

PROSES MIKROFILTRASI UNTUK PENGHILANGAN LIMONIN DAN NARINGIN PADA JUS JERUK SIAM (*CITRUS NOBILIS* L. VAR *MICROCARPA*)

Setyadjit¹, Erliza Noor², Fatma Aghitsni³, dan Dondy A Setyabudi¹

¹Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapenen Pertanian, Bogor

²Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

³Dinas Perindustrian, Perdagangan, dan Koperasi Pemerintah Kabupaten Sambas

Limonin dan naringin merupakan senyawa limonoid dan flavonoid yang didapati pada jus buah jeruk. Keberadaan kedua senyawa ini menyebabkan rasa pahit pada jus sehingga kurang disukai oleh konsumen, walaupun sebenarnya senyawa tersebut berguna untuk kesehatan. Berbagai teknik pemisahan limonin dan naringin dari jus jeruk yang telah dilakukan antara lain dengan adsorpsi, presipitasi maupun pertukaran ion. Teknik-teknik tersebut memiliki kelemahan antara lain penggunaan pelarut dan adsorben yang relatif mahal, penurunan kualitas jus akibat hilangnya flavor dan warna, serta adanya sisa adsorben yang menimbulkan masalah lingkungan. Pada penelitian ini pemisahan dilakukan dengan menggunakan filtrasi membran. Pemisahan limonin dan naringin yang memiliki berat molekul masing-masing 470,5 dan 580 Da, dilakukan dengan membran mikrofiltrasi yang memiliki ukuran pori 0,1 μm . Mikrofiltrasi dapat menghilangkan limonin dan naringin dari dalam jus jeruk dengan tingkat pengurangan sebesar 92,54% untuk limonin dan 71,34% untuk naringin. Kondisi terbaik operasi mikrofiltrasi jus jeruk untuk membran bertipe modul *hollow fiber* dengan tingkat pengurangan limonin dan naringin tertinggi adalah pada tekanan membran 1,74 bar dan laju alir 0,08 m detik⁻¹ dengan fluksi sebesar 63,16 l m⁻² jam⁻¹.

Kata kunci: mikrofiltrasi, *Citrus nobilis*, suspensi, *shear-induce diffusion*

ABSTRACT. Setyadjit, Erliza Noor, Fatma Aghitsni, and Dondy A Setyabudi. 2009. Microfiltration processing of de-bittering limonin and naringin on var. Siam citrus juice (*Citrus nobilis* L. *microcarpa*). Limonin and naringin is compound of limonoid and flavonoid discovered at citrus juice. Existence of both of these compounds cause to bitter taste in juice so that less attractive to the consumer, although in fact the compound beneficial for health. Various separation technique of limonin and naringin in citrus juice have been done for example with adsorption, precipitation, and ion exchange. These techniques have weakness for example usage of solvent adsorbent which is relatively costly, degradation of juice quality effect of loss colour and flavor, and also the existence of remains residue of adsorbent generating the environmental problem. This research of separation done by using membrane filtration. Dissociation of limonin and naringin which each molecule has mass weight of 470.5 and 580 Da, was done by membrane microfiltration has pore size of 0.1 μm . Microfiltration can reduce limonin and naringin from citrus juice with reduction, level equal to 92.54% for limonin and 71.34% for the naringin. The best operating condition for microfiltration of citrus juice for the membrane which have module to type hollow fibre type of module was at membrane pressure 1.74 bar rate of flow and 0.08 secan⁻¹ m flux 63.16 l hour⁻¹ m⁻².

Keyword: microfiltration, *Citrus nobilis*, suspension, *shear-induce diffusion*

PENDAHULUAN

Salah satu produk olahan jeruk siam yang memiliki peluang besar untuk dikembangkan adalah jus konsentrat sari jeruk. Produk ini dapat dipasarkan untuk bahan baku industri sari buah dengan nilai jual yang tinggi. Kelebihan lain adalah jus konsentrat sari jeruk siam memiliki daya simpan yang lebih lama dibandingkan dengan sari jeruk biasa, dan biaya transportasi lebih rendah. Produk jus jeruk memiliki rasa pahit (*bitterness*) karena mengandung senyawa *limonoid* terutama limonin dan senyawa *flavonoid* terutama naringin¹. Umumnya konsumen tidak menyukai rasa pahit ini, sehingga kualitas produk limonin (*grade*) jus jeruk komersial salah satunya ditentukan oleh

kandungan senyawa tersebut. Untuk jus jeruk navel kandungan limonin sebesar 6 ppm terasa tidak pahit, pada kandungan 9 ppm tergolong pahit dan pada konsentrasi 24–30 ppm memiliki rasa sangat pahit². Namun kandungan limonin yang rendah (± 6 ppm) berakibat pada penurunan kualitas jus jeruk.

Limonoid utama penyebab pahit pada jeruk, selain limonin juga nomilin³. Limonin (C₂₆H₃₀O₈) memiliki berat molekul 470,5 dengan titik leleh 280°C⁴, sedangkan nomilin (C₂₈H₃₄O₉) dengan berat molekul 514,57⁵. Naringin (C₂₇H₃₂O₁₄) dengan berat molekul 580,5, titik leleh 171°C⁴.

Teknik pemisahan limonin dan naringin dari jus sari jeruk umumnya dilakukan baik melalui proses pemisahan fisik, seperti presipitasi, adsorpsi, filtrasi, dan *ion exchange*, atau secara kimia dengan proses ekstraksi

pelarut, enzimatis, dan hidrolisis. Presipitasi limonin dilakukan penambahan sukrosa, pektin, dan kombinasi keduanya ke dalam sari jeruk⁶. Sedangkan pada ekstraksi limonin digunakan pelarut isopropanol dan minyak makan dari sayur⁸. Pada proses adsorpsi limonin digunakan adsorben α -siklodekstrin⁹, gel bead dari selulosa asetat^{10,11}, resin dari *styrene-divinylbenzene*^{12,13}. Pada proses pertukaran ion digunakan resin penukar ion¹⁴. Kombinasi teknik pada penghilangan rasa pahit dalam jeruk besar (*grapefruit*) menggunakan ultrafiltrasi dan adsorpsi resin¹⁵. Pemisahan naringin dan limonin dari *pulp* jeruk juga dapat dilakukan dengan proses diafiltrasi. United State Drug Agency (USDA) akhir-akhir ini telah mengembangkan teknik *solution-diffusion membrane* untuk pemisahan naringin dan limonin¹⁶. Teknik filtrasi lain yang terakhir dikembangkan adalah membran ekstraksi¹⁷.

Teknik-teknik pemisahan dengan menggunakan resin dan adsorben memerlukan biaya cukup tinggi, dan menimbulkan masalah lingkungan akibat pembuangan sisa adsorben. Demikian juga pada ekstraksi yang memerlukan tambahan biaya untuk pelarut. Selain itu penggunaan proses-proses tersebut dapat menyebabkan sebagian komponen yang bermanfaat akan hilang seperti flavor dan warna¹⁸, yang berdampak pada penurunan kualitas produk. Akibatnya teknologi proses di atas kurang menguntungkan untuk dikembangkan dalam skala industri.

Hasil penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa pemisahan limonin dan naringin dari jus jeruk menggunakan membran ultrafiltrasi menghasilkan filtrat yang telah berkurang rasa pahitnya. Namun penelitian ini perlu diperdalam lagi untuk mendapatkan hasil yang optimal¹⁹.

Membran filtrasi merupakan unit operasi penting untuk pemisahan dan pemurnian berbagai produk pada skala industri. Penggunaannya mencakup area bioteknologi, farmasi, pangan (keju, susu, jus buah-buahan, anggur, dan bir, serta pemurnian minyak makan), hingga pengolahan limbah^{20,21,22}. Keunggulan penggunaan teknik filtrasi antara lain (1) tidak merusak produk yang sensitif terhadap panas dan hemat energi, karena dilakukan pada suhu kamar, (2) tidak memerlukan bahan kimia tambahan sehingga biaya operasional relatif lebih murah dan produk lebih aman untuk dikonsumsi.

Aplikasi penggunaan membran pada jus buah-buahan sudah mulai dikembangkan antara lain ultrafiltrasi untuk penjernihan jus jeruk (*blood orange*)²³ dan jus wortel²⁴. Namun, hingga saat ini belum ada publikasi tentang penggunaan filtrasi membran pada penghilangan limonin dan naringin pada jus jeruk. Beberapa penelitian juga telah melakukan pengembangan model dan

menganalisis parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja membran. Salah satu kendala bagi penempatan teknik membran secara komersial adalah penurunan fluksi membran akibat polarisasi konsentrasi dan *fouling*. Fenomena ini menimbulkan turunnya produktivitas dan memperpendek waktu pemakaian membran²⁵. Polarisasi konsentrasi adalah fenomena yang *reversible*, sedangkan *fouling* adalah fenomena yang *irreversible*. *Fouling* dapat disebabkan oleh beberapa mekanisme, yaitu: adsorpsi, bloking pori, dan pembentukan lapisan gel (*boundary layer*) pada membran. *Fouling* dapat juga sebagai hasil dari fenomena polarisasi. Fluksi membran pada mikrofiltrasi merupakan fungsi waktu dan sangat tergantung pada kondisi operasi dan dinamika fluida, jenis membran dan sifat larutan yang digunakan. Parameter operasi seperti tekanan transmembran, laju alir, dan sifat larutan menjadi faktor penentu fluksi. Laju alir mempengaruhi tegangan geser pada permukaan membran dan mempengaruhi laju pengurangan massa di permukaan membran sehingga mengakibatkan penurunan fluksi. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dari mikrofiltrasi dan *reverse osmosis* terhadap sifat fisiko-kimia dan kandungan nutrisi jus jeruk.

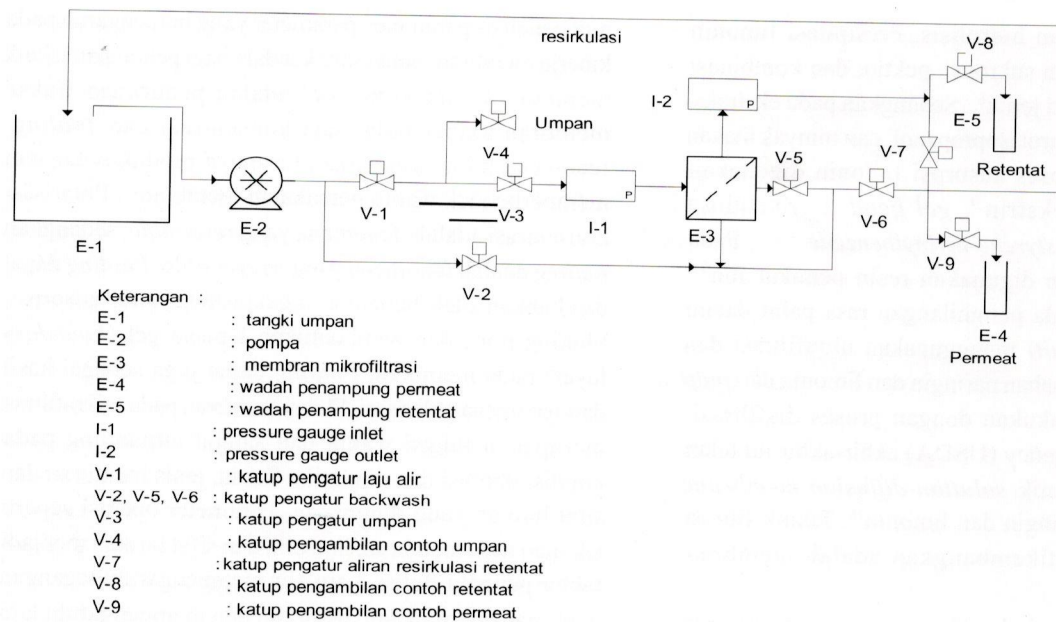
BAHAN DAN METODE

1. Bahan dan Peralatan

Penelitian berlangsung pada 2007 dilakukan di Laboratorium Teknologi Kimia Departemen Teknologi Pangan Pertanian, FATETA, dan Laboratorium Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Larutan umpan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jus jeruk Siam Pontianak (*Citrus nobilis* L. var *microcarpa*) yang didapat dari pemasok jeruk Pontianak yang ada di kota Bogor. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pembubur buah-buahan paten Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian no. ID 0 000 881S untuk penyajian jus jeruk, membran mikrofiltrasi (GDP Filter) dengan modul berbentuk *hollow fiber* berbahan baku polipropilena (PP). Modul membran berukuran pori 0,1 μm dengan luas area 1 m² dan panjang 0,3981 m. Jumlah fiber membran sebanyak 1600 buah berdiameter 0,5 mm. Skema rangkaian peralatan mikrofiltrasi dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Metodologi

Tahap awal dari penelitian ini adalah penentuan perlakuan pra-membran. Yang meliputi penyaringan 40 mesh, 65 mesh, 150 mesh dan 200 mesh; penyaringan dengan Millipore 0,45 mikron; penyaringan mikrofiltrasi dengan resirkulasi sebagai pembanding. Setelah penyaringan kecuali 40 mesh



Gambar 1. Skema rangkaian peralatan mikrofiltrasi

Figure 1. Network scheme equipments of microfiltration

dilakukan pengamatan dengan mikroskop binocular pembesaran 40 x.

Pada proses mikrofiltrasi, pengukuran fluksi dilakukan setelah tercapai kondisi tunak yaitu pada tekanan antara 1,7–1,9 bar. Mode operasi mikrofiltrasi yang digunakan adalah sistem resirkulasi dengan aliran *permeat* serta *retentat* dikembalikan lagi ke tangki umpan. Resirkulasi dilakukan selama 30 menit dengan volume umpan sebanyak 1 liter. Laju alir umpan yang digunakan adalah 0,05–0,09 m/s.

Sistem resirkulasi dilakukan dengan cara menutup katup V-2, V-4, V-8, dan V-9, sedangkan katup V-1, V-3, V-5, V-6, dan V-7 dibuka. Umpan yang ada di dalam tangki (E-1) disedot oleh pompa (E-2) menuju membran (E-3) dan keluar dari dua sisi, yaitu sisi *permeat* dan *retentat*. Permeat mengalir melalui katup V-5, V-6 yang selanjutnya kembali ke umpan, sedangkan retentat mengalir melalui I-2, V-7 dan kembali ke umpan.

Sebelum dan setelah selesai operasi dilakukan pencucian membran, untuk menjaga agar daya tahan dan kinerja membran tetap baik. Metode pencucian yang digunakan adalah metode *backwash*. Pencucian dilakukan dengan metode *backwash* menggunakan air hangat (suhu 40 °C) selama lebih kurang 10 menit. Setelah dilakukan *backwash*, selanjutnya membran dicuci menggunakan larutan NaOH (0,05%) dengan selang pH larutan pencuci antara 10–11 dengan sistem diresirkulasi selama lebih kurang 1 jam. Efektivitas pencucian ditentukan dengan cara mengukur fluksi air sebelum membran digunakan dan setelah membran dicuci. Setelah digunakan membran disimpan dengan cara merendam

modul dalam larutan hipoklorit 200 ppm agar tetap dalam kondisi basah.

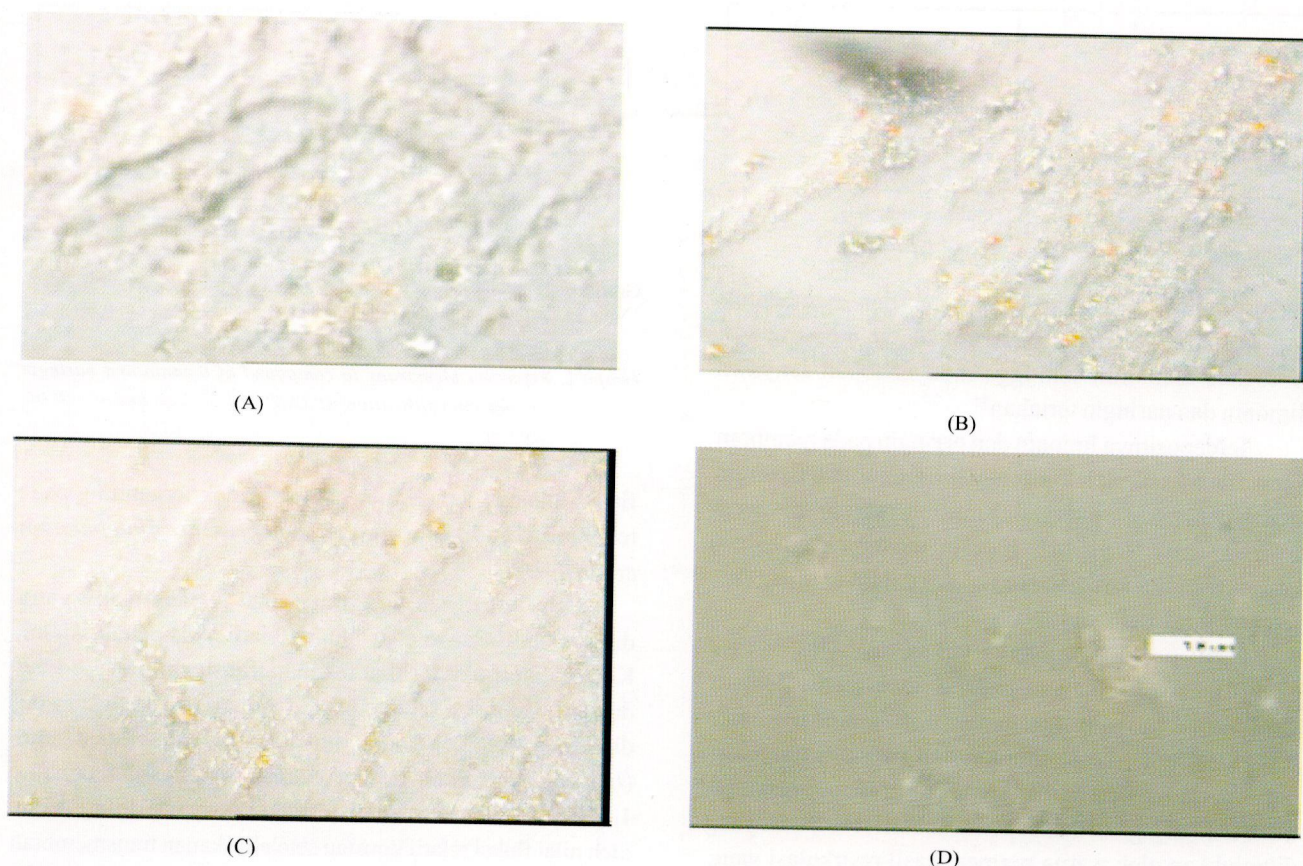
Pengukuran konsentrasi limonin dan naringin menggunakan spectrophotometer seperti yang dilakukan oleh (Setyadjit 2005). Penghitungan fluksi menggunakan perhitungan dengan mengukur luas permukaan membrane (m^2), delta waktu (j), dan delta volume permeat (l)^{27,28}

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemisahan Limonin dan Naringin Dari Jus Jeruk dengan Mikrofiltrasi

Hasil pengamatan terhadap partikel menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jumlah partikel besar di setiap tahapan penyaringan (Gambar 2). Jus jeruk merupakan suspensi yang terdiri dari partikel heterogen. Ukuran partikel bervariasi antara 0,05 μm –< 100 μm . Partikel terbesar yang lolos pada penyaringan 65 mesh Gambar 2 berdiameter 10,8–15,7 μm , sedangkan yang berbentuk serat memiliki panjang 341,1 μm dan lebar 99,7 μm . Partikel yang berukuran besar ini kemungkinan merupakan albedo, segmen, dan dinding gelembung jus yang ikut terekstraksi²⁹.

Hasil penyaringan 200 mesh menunjukkan bahwa terjadi pengurangan jumlah karotenoid (Gambar 2(c)). Partikel terbesar yang masih lolos pada penyaringan ini berdiameter 3,6–4,5 μm , sedangkan partikel kecil berukuran 1,8–2,2 μm . Kumpulan partikel putih yang berbentuk seperti rantai ini merupakan *cloud*, yang terdiri dari pektin, lemak, dan fosfor, serta senyawa-senyawa lainnya yang



Gambar 2. (a) Partikel jus hasil penyaringan dengan filter 65 mesh, (b) Partikel jus hasil penyaringan dengan filter 150 mesh, (c) Partikel jus hasil penyaringan dengan filter 200 mesh, dan (d) Hasil penyaringan dengan membran milipore berukuran 0,45 μm .
 Figure 2. (a) Particle juice result of screening with filter 65 mesh, (b) Particle juice result of screening with filter 150 mesh, (c) Particle juice result of screening with filter 200 mesh, and (d) Result of screening by membrane of milipore 0,45 μm .

membentuk agregat dan sangat sulit untuk diidentifikasi³⁰.

Partikel yang berukuran di bawah 2 μm membentuk *cloud* yang stabil. Fraksi partikel ini terdiri dari kristal hesperidin yang berbentuk seperti jarum, kromoplastida, partikel yang amorf, dan globula minyak yang terikat pada beberapa partikel tersebut. Kristal hesperidin ini sebagian terbentuk karena kristalisasi seketika setelah proses ekstraksi jus²⁹. Pada penyaringan dengan menggunakan filter yang ukurannya lebih kecil, yaitu membran milipore berukuran pori 0,45 μm (Gambar 3(d)), terlihat jelas bahwa partikel kecil berwarna putih yang pada jus hasil penyaringan filter 200 mesh masih cukup banyak jumlahnya ($\pm 70\%$), setelah dilakukan penyaringan dengan membran milipore ini jumlahnya menjadi jauh berkurang (1%). Masih ditemukan partikel jus yang berdiameter 1,8–2,2 μm lolos pada penyaringan ini.

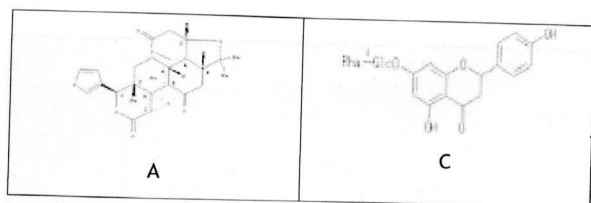
A. Profil rejeksi membran terhadap senyawa limonin dan naringin

Proses mikrofiltrasi terhadap jus jeruk mampu merejeksi senyawa limonin dan naringin (Struktur bangun Gb 3). Konsentrasi limonin menurun selama proses mikrofiltrasi. Konsentrasi limonin menurun tajam pada menit-menit

pertama mikrofiltrasi dan cenderung fluktuatif (Gambar 4). Setelah 10 menit filtrasi, penurunan konsentrasi limonin mulai konstan. Profil rejeksi yang fluktuatif mungkin saja terjadi karena sifat limonin yang cenderung tidak stabil. Rejeksi membran terhadap limonin menunjukkan kestabilannya setelah 30 menit filtrasi dan mampu merejeksi limonin rata-rata sebesar 96% dengan konsentrasi di dalam permeat sebesar $\pm 0,51 \mu\text{g ml}^{-1}$ (Gambar 4). Dengan demikian, konsentrasi limonin, di dalam permeat berada di bawah batasan konsentrasi yang dapat diterima konsumen, yaitu $6 \mu\text{g ml}^{-1}$ ^{31,12}.

Perubahan konsentrasi naringin di dalam permeat selama mikrofiltrasi relatif stabil (Gambar 4). Konsentrasi naringin menurun tajam pada menit pertama filtrasi dan setelah itu cenderung konstan, dimana rejeksi terhadap naringin relatif konstan, yaitu $\pm 80\%$ dengan konsentrasi di dalam permeat sebesar $\pm 69 \mu\text{g ml}^{-1}$ dimana konsentrasi ini masih jauh dibawah *threshold*.

Penurunan konsentrasi limonin dan naringin serta peningkatan rejeksi berkaitan erat dengan penurunan fluksi permeat. Penurunan fluksi dan peningkatan rejeksi secara cepat menunjukkan bahwa pada awal proses mikrofiltrasi, terjadi deposisi sebagian besar partikel



Gambar 3. Struktur Limonin (A), dan naringin (B)
Figure 3. Structure of limonin (A), and naringin (B)

tersuspensi di permukaan membran dan membentuk lapisan *cake*. Lapisan *cake* ini dapat menurunkan porositas membran sehingga menyebabkan senyawa limonin dan naringin tertahan³².

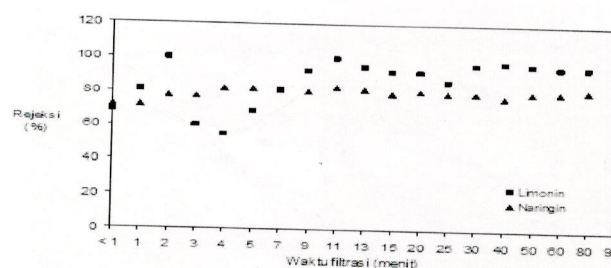
Terdeposisinya limonin dan naringin pada membran juga dibuktikan oleh konsentrasi limonin dan naringin di dalam retentat yang rendah masing-masing sebesar $\pm 2 \mu\text{g ml}^{-1}$ dan $\pm 50 \mu\text{g ml}^{-1}$. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi limonin dan naringin di dalam permeat dan retentat tidak berbeda.

Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi positif antara kandungan padatan tersuspensi dengan konsentrasi limonin dan naringin di dalam permeat. Ketika sebagian besar limonin dan naringin terejeksi, partikel warna serta partikel putih yang tersuspensi juga tidak terlihat lagi di dalam permeat hasil resirkulasi yang ditunjukkan oleh warna permeat hasil resirkulasi yang bening. Keterkaitan antara padatan tersuspensi dengan limonin dan naringin semakin diperkuat oleh hasil pengamatan terhadap permeat resirkulasi menggunakan mikroskop. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa tidak terlihat lagi adanya partikel di dalam permeat.

A. Pengaruh tekanan transmembran terhadap fluksi jus dan rejeksi

Mikrofiltrasi jus jeruk selama 90 menit pada dua tekanan transmembran yaitu 1,27 dan 1,34 bar menghasilkan fluksi yang sedikit berbeda (Grafik 5). Fluksi permeat pada transmembran 1,34 bar sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan fluksi permeat pada tekanan transmembran 1,27 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan transmembran meningkatkan fluksi permeat.

Fluksi permeat cenderung meningkat jika tekanan transmembran ditingkatkan, walaupun peningkatannya relatif kecil. Gambar 6, menunjukkan bahwa peningkatan tekanan transmembran dari 1,46 menjadi 1,84 bar meningkatkan fluksi secara linier. Kondisi ini dimasukkan pada wilayah polarisasi rendah³³ (Gambar 5), dimana lapisan *cake* yang terbentuk masih sedikit. Seiring dengan peningkatan tekanan transmembran, pembentukan lapisan *cake* yang terbentuk menjadi semakin tebal dan kompak, sehingga peningkatan fluksi berkurang. Jika tekanan terus ditingkatkan, fluksi menunjukkan penyimpangan perilaku dari hubungan



Grafik 1. Rejeksi membran terhadap senyawa limonin dan naringin selama mikrofiltrasi pada TMP = 1,27 bar dan $v = 0,06 \text{ m detik}^{-1}$.

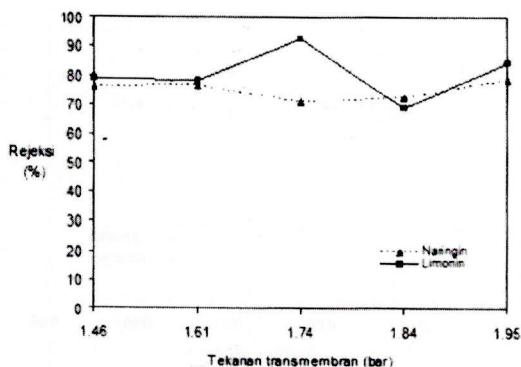
Graph 2. Rejection Membrane to compound of limonin and naringin during microfiltration at TMP = 1.27 bar and $v = 0,06 \text{ sec}^{-1} \text{ m}$.

fluksi-tekanan yang linier menjadi tidak tergantung pada tekanan. Kondisi ini dinamakan *pressure independent condition*³⁴.

Penyimpangan perilaku fluksi sebagaimana yang dilaporkan Cassano et al³⁴ juga terjadi pada penelitian ini. Kondisi ini mulai terlihat tekanan transmembran 1,84 bar dengan nilai fluksi sebesar $65,93 \text{ l m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$. Nilai fluksi yang diperoleh pada kondisi ini dinyatakan sebagai fluksi batas (*limiting flux*). Peningkatan tekanan transmembran di atas 1,84 bar, tidak meningkatkan fluksi jus yang ditunjukkan oleh nilai fluksi relatif konstan setelah tekanan transmembran ditingkatkan menjadi 1,95 bar. Peningkatan fluksi pada kondisi ini dipengaruhi oleh pengurangan ketebalan lapisan batas yang terbentuk dan peningkatan laju difusi balik partikel-partikel yang terpolarisasi.

Hasil yang sama juga diperoleh ketika membran dioperasikan pada beberapa tekanan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 6, dimana fluksi permeat cenderung meningkat jika tekanan transmembran ditingkatkan, walaupun peningkatannya relatif kecil. Gambar 6 menunjukkan bahwa peningkatan tekanan transmembran dari 1,46 menjadi 1,84 bar meningkatkan fluksi secara linier. Kondisi ini dimasukkan pada wilayah polarisasi rendah dimana lapisan *cake* yang terbentuk masih sedikit. Seiring dengan peningkatan tekanan transmembran, pembentukan lapisan *cake* yang terbentuk menjadi semakin tebal dan kompak, sehingga peningkatan fluksi berkurang³³. Jika tekanan terus ditingkatkan, fluksi menunjukkan penyimpangan perilaku dari hubungan fluksi-tekanan yang linier menjadi tidak tergantung pada tekanan. Kondisi ini dinamakan *pressure independent condition*³³.

Peningkatan tekanan transmembran dapat mempengaruhi tingkat rejeksi membran terhadap senyawa yang ingin dipisahkan dan tergantung pada sifat larutan³⁵. Hasil penelitiannya pada ultrafiltrasi PEG dan dekstran menunjukkan dua perilaku yang berbeda. Peningkatan tekanan transmembran menurunkan rejeksi PEG, sedangkan pada dekstran, peningkatan tekanan secara umum menurunkan rejeksi, tetapi pada batas tertentu dapat



Gambar 5. Fluksi jus selama mikrofiltrasi pada berbagai tekanan transmembran pada $v=0,06$ m detik⁻¹

Figure 5. Flux Juice during microfiltration at various pressure of trans-membrane $v= 0.06$ m sec⁻¹

meningkatkan rejeksi.

Pada tekanan 1,46–1,61 bar, rejeksi limonin terlihat konstan (Gambar 7). Peningkatan tekanan di atas 1,61 bar menyebabkan rejeksi terhadap limonin cenderung fluktuatif dan mencapai titik tertinggi pada tekanan 1,74 bar yaitu 92,54% dengan konsentrasi limonin yang masih

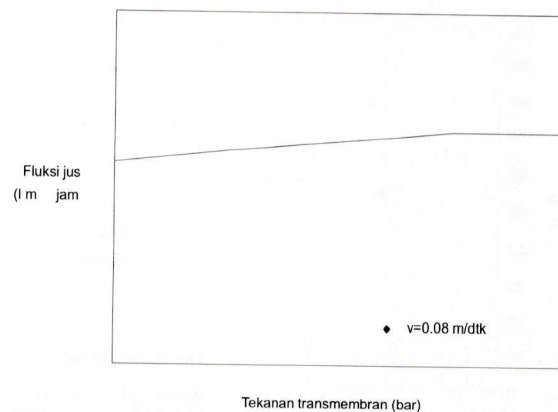
Pengoperasian tekanan transmembran 1,46–1,95 bar sebagaimana yang terlihat pada gambar 7 menghasilkan rejeksi terhadap senyawa naringin yang relatif konstan, yaitu rata-rata sebesar 75%. Perbedaan perilaku ini

dimana limonin bersifat polar sedangkan naringin bersifat non-polar. Gambar 7 dapat dilihat bahwa konsentrasi limonin dan naringin di dalam permeat dan retentat tidak berbeda jauh yang menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa limonin dan naringin terdeposit pada membran.

Kondisi operasi yang menghasilkan fluksi tertinggi dengan tingkat rejeksi tertinggi selanjutnya digunakan sebagai kondisi operasi terbaik. Dengan demikian, kondisi operasi terbaik ditetapkan pada tekanan 1,74 bar, dimana fluksi permeat telah mendekati titik konstan dan rejeksi

D. Pengaruh Laju Alir Terhadap Fluksi Jus dan Rejeksi

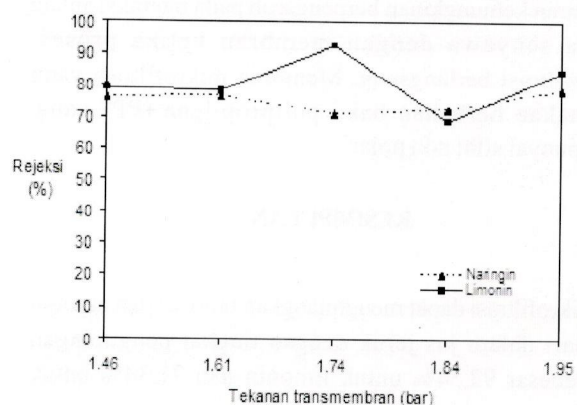
Salah satu parameter operasi yang mempengaruhi fluksi permeat ketika tekanan transmembran tidak lagi berpengaruh adalah laju alir. Untuk melihat pengaruh laju alir terhadap fluksi permeat, mikrofiltrasi jus jeruk dilakukan pada kondisi tunak. Dengan demikian kondisi operasi mikrofiltrasi jus dipertahankan pada tekanan transmembran 1,70–1,95 bar dengan perlakuan variasi laju alir 0,05–0,09 m detik⁻¹. Selain fluksi, faktor lain yang harus diperhatikan dalam mikrofiltrasi adalah rejeksi membran. Gambar 8 menunjukkan bahwa pengaruh laju alir terhadap fluksi



Gambar 6. Pengaruh tekanan transmembran terhadap fluksi jus.
figure 6 . Influence of pressure of trans-membrane to juice flux

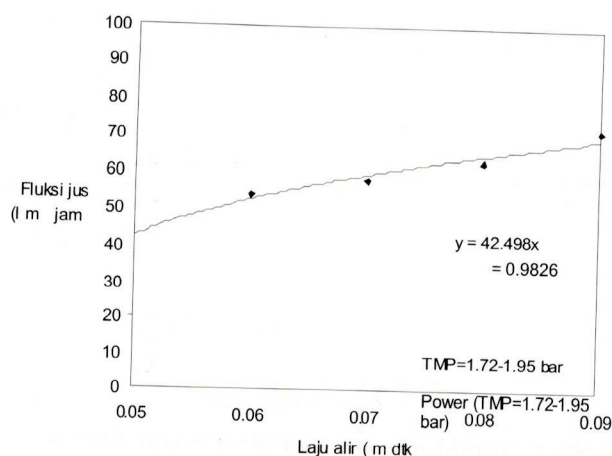
permeat bersifat tidak linier dan lebih mendekati bentuk eksponensial. Pengaruh laju alir terhadap nilai koefisien perpindahan massa (k) dan fluksi dinyatakan dalam bentuk eksponensial kecepatan, yaitu nilai a dalam persamaan $J = f(v)^a$. Umumnya untuk aliran laminar, nilai a berkisar antara 0,3–0,6. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai $a = 0,31^{36}$. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sistem aliran jus jeruk selama proses mikrofiltrasi adalah laminar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju alir berpengaruh terhadap rejeksi limonin, tetapi tidak mempengaruhi rejeksi naringin. Pengoperasian mikrofiltrasi pada berbagai laju alir menunjukkan bahwa rejeksi membran terhadap limonin cenderung fluktuatif (Gambar 9) dan memperlihatkan perilaku yang hampir sama dengan perlakuan transmembran. Rejeksi limonin menurun ketika digunakan laju alir 0,06 m detik⁻¹ dan meningkat kembali pada laju alir 0,07–0,08 m detik⁻¹. Peningkatan laju alir menjadi 0,09 m detik⁻¹ menyebabkan rejeksi limonin mengalami penurunan, sedangkan rejeksi naringin pada



Gambar 7. Pengaruh tekanan transmembran terhadap rejeksi membran

Figure 7. Influence of pressure of trans-membrane to membrane rejection



Gambar 8. Pengaruh laju alir terhadap fluksi jus pada berbagai tekanan trans-membran

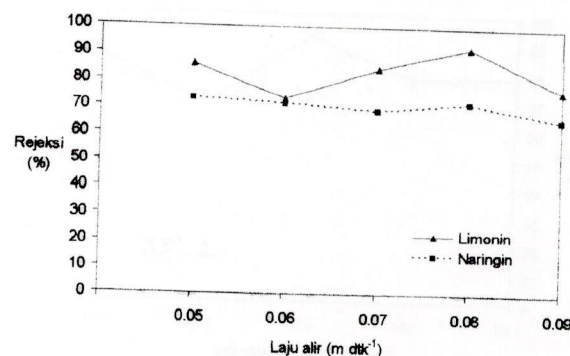
Gambar 8. Influence of rate of flow to juice flux at various pressure of trans-membrane

setiap perlakuan laju alir relatif konstan. Rejeksi tertinggi dihasilkan pada kondisi operasi laju alir 0,08 m detik⁻¹, yaitu sebesar 92,54% untuk limonin dan 71,34% untuk naringin dengan nilai fluksi yang dihasilkan sebesar 63,16 l m⁻² jam⁻¹. Dengan demikian kondisi optimum untuk operasi mikrofiltrasi jus jeruk adalah pada tekanan transmembran 1,70–1,95 bar dan laju alir 0,08 m detik⁻¹. Gambar 9 dapat dilihat bahwa konsentrasi limonin dan naringin di dalam permeat dan retentat tidak berbeda jauh yang menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa limonin dan naringin terdeposit pada membran.

Terjadi perbedaan tingkat rejeksi antara limonin dan naringin dimana rejeksi limonin cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan rejeksi naringin. Perbedaan rejeksi ini terjadi hampir di seluruh perlakuan padahal perbedaan bobot molekul keduanya tidak berbeda jauh, yaitu 470,5 Da untuk limonin dan 580 untuk naringin. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan tingkat kepolaran diantara keduanya. Perbedaan tingkat kepolaran kemungkinan berpengaruh pada interaksi antara kedua senyawa dengan membran ketika proses mikrofiltrasi berlangsung. Membran mikrofiltrasi yang digunakan berbahan baku polipropilena (PP) yang mempunyai sifat non polar.

KESIMPULAN

1. Mikrofiltrasi dapat menghilangkan limonin dan naringin dari dalam jus jeruk dengan tingkat pengurangan sebesar 92,54% untuk limonin dan 71,34% untuk naringin.
2. Kondisi terbaik operasi mikrofiltrasi jus jeruk untuk membran bertipe modul *hollow fiber* dengan tingkat pengurangan limonin dan naringin tertinggi adalah



Gambar 9. Pengaruh laju alir terhadap rejeksi membran

Gambar 9. Influence of rate of flow to membrane rejection

pada tekanan membran 1,74 bar dan laju alir 0,08 m detik⁻¹ dengan fluksi sebesar 63,16 l m⁻² jam⁻¹.

3. Rasa pahit produk jus jeruk siam yang telah disaring dengan mikrofiltrasi telah jauh berkurang akibat berkurangnya limonin dan naringin, namun masih memiliki warna kuning sebagai karakteristik jus jeruk

DAFTAR PUSTAKA

1. Maier VP. Limonin and other limonoids. Di dalam: Nagy S, Shaw PE, Veldhuis MK, editor. Connecticut: The AVI Publishing Company; 1977. (Citrus Science and Technology; Vol 1).
2. Chandler, B.V. and J.F. Kefford 1966. The chemical assay of limonin, the bitter principle of oranges. J. Sci. Food. Agric. 17, 193-197. Di dalam Maier VP, Bennet RD, Hasegawa S. 1977. Limonin and Other Limonoids. Di dalam: Nagy S, Shaw PE, Veldhuis MK, editor. Citrus Science and Technology Vol ke-1. Connecticut: AVI.
3. Rouseff AH. Pectin: distribution, significance. Di dalam: Nagy S, Shaw PE, Veldhuis MK, editor. Connecticut: AVI Publishing Company; 1977. (Citrus Science and Technology Vol 1).
4. Anonymous. 2010a. <http://Sigma-Aldrich.com> (tidak ada judul bahan)
5. Anonymous. 2010b. <http://Changsha-nutrimax.com> (tidak ada judul bahan)
6. Chandler BV. Some solubility relationships of limonin: their importance in orange juice bitterness. CSIRO. Food Research Quarterly 1971; 31:36-40.
7. Pritchett DE. Extraction of the bitter principles from navel oranges juice. 1957 Dec. 10. US Pat 2,816,033.
8. Swisher HE. Control of navel bitter in dehydrated juice products. 1954 May 13. US Pat 2,834,687.
9. Shaw PE, Wilson III CW. Reduction of bitterness in grapefruit juice with α -cyclodextrin polymer in a continuous-flow process. Journal of Food Science. 1985; 50(4):1205-1207.
10. Chandler BV, Johnson RL. Treatments of fruit juices. Iled. 1976 Feb. 20. US Pat Appl 551291 and 551292.
11. Chandler BV, Johnson RL. New sorbent gel forms of cellulose esters for debittering citrus juices. J. Sci. Food Agric. 1979; 30:825-832.
12. Puri A. penemu; The Coca Cola Company. Preparation of citrus juices, concentrate and dried powders which reduced in

- bitterness. 1984 27 Mar. US patent 4 439 458.
13. Mozaffar Z, Miranda QR, Saxena V. penemu; Sepragen Corporation. High Throughput Debittering. 2000 Apr. 4. US patent 6 045 842.
14. Cassano A, Donato L, Drioli E. Ultrafiltration of kiwifruit juice: operating parameters, juice quality and membrane fouling. *Jurnal Food Engineering*. 2007a [Diunduh 6 Feb 2007]; 79(2):613-621 Tersedia di: <http://sciencedirect.com>
15. Hernandez ER, Rouseff CR, Chen CS, Barros S. Evaluation of ultrafiltration and adsorption to debitter grapefruit juice and grapefruit pulp wash. *Jurnal Food Science*. 1992; 57(3):664-666.
16. Mitchell DH, Perace RM, Smith CB, Brown ST. Removal of bitter naringin and limonin from citrus juice containing the same. Penemu; Mitco Water Laboratories Inc; 1985. US Patent 4 514 427.
17. Van Eikeren, Brose DJ. Membrane extraction of citrus bittering agents, Bend Research Inc; 1993. US Patent US 5 263 409.
18. Chen CS, Chen WA. Method for producing ready to pour frozen concentrated clarified fruit juice, fruit juice produced therefrom, and high solids fruit product. penemu. 26 Mei 1998. US patent 5 756 141.
19. Setyadjit DA, Setyabudi, Sukasih E, Harimurti N, Thahir R, Yulianingsih, et al. Laporan akhir pengembangan teknologi pengolahan jeruk. Jakarta: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Badan Litbang Pertanian; 2006.
20. Bates RP, Morris JR, Crandall PG. Principles and practices of small and medium scale fruit juice processing. FAO. Agric. Services Bulletin 146. 2001.
21. Noor E. Treatment of xanthan solution by crossflow microfiltration [PhD thesis]. Australia: Chemical Engineering Department, The University of Queensland; 1994.
22. Noor E, Kusumawardhani GD. Pemekatan sirup glukosa dengan proses mikrofiltrasi *crossflow*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 2002; 12(1):23-26.
23. Cassano A, Marchio M, Drioli E. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. *Desalination*. 2007b; 212:15-27.
24. Cassano A, Drioli E, Galaverna G, Marchelli R, G. Silvestro Di, Cagnasso P. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane processes. *J Food Eng*. 2003; 57:153-163.
25. Fane AG, Fell CJD. A review of fouling and fouling control in ultrafiltration. *Desalination*. 1987; 62:117-176.
26. Setyadjit. Methods for contaminant analysis and purification of single strength juice. Final report on visiting scientist-University Queensland. Participatory Development of Agricultural Technology Project. Indonesian Agency for Agriculture Research and Development. 2005.
27. Konieczny K, Rafa J. Modelling of the membrane filtration process of natural waters. *Polish J. Environ Stud*. 2000; 9(1):57-63.
28. Battarcharjee S, Datta S, Saha S. Correlations to predict permeate flux and rejection in ultrafiltration based on dimensional analysis. *Journal-CH IE(I)*. 2003; 84:8-11
29. Mizrahi S, Berk Z. Physico-chemical characteristics of orange juice cloud. *J Sci Food Agric*. 1970; 21(5):250-253.
30. Cready RM. Carbohydrates: composition, distribution, significance. Di dalam: Nagy S, Shaw PE, Veldhuis MK, editor. Connecticut: AVI; 1977. (Citrus Science and Technology; Vol1).
31. tidak ada daftar pustakanya
32. Grandison AS, Youravong W, Lewis MJ. Hydrodynamic factors affecting flux and fouling during ultrafiltration of skimmed milk. *Lait*. 2000; 80:165-174.
33. Trettin DR, Doshi MR. Limiting flux in ultrafiltration of macromolecular solutions. *Chem Eng Commun*. 1990; 4:507-522.
34. Cassano A, Marchio A, Drioli E. Sfalification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and jices quality. *Desalination*. 2007; 212:15-27.
35. Jonsson G. Transport phenomena in ultrafiltration : membrane selectivity and boundary layer phenomena. *Pure Appl Chem*. 1986; 58(12):1647-1656.
36. Cheryan M. Ultrafiltration and microfiltration Hand Book. Pennsylvania: Technomic Publishing, Co; 1998.