (berfungsi sebagai pra pemekatan). Rangkaian proses membran UF, NF dan (DF merupakan salah satu alternatif teknologi yang diterapkan pada industri gula guna memperbaiki kualitas nira jernih, mengurangi atau menghilangkan bahan-bahan kimia (lime dan belerang) dan bahan pengotor sehingga menghasilkan gula kristal putih (GKP) bersih, transparan dan berkualitas tinggi. Teknologi ini juga diyakini dapat mempersingkat tahapan proses serta



mereduksi kebutuhan bahan kimia dan energi sehingga biaya produksi berpotensi dapat direduksi (**Suprihatin, 2007; Widi, 2014; Hartanto, 2014**).

• Pemurnian gelatin

Gelatin, suatu bahan makromolekul alami, biopolimer hidrofilik yang secara khusus berinteraksi dengan air dan mengalami perubahan sifat fisika-mekanis, bahan pseudo-plastik dengan aliran visko-elastis (fluida non-Newtonian), memiliki berat molekul 20.000 – 250.000 Da., merupakan suatu campuran heterogen polipeptida dan bahan protein berbentuk koloid tak berasa, tak berbau, tak berwarna, translucent dan rapuh (ketika kering) yang biasanya dihasilkan dari proses hidrolisa irreversibel, selektif dan parsial daripada bahan baku kolagen alami yang diperoleh dari berbagai hasil samping hewan, seperti tulang atau ligamen (jaringan ikat) hewan, tulang hewan ternak, kulit hewan ternak, jaringan kolagen kulit, ceker ayam (shank), tulang dan kulit ikan serta babi dari rumah pemotongan hewan melalui proses asam atau basah (alkali) atau enzimatis atau pemanasan dalam air. Kriteria penting untuk menentukan kualitas gelatin adalah nilai bloom (kekuatan gel), yang umumnya berkisar antara 50 – 300 (**Nhari dkk., 2012; Dutre dan Tragardh, 1995; Zhang dkk., 2007**). Gelatin, yang merupakan ingredien multi fungsi dan bernilai tinggi, secara luas banyak digunakan untuk produk pangan dan non-pangan. Pada produk pangan, gelatin banyak digunakan sebagai bahan penstabil, pembentuk gel dan film, pengikat, pengental, pemadatan, perekat, pengemulsi, pembusaan (*foaming/whipping*), pengikat air (*water binding*), pencegah pengkristalan es dan pembungkus makanan yang bersifat dapat dimakan (*edible coating*). Industri pangan yang memerlukan gelatin adalah industri permen, jely, es krim, salad dressing, saus, yogurt, pudding, jam, cake dan roti, pie, produk flavor gurih (ikan dan daging) serta produk olahan susu. Sementara, pada produk non-pangan gelatin digunakan dalam industri farmasi dan kesehatan, film fotografi, pelapis kertas, tinta inkjet, korek api, gabus, pelapis kayu untuk interior, karet, plastik, kosmetika (**Yoshimura dkk., 2000; Yoshimura dkk., 2000; Kovács dan Czermak, 2013**).

Larutan gelatin (**Rejeki, 2014**) mengandung sekitar 85 – 92 % protein, 8 – 12 % air dan 0,5 – 4 % garam-garam mineral. Garam dalam crude gelatin cenderung merusak struktur polimer. Pada proses konvensional, peralatan penukar ion digunakan untuk memisahkan ion-ion dari garam terlarut dan digabungkan dengan peralatan penguapan untuk proses pemekatan. Proses membran mempunyai peluang untuk menggantikan kedua proses tersebut. Guna mengurangi konsentrasi garam dalam crude gelatin, maka terhadap larutan gelatin perlu dilakukan proses pemurnian melalui moda DF. DF merupakan suatu teknik unit operasi yang bersinergi dengan UF (polisulfon, 20.000 MWCO) untuk mencuci dan mengganti secara efektif terhadap garam-garam atau mikrosolut yang memiliki ukuran partikel lebih kecil daripada ukuran pori-pori membran UF dengan partikel-partikel yang tertahan pada permukaan membran UF dari suatu fluida gelatin. Teknik DF-UF dilakukan dengan penambahan air bersih (dialisat) ke tanki yang berisi fluida gelatin dengan laju alir diusahakan sesama mungkin dengan laju alir massa air dan garam menembus pori-pori membran (permeat). Moda DF-UF secara spesifik meliputi tahapan pemekatan protein (pengurangan volume fluida gelatin) serta pemisahan garam-garam, mikrosolut dan impuritis yang bersifat permeabel terhadap membran dari fluida gelatin melalui pertukaran atau pergantian dengan penambahan air murni (dialisat) secara kontinue (atau diskontinue) pada laju alir sama dengan laju alir massa air menembus pori-pori membran (permeat) guna memperkuat derajat pemisahan serta mendapatkan komposisi dan kemurnian gelatin yang diinginkan. Jenis membran UF yang digunakan adalah poliethersulfon (10.000 MWCO, GR-81-PP) dan polisulfon (20.000 MWCO, GR-61-PP) dengan temperatur 50 °C, tekanan operasi 3,5 bar dan konsentrasi gelatin 3 – 20 % serta menghasilkan fluks masing-masing 4 – 18 L/m².jam dan 10 – 60 L/m².jam. Hasil dari proses DF-UF terhadap larutan gelatin adalah permeat yang mengandung garam-garam dan komponen-komponen yang tidak diinginkan serta retentat yang mengandung larutan gelatin murni. Selanjutnya, larutan gelatin murni dilakukan proses pengeringan dan pengemasan hingga diperoleh produk gelatin kering dengan kandungan garam < 0,05 % (berat/volume) (**Simon dkk., 2002**).

• Recovery konsentrat protein whey (WPC) dan isolat protein whey (WPI)

Penerapan UF skala komersial diawali dengan instalasi fasilitas pemrosesan whey di Selandia Baru pada tahun 1971. Whey (kebanyakan mengandung laktosa) sebagai hasil samping pada pembuatan keju berjumlah sekitar 80 – 90 % dan protein susu sekitar 20 %. Whey dengan kandungan BOD dan COD tinggi serta komponen-komponen yang bernilai dan potensial memiliki prospek dan peluang untuk diolah lebih lanjut guna mengurangi beban lingkungan apabila tidak diolah lebih lanjut dan kemungkinan menjadi bahan aditif terformulasi pada produk pangan olahan industri (**Hidayat dkk., 2006; Muhammad, 2013; Lucey dkk., 2000**). Produksi whey dalam bentuk konsentrat protein whey (Whey Protein Concentrate, WPC35) dan isolat protein whey (Whey Protein Isolate, WPI) dilakukan melalui proses pemisahan berurutan dan bertahap dengan melewatkannya melalui membran UF (Polietersulfon) berbentuk gulungan (*spiral wound*) (UF#1), proses DF-MF (Poliviniliden Fluorida, PVDF) berbentuk konfigurasi gulungan (*spiral wound*) DF-MF dan proses DF-UF (Polietersulfon) berbentuk konfigurasi gulungan (*spiral wound*) (DF-UF#2). Whey (*supernatant*) yang ditempatkan dalam tanki dipompa dengan tekanan 80 – 120 psi dan sistem aliran paralel (*tangensial*) melalui instalasi





membran UF#1 sehingga dihasilkan dua aliran. Aliran whey yang lolos secara bebas melalui luasan matriks membran UF#1 dinyatakan sebagai permeat UF#1, sementara aliran whey yang ditahan dan disirkulasikan ke fluida whey umpan dinyatakan sebagai retentat UF#1 (konsentrat WPC). Proses pemekatan UF#1 menghasilkan faktor pemekatan volume sekitar 6 – 7 kali, padatan total 35 % – 45 % dan permeat UF#1 kaya laktosa sekitar 70 – 80 %. Konsentrat protein whey (WPC) yang mengandung IgA, IgG, albumine, lactoferrin dan lactoperoxidase merupakan komponen-komponen bernilai karena sifat-sifat gizi dan fungsional serta dapat digunakan untuk pangan, kosmetika, farmasi dan industri kesehatan (**Benevides dkk., 2006; Hanemaaijer dan Hiddink, 1985**). Guna meningkatkan kandungan protein whey, maka retentat UF#1 (konsentrat WPC) ini dapat diproses lebih lanjut menjadi isolat protein whey (whey protein isolate, WPI) melalui pencucian dan pemurnian melalui teknik Diafiltrasi yang dipadukan (hibrid) dengan membran MF (PVDF) (DF-MF) hingga kandungan padatan total (protein dan lain-lain) dalam WPI ditingkatkan menjadi 90 % (**Kumar dkk., 2013**).

DF, suatu unit operasi pemisahan berbasis membran bagian dari teknik kimia mampu mencuci, mengeliminasi, mengurangi, menghilangkan dan mengganti secara fisika dan konveksi daripada molekul-molekul solut sangat kecil bersifat permeabel (lolos secara bebas melalui pori-pori membran) dari fluida whey WPC35 bertekanan (20 – 40 psia) yang mengalir secara paralel (tangensial) pada permukaan membran MF mengandung padatan tersuspensi berukuran partikel lebih besar daripada pori-pori membran MF berdasarkan mekanisme pengayakan (sieving) dan ukuran molekular solut dengan cara penambahan air murni (dialisat) seketika ke tanki berisi fluida feed atau retentat UF#1 (konsentrat WPC) (larutan yang mengandung padatan tersuspensi dan makromolekul lebih besar) pada laju alir sama dengan laju alir massa air melewati membran (permeat DF-MF) guna mengurangi sebanyak mungkin cream, impuritis serta partikel berukuran lebih kecil daripada ukuran pori-pori membran MF dari fluida whey WPC35 (konsentrat WPC), mencuci molekul solut bersifat permeabel serta melanjutkan proses pemisahan membran MF serta mempertahankan volume retentat UF#1 (konsentrat WPC) tetap konstan hingga hasil dan kemurnian yang dikehendaki telah tercapai sesuai target. Pori-pori membran MF harus cukup besar untuk melewatkan komponen permeabel melalui membran MF apabila proses fraksionasi. Hasil daripada proses DF-MF terhadap whey WPC35 berupa permeat DF-MF yang mengandung protein whey, β -Lactoglobulin, α -Lactalbumin, Immunoglobulin, Blood Serum Albumin dan Proteose-Peptide serta komponen-komponen lain dengan ukuran partikel lebih kecil daripada pori-pori membran MF, sementara retentat DF-MF mengandung cream serta komponen-komponen lain dengan ukuran partikel lebih besar daripada pori-pori membran MF. Proses DF-MF terhadap fluida whey WPC35 (konsentrat WPC atau retentat UF#1) menghasilkan faktor pemekatan volume sekitar 20 – 25 kali. Selanjutnya, permeat DF-MF yang mengandung protein whey, β -Lactoglobulin, α -Lactalbumin, Immunoglobulin, Blood Serum Albumin dan Proteose-Peptide serta komponen-komponen lain dengan ukuran partikel lebih kecil daripada pori-pori membran MF akan diproses lagi melalui teknik DF yang berhibrid dengan membran UF#2 (DF-UF) berbahan Poliethersulfon (PES) berukuran pori-pori sekitar 1 – 100 nm (DF-UF#2).

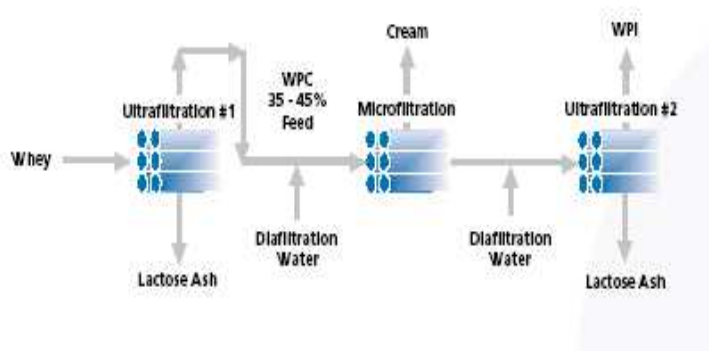
Tabel 1. Parameter proses dan sistem membran yang digunakan untuk menangani, mengolah dan memproduksi whey dalam bentuk WPC dan WPI (**Anonymous, 2006**).

Parameter	Proses dan sistem membran		
	UF#1	MF	UF#2
Feed	Whey	WPC35	Permeat MF
Faktor Pemekatan Volume	6 – 7	20 – 25	15 – 20
Jenis Membran	Polietersulfon (PES)	Poliviniliden Fluorida (PVDF)	Polietersulfon (PES)
Bentuk Konfigurasi	gulungan (spiral wound)	gulungan (spiral wound)	gulungan (spiral wound)
Tekanan, Psi	80 – 120	20 – 40	80 – 120
Suhu, °C	Dingin (35 – 40 °F) atau Panas (~ 120 °F)		

Metoda DF-UF (Polietersulfon) berbentuk gulungan (spiral wound) DF-UF#2 untuk memperoleh whey WPI adalah sama seperti yang dilakukan dari proses DF-MF (Poliviniliden Fluorida) berbentuk konfigurasi gulungan (spiral wound) DF-MF untuk WPC. Namun demikian, tekanan operasi yang digunakan pada teknik DF-UF#2 adalah 80 – 120 psia karena pori-pori membran yang digunakan lebih kecil daripada pori-pori membran MF. Pori-pori membran UF#2 ini cukup kecil guna menahan dan menolak komponen-komponen berukuran partikel lebih besar daripada ukuran pori-pori membran sehingga metoda yang dilakukan berupa proses pemekatan. Hasil dari DF-UF#2 berupa retentat DF-UF#2 (konsentrat Isolat Protein Whey, WPI) yang mengandung protein whey, β -Lactoglobulin, α -Lactalbumin, Immunoglobulin, Blood Serum Albumin dan Proteose-Peptide dengan ukuran partikel lebih besar daripada ukuran pori-pori membran UF#2 serta permeat DF-UF yang mengandung air, laktosa dan impuritis yang permeabel. Proses DF-UF#2 memberikan faktor pemekatan volume sekitar 15 – 20 kali. WPI yang mengandung air, laktosa dan impuritis yang



permeabel berturut-turut dipisahkan melalui teknik hiperfiltrasi (HF) atau osmosa balik (OB) sebagai pra pemekatan awal, penguapan vakum dan pengering kabut. Dengan menggunakan pengering kabut (spray dryer), maka hasil WPI total diperkirakan mencapai sekitar 0,5 lb bubuk/100 lb whey umpan dengan kandungan padatan total 25 %. Parameter proses dan sistem membran yang digunakan untuk menangani, mengolah dan memproduksi whey dalam bentuk WPC dan WPI ditunjukkan pada Tabel 1 (Anonymous, 2006) dan diagram alir proses perolehan WPC dan WPI ditunjukkan pada Gambar 3 (Anonim, 2013, Shao dan Sydney, 2004).



Gambar 3. Diagram alir proses pembuatan konsentrat protein whey (WPC) dan isolat protein whey (WPI) (Anonim, 2013, Shao dan Sydney, 2004).

Dipasaran, banyak dijumpai whey dalam bentuk bubuk, WPC dan WPI. Whey bubuk dihasilkan dengan memanfaatkan hasil pemisahan secara langsung dalam proses pembuatan keju. Lemak dipisahkan dari whey cair, dipasteurisasikan dan dikeringkan sehingga diperoleh whey dalam bentuk bubuk. Kadang-kadang, whey bebas lemak dilakukan proses pengurangan mineral untuk menghasilkan whey bebas mineral (demineralized whey). Berdasarkan kandungan protein, WPC terbagi menjadi WPC34 (kandungan protein berkisar 34 %), WPC50 (kandungan protein berkisar 50 %) dan WPC80 (kandungan protein berkisar 80 %). WPI dihasilkan melalui proses membran MF dan membran penukar ion (ion exchange) terhadap whey cair sehingga diperoleh WPI bebas komponen non-protein. WPI ini merupakan jenis whey dengan kandungan protein tertinggi hingga 90 % atau bahkan lebih. Kemampuan UF untuk memekatkan whey adalah dari konsentrasi padatan 6 % menjadi sekitar 24 % pada temperatur serendah 7 °C. Saat ini, whey telah digunakan dalam produk pangan secara meluas karena sifat-sifat fungsionalnya. Protein whey banyak digunakan dalam produk pangan dan minuman untuk olahraga, produk olahan daging, snack (sebagai bahan pembawa flavor, peningkat flavor, memodifikasi tekstur dan meningkatkan nilai gizi), formula makanan bayi, bakery dan lain-lain. Penambahan komponen protein whey pada produk-produk pangan mampu memperbaiki tekstur, flavor dan stabilitas emulsi (Anonim, 2010).

• Perolehan kacang hijau terfermentasi berprobiotik

Pembuatan ekstrak kaldu kacang hijau berprobiotik dilakukan berturut-turut melalui sterilisasi ekstrak kacang hijau terfermentasi pada 121 °C selama 15 menit, pendinginan hingga 40 °C selama 30 menit serta pencampuran antara ekstrak kacang hijau terfermentasi tersterilisasi dan *L. bulgaricus* dan *S. thermophilus* (1 : 1) 15 % (v/v), gula 12 % (b/v) dan skim 10 % (w/v) dan pengadukan. Fermentasi campuran BAL ini dilakukan pada 40 °C selama 48 jam hingga terbentuk biomassa kacang hijau terfermentasi berprobiotik. Biomassa ini dihomogenisasikan pada 4000 rpm selama 10 menit serta difiltrasi melalui ayakan 140 mesh hingga diperoleh filtrat kacang hijau terfermentasi berprobiotik dan residu. Satu bagian filtrat kacang hijau terfermentasi berprobiotik dan 2 bagian air bersih dicampur, dihomogenisasikan pada 4000 rpm selama 10 menit dan disaring melalui ayakan 200 mesh hingga diperoleh suspensi kacang hijau terfermentasi berprobiotik sebagai feed pada proses DF dan residu. Produk pangan olahan berbasis kacang-kacangan terfermentasi ini masih mengandung garam dan impuritis sebagai akibat proses pembelahan sel-sel dalam kondisi brine. Guna mengurangi dan mengeliminasi garam dan impuritis dalam produk fermentasi ini perlu dilakukan proses pemisahan, pemurnian/pencucian dan pemekatan/peningkatan komponen-komponen bermanfaat melalui proses DF-UF lembaran datar (flat sheet). DF dilakukan secara continue terhadap feed kacang hijau terfermentasi berprobiotik bertekanan melalui modul membran Ultrafiltrasi polysulfon (GR-61-PP, 20.000 Da.) dengan laju alir 8,7 L/menit, suhu ruang dan tekanan operasi 5 bar. Pada waktu bersamaan dilakukan penambahan air bersih (air RO) sebagai dialiat selut murni (air bersih (air RO) murni) yang berpenetrasi melalui pori-pori membran UF sebagai permeat. Penambahan



dialisis berdasarkan rasio antara volume dialisis dan volume suspensi kacang hijau terfermentasi berprobiotik, yang dinyatakan sebagai Bilangan Diavolum (N_d). Dalam proses DF-UF ini dilakukan variasi N_d , yaitu 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1 dan 1,25. Selain itu, penambahan air murni (dialisis) bertujuan untuk melarutkan solut yang tidak dikehendaki. Hibrid DF-UF memberikan retentat/konsentrat sebagai hasil utama yang mengandung padatan total, protein (total protein, protein terlarut, N-amino), gula pereduksi, total asam, garam dan total LAB serta senyawa-senyawa terlarut dan flavor gurih (savory/umami) BM tinggi serta permeal sebagai hasil samping yang mengandung garam, unsur-unsur anti-nutrisi (non-gizi), senyawa-senyawa flavanoid (isoflavon, antioksidan polyfenol), estrogen, oligosakarida (raffinosa, stakhiosa, verbaskosa), kalsium (Ca), fosfor (P), serta senyawa-senyawa minor, unsur-unsur mikro dan senyawa-senyawa terlarut BM lebih rendah daripada pori-pori membran UF. Diagram alir proses pembuatan konsentrat kacang hijau berprobiotik dan DF-UF sebagai flavor savory berprobiotik menggunakan inokulum BAL dari kultur campuran *L. Bulgaricus* dan *S. Thermophilus* (Aspiyanto dan Susilowati, 2010).

Teknik diafiltrasi (DF) banyak diterapkan dalam industri pangan dan perkebunan, dairy dan whey, kesehatan dan farmasi, bioteknologi dan fermentasi, peternakan, perikanan, teknik kimia dan lain-lain. Beberapa contoh aplikasi Diafiltrasi-Mikrofiltrasi (DF-MF) adalah pengurangan garam pada kacang merah terfermentasi sebagai senyawa fungsional flavor gurih (savory), recovery penicillin G dari kaldu fermentasi serta pemurnian vaksin, monoclonal antibody dan protein rekombinan dan lain-lain. Sementara, contoh aplikasi Diafiltrasi-Ultrafiltrasi (DF-UF) adalah pengolahan ekstrak kedelai dan lupin guna menghasilkan protein nabati, pemurnian ekstrak spleen ikan tuna, pemekatan β -lactoglobulin dari supernatant dan casein, pemurnian, pemekatan dan recovery hemiselulosa dari oligosakarida, monosakarida serta penghilangan garam. Sedangkan, contoh aplikasi Diafiltrasi-Nanofiltrasi (DF-NF) adalah produksi bir, wine atau cider bebas ethanol, pemurnian dan perolehan L-theanine dari teh hijau serta pemekatan nira xylo-oligosakarida (Xos). pengolahan ekstrak kedelai dan lupin guna menghasilkan protein nabati, pemurnian ekstrak spleen ikan tuna, pemekatan β -lactoglobulin dari supernatant dan casein, pemurnian, pemekatan dan recovery hemiselulosa dari oligosakarida, monosakarida serta penghilangan garam. Selanjutnya, contoh aplikasi Diafiltrasi-Hiperfiltrasi (DF-HF) adalah pemekatan dan recovery galaktoglukomanan (Noble dan Stern, 1999).

Penutup

DF yang merupakan salah satu jenis unit proses dan unit operasi pada bidang teknik kimia berbasis pemisahan membran dan bersifat non-thermal yang diintegrasikan (hibrid) dengan proses MF, UF, NF dan HF atau OB telah diterapkan pada industri-industri agro-food, susu dan produk olahan susu (dairy), bioteknologi dan fermentasi, biokimia, farmasi serta kesehatan guna mengurangi, mengganti, mengeliminasi dan menghilangkan molekul-molekul solut sangat kecil bersifat permeabel, seperti anion, kation, alkohol, garam, pelarut, senyawa anti-nutrisi (non-gizi), solut BM lebih kecil, komponen fungsional, komponen nutrisi sensitif panas dan impuriti dari fluida yang mengandung makromolekul dengan BM lebih besar (protein, peptida, asam-asam amino, asam nukleat, gula dan molekul-molekul biologi).

Di masa-masa mendatang, industri pangan mulai memproduksi pangan dan pangan olahan berbasis rendah garam, rendah lemak, rendah kalori serta flavor dan citarasa maksimal sebagai hasil implementasi dari salah satu bidang teknik kimia berbasis membran dan bersifat non-thermal (Diafiltrasi) menuju pola pangan bernilai nutrisi (gizi) lebih (sehat) terhadap standar yang ditetapkan. Industri pangan dan pangan olahan harus memberi keyakinan kepada pengguna (konsumen) bahwa pangan dan pangan olahan yang disuplai, diproduksi dan didistribusikan dari segi kuantitas dan kualitas memang benar-benar pangan dan pangan olahan yang memberikan manfaat kesehatan.

Produk samping hasil proses DF berhibrid dengan proses membran berupa anti-nutrisi (non-gizi), garam, senyawa-senyawa flavanoid (isoflavon, antioksidan polyfenol), estrogen, oligosakarida (raffinosa, stakhiosa, verbaskosa), kalsium (Ca), fosfor (P), serta senyawa-senyawa minor, unsur-unsur mikro dan senyawa-senyawa terlarut BM lebih rendah daripada pori-pori membran yang sebelumnya dipandang dan dianggap kurang memberikan manfaat bisa digunakan kembali melalui proses pemekatan dengan menggunakan membran HF atau OB. Produk ini merupakan hasil suatu inovasi dan kreativitas produk pangan olahan guna memberikan karakteristik dan sifat-sifat fungsional bagi kesehatan.

Pendekatan penggunaan sistem membran HF atau OB untuk mengolah berbagai hasil samping proses membran MF, UF dan NF yang tidak diinginkan adalah melakukan proses reklamasi setempat untuk menghasilkan air bersih yang akan digunakan kembali dalam instalasi proses. Alasan utama untuk reklamasi, mengolah dan memurnikan air dalam instalasi proses adalah mengurangi ketergantungan pada sumber air dari luar sistem, mengurangi volume buangan limbah cair dan memanfaatkan air bebas mineral hasil HF atau OB untuk kegiatan proses dan pencucian (CIP). Alasan utama tersebut merupakan aspek kunci yang dikaitkan dengan kelayakan ekonomi terhadap teknologi pemrosesan dan pemisahan.





Daftar Pustaka

- Muralidhara, H. S.; Satyavolu, J., 1999, Reducing Food-Processing Costs in the 21st Century : Need for Innovative Separation Technologies, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Volume 38, Number 10, Oktober, 3710 – 3713.
- Mursito, Bambang., 2013, Testing in Food Quality & Testing. *Majalah Bulanan FOOD REVIEW INDONESIA*, Volume VIII, Nomor 12, Desember, 58.
- Anonim, 2005, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Keamanan, Mutu dan Gizi Pangan, Nomor 28, Tahun 2004 didalam *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) – Institut Pertanian Bogor (IPB), Volume XVI. Nomor 1 : 97.
- Arifin, Bustanul, 2013, Indonesia Siap Hadapi Masyarakat Ekonomi ASEAN, *Majalah Bulanan FOODREVIEW INDONESIA*, Volume VIII, No. 12, Desember, 26 – 27.
- Anonim, 2015, Strategi BPOM Menghadapi MEA 2015, *Majalah Bulanan FOODREVIEW INDONESIA*, Volume X, No. 2, Februari, 21 – 22.
- Kayatmo, S., 1999, Peranan Teknologi dan Manufakturing pada Abad 21, *BULETIN IPT*, No. 6, Volume IV, Februari/Maret, 17.
- Marshall, K. R., 1982, Treating Food Wastes for Profit : Physicochemical Separations, *CSIRO Fd. Res. Q.*, 42, 8.
- Howell, J. A.; Sanchez, V.; Field, R. W., 1993, *Membranes in Bioprocessing : Theory and Applications*, First edition, Blackie Academic & Professional, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow G64 2NZ, U. K., 3.
- Rose, P., 2003, Separation Solutions for the Global Brewing Industry, *Filtration + Separation*, Elsevier, Kidlington, OX5 1GB, UK, Juni, 21 – 22.
- Madaeni, S. S.; Mansourpanah, Y. 2003, COD Removal from Concentrated Wastewater Using Membranes, *Filtration + Separation*, Elsevier, Kidlington, OX5 1GB, UK, July/August, 43.
- Aspiyanto, 1996, Status dan Kecenderungan Masa Depan Pemakaian Membran Di Indonesia, *Warta INSINYUR KIMIA, Sarana Komunikasi, Badan Kejuruan Kimia, Persatuan Insinyur Indonesia*, Vol. 10, No. 4, 16.
- Bennett, A., 2005, Membranes in Industry : Facilitating Reuse of Wastewater, *Filtration + Separation*, Elsevier, Kidlington, OX5 1GB, UK, October, 28.
- Yuan, W.; Zydny, A. L., 1999, Humic Acid Fouling During Microfiltration, *Journal of Membrane Science*, 157, 1.
- Kwon, D. Y.; Vigneswaran, S.; Fane, A. G.; Aim, R.B., 2000, Experimental determination of critical flux in cross-flow microfiltration, *Separation and Purification Technology*, 19 : 169.
- Ghayeni, S. B. S.; Beatson, P. J.; Fane, A. G.; Schneider, R. P., 1999, Bacterial passage through microfiltration membranes in wastewater applications, *Journal of Membrane Science*, 155 : 71.
- Mehiguene, K.; Garba, Y.; Taha, S.; Gondrexon, N.; Dorange, G., 1999, Influence of operating conditions on the retention of copper and cadmium in aqueous solutions by nanofiltration : experimental results and modelling, *Separation and Purification Technology*, 15 : 181.
- Cadotte, J.; Forester, R.; Kim, M.; Petersen, R.; Stocker, T., 1988, Nanofiltration membranes broaden the use of membrane separation technology, *Desalination*, 70 : 77.
- Mulijani, S.; Budianto, E.; Hikam, M., 2010, Formation and Characterization of Asymmetric Nanofiltration Membrane : Effect of Temperature and Surfactant as a Template, *ASEAN Journal on SCIENCE & TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT, (AJSTD)*, May, Vol. 27, No. 1, 21.
- Childress, A. E.; Elimelech, M., 2000, Relating Nanofiltration Membrane Performance to Membrane Charge (Electrokinetic) Characteristics, *Environmental Science and Technology*, 34 : 3710 – 3716.
- Grandison, A. S.; Lewis, J., 1996, *Separation processes in the food and biotechnology industries : Principles and applications*, Technomic Publishing Company Inc., Lancaster, Pennsylvania 17604. U. S. A., 119.
- Regina, M.B.O., Duarte, E. Santos, B. H.; Duarte, A. C., 2001, Comparison between diafiltration and concentration operation modes for the determination of permeation coefficients of humic substances through ultrafiltration membranes, *Analytica Chimica Acta*, 442, 155 – 164.
- Anonim., 1981, *Salt Removal by Diafiltration*. Brochure of Amicon Corporation Scientific Systems Division, U.S.A.
- Schwartz, L., 2014, *Diafiltration : A Fast, Efficient Method for Desalting, or Buffer Exchange of Biological Samples*. Scientific & Technical Report, PALL Life Sciences, Ann Arbor, U.S.A.
- Ghosh, R., 2003, *Protein Bioseparation Using Ultrafiltration : Theory, Applications and New Developments*, Imperial College Press, London, 2003, 105 – 109.
- Porter, M. C., 1990, *Handbook of industrial membrane technology*. Noyes Publications, New Jersey, U. S. A., 243, 244.
- Shallo, H. E.; Rao, A.; Ericson, A. P.; Thoas, R. L., 2001, Separation of Soy Protein Concentrate by Ultrafiltration, *Journal of Food Science*. Volume, 66. No. 2 : 242.





- Balakrishnan, M.; Dua, M.; Bhagat, J. J., 2000, Effect of Operating Parameters on Sugarcane Juice Ultrafiltration : Results of a Field Experience, *Separation and Purification Technology*, 19, 209 – 210.
- Suprihatin, 2007, Penjernihan Nira tebu Menggunakan Membran Ultrafiltrasi dengan sistem aliran silang, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Agustus, Volume 12, Nomor 2, 93 – 99.
- Widi, Hendriyo. 2014, Industri Gula : Menggenjot Produksi, *Harian KOMPAS*.
- Hartanto, Eddy Supto., 2014, Peningkatan Mutu Produk Gula Kristal Putih melalui Teknologi Defekasi Remelt Karbonatasi, *Jurnal Standardisasi (Majalah Ilmiah Standardisasi)*, November, Volume 16, Nomor 3, 215, 216, 217.
- Nhari, R. M. H. R.; Ismail, A.; Che Man, T. B., 2012, Analytical Methods for Gelatin Differentiation from Bovine and Porcine Origins and Food Products, *Journal of Food Science. January, Volume 77, Issue 1*, R42.
- Dutre, B.; Tragardh, G., 1995, Purification of Gelatin with a Forced Solvent Stream Along the Membrane Permeate Side : an Experimental Approach, *J. Food Engineering*, 25.
- Zhang, G. F.; Liu, T.; Wang, Q.; Chen, L.; Lei, J.; Luo, J.; Ma, G.; Su, Z., 2007, Mass spectrometric detection of marker peptides in tryptic digests of gelatin: a new method to differentiate between bovine and porcine gelatin, *Food Hydrocoll*, 23.
- Yoshimura, K.; Terashima, M.; Hozan, D.; Ebato, T.; Nomura, Y.; Ishii, Y.; Shirai, K., 2000, Physical Properties of Shark Gelatin Compared with Pig Gelatin, *Journal Agricultural and Food Chemistry, The American Chemical Society, Washington, DC*, 48, 2023.
- Yoshimura, K.; Terashima, M.; Hozan, D.; Shirai, K., 2000, Preparation and Dynamic Viscoelasticity Characterization of Alkali-Solubilized Collagen from Shark Skin, *Journal Agricultural and Food Chemistry, The American Chemical Society, Washington, DC*, 48, 685.
- Kovács, Z.; Czermak, P., 2014, Diafiltration Membrane Processes, *Encyclopedia of Membrane Science and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., 1 – 46.
- Rejeki, Sri., 2014, Teknologi Pangan : Cakar Ayam Pengawet Alami, *Harian Kompas, Rabu, 26 Februari*.
- Simon, A., Vandanjon, L., Levesque, G., Bourseau, P., 2002, Concentration and Desalination of Fish Gelatin by Ultrafiltration and Continuous Diafiltration Processes, *Desalination*, 144, 313.
- Hidayat, N.; Padaga, M. C.; Suhartini, S., 2006, *Mikrobiologi Industri*. Penerbit ANDI (C.V. Andi Offset), Yogyakarta..
- Muhammad, D. R. A. 2013, Bioactive Peptides from Milk Protein : The Future Functional Ingredients, *FOODREVIEW INDONESIA, Juli, Vol. VIII, No. 7*, 48.
- Lucey, J. A.; Srinivasan, M.; Singh, H.; Munro, P. A., 2000, Characterization of Commercial and Experimental Sodium Caseinates by Multiangle Laser Light Scattering and Size-Exclusion Chromatography, *Journal of Agricultural and Food Chemistry, May, Volume 48, Number 5*, 1610.
- Benevides, C.; Pessela, C.; Torres, R.; Batalla, P.; Fuentes, M.; Mateo, C.; Lafuente, R. F.; Guisán, J. M., 2006, Simple Purification of Immunoglobulins from Whey Proteins Concentrate, *Biotechnology Progress, Volume 22, Issue 2*, 590 – 594.
- Hanemaaijer, J. H.; Hiddink, J., 1985, The Expansion of Membrane Filtration in the Dairy Industry, *North. Eur. Dairy J.*, 51 (2), 33.
- Kumar, P.; Sharma, N.; Ranjan, R.; Kumar, S.; Bhat, Z. F.; Jeong, D. K., 2013, Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry : A Review, *Asian – Australasian Journal of Animal (AJAS)*, 26 (9), 1347 – 1358.
- Anonymous., 2006, Catalogue of Membrane System Specialists, Inc., Wisconsin, U. S. A., or email membrane@mssincorporated.com).
- Anonim, 2013, *Whey Membrane Filtration Applications*. GEA Filtration, Whey Membrane Filtration Applications.htm.
- Shao, J.; Sydney, A. L., 2004, Optimization of Ultrafiltration/ Diafiltration Processes for Partially Bound Impurities, *Journal of Biotechnology and Bioengineering, August 5, Volume 87. No. 3* : 286 – 287.
- Anonim., 2010, The Way of Whey Protein, *Majalah FOOD REVIEW : Referensi Industri & Teknologi Pangan INDONESIA, Juni, Vol. V, No. 6*, 38 – 39.
- Aspiyanto; Agustine Susilowati., 2010, Effect of Diafiltration on Preparation of Fermented Mung Beans Concentrate as Probiotic Savory Flavor through Ultrafiltration Membrane, *Jurnal Makara Seri Teknologi*, Penerbit Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Indonesia, Depok, November, Volume 14, Nomor 2, 77 – 80.
- Noble R. D.; Stern, S. A., 1999, *Membrane Separations Technology : Principles and Applications*, Second Edition, Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands, 418.





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Jarot Raharjo (Pusat Teknologi Material, BPPT)
Notulen : Adi Ilcham (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Zainal Arifin (Politeknik Negeri Samarinda)
Pertanyaan : Apa kelemahan dari membran untuk proses Diafiltrasi (DF) yang dikaitkan dengan biaya?
Jawaban : Kelemahannya adalah adanya sumbatan di membran

