

PENENTUAN TAHANAN NANOFILTRASI MENGGUNAKAN MODEL TAHANAN SERI PADA PEMISAHAN BETA-KAROTEN DAN ALFA-TOKOFEROL MINYAK SAWIT DALAM ISOPROPANOL

DETERMINATION OF NANOFILTRATION RESISTANCES USING SERIES RESISTANCE MODEL AT SEPARATION OF BETA-CAROTENE AND ALPHA-TOCOPHEROL PALM OIL IN ISOPROPANOL

Sapta Raharja^{*)}, Uki Ismiyati, Prayoga Suryadarma, Erliza Noor

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O. Box 220, Bogor 16002
Email: saptaraharja@ipb.ac.id

ABSTRACT

Palm oil contains high concentrations of carotenoids and tocopherols that can be recovered by adsorption using attapulgit and desorption in isopropanol and then applying membrane technology to separate the beta-carotene and alpha-tocopherol in isopropanol. The aim of this study was to determine the optimum condition of nanofiltration and to obtain resistances of membranes using the series resistance model. Titania membranes with different pore diameters (5 and 10 nm) were applied on nanofiltration membranes in this study. Applied pressure was ranged from 1.5 to 2.5 bars and crossflow velocity was ranged from 0.14 to 0.97 m s⁻¹. It was found that membrane 5 nm had optimum transmembrane pressure at 2 bars and feed flow at 0.42 m s⁻¹ with permeate flux of 0.96 liter m⁻² h⁻¹. On the other side, membrane 10 nm had optimum transmembrane pressure at 2.2 bars and feed flow at 0.69 m s⁻¹ with permeate flux of 2.4 liter m⁻² h⁻¹. The nanofiltrations with 5 and 10 nm were not effective to separate beta-carotene and alpha-tocopherol in isopropanol because permeate flux and rejection were very low with resistances of membranes and resistance index were very high. So that to increase the permeate flux and rejection needed study on the used of different membrane and solvent type, conditioning of feed and controlling of aggregate alpha-tocopherol insolusion of palm oil vitamin.

Keywords: nanofiltration, series resistance, beta-carotene, alpha-tocopherol, isopropanol

ABSTRAK

Minyak sawit mengandung karotenoid dan tokoferol yang tinggi dan dapat dihilangkan dengan proses adsorpsi menggunakan atapulgit dan desorpsi dalam isopropanol, kemudian menerapkan teknologi membran untuk memisahkan beta-karoten dan alfa-tokoferol dalam isopropanol. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum nanofiltrasi dan memperoleh tahanan membran menggunakan model tahanan seri. Titania membran dengan diameter pori yang berbeda (5 dan 10 nm) diaplikasikan pada membran nanofiltrasi dalam penelitian ini. Tekanan yang digunakan berkisar 1,5-2,5 bar dengan kecepatan laju alir berkisar 0,14-0,97 m detik⁻¹. Kondisi optimum filtrasi membran pada membran 5 nm terjadi pada tekanan transmembran 2 bar dan laju alir umpan 0,42 m detik⁻¹ dengan fluks permeat 0,96 liter m⁻²jam⁻¹. Di lain pihak, kondisi optimum filtrasi membran pada membran 10 nm terjadi pada tekanan transmembran 2,2 bar dan laju alir umpan 0,69 m detik⁻¹ dengan fluks permeat 2,4 liter m⁻²jam⁻¹. Penggunaan nanofiltrasi 5 dan 10 nm tidak efektif dalam memisahkan beta-karoten dan alfa-tokoferol minyak sawit dalam isopropanol, karena rendahnya fluks dan tingkat rejeksi yang dihasilkan serta tingginya nilai tahanan membran dan tahanan indeks. Sehingga untuk meningkatkan fluks permeat dan tingkat rejeksi diperlukan penelitian dengan menggunakan bahan membran dan jenis pelarut yang berbeda, pengkondisian larutan umpan serta mengendalikan pembentukan agregat alfa-tokoferol dalam larutan vitamin minyak sawit.

Kata kunci: nanofiltrasi, model tahanan seri, beta-karoten, alfa-tokoferol, isopropanol

PENDAHULUAN

Minyak sawit (CPO) mempunyai kandungan beta-karoten (pro vitamin A) dan tokoferol (vitamin E) yang cukup tinggi. Tetapi pada industri pengolahan CPO menjadi minyak goreng (RBDO),

komponen beta-karoten tersebut dihilangkan dengan proses pemucatan karena konsumen minyak goreng tidak menyukai warna minyak goreng yang kemerahan. Kenyataan ini menjadi kendala bagi industri minyak goreng. Dengan demikian proses pemisahan beta-karoten dan tokoferol pada minyak

**Penulis untuk korespondensi*

sawit kasar sangat diperlukan untuk memenuhi spesifikasi minyak goreng dan menghasilkan produk samping berupa beta-karoten dan vitamin E yang dapat diterima di pasaran.

Teknik pemisahan beta-karoten dan alfa-tokoferol telah dilakukan dengan berbagai macam metode seperti esterifikasi, saponifikasi, destilasi, kromatografi, kristalisasi, metode enzimatik maupun ekstraksi larutan berdasarkan titik kritisnya (Quek *et al.*, 2007). Menurut Quek *et al.* (2007) metode ekstraksi tersebut mempunyai banyak kelemahan seperti kehilangan karoten karena pemanasan, kehilangan tokoferol karena esterifikasi, memerlukan waktu yang cukup lama pada proses enzimatik hingga biaya operasional yang tinggi. Pada penelitian ini akan dikaji tentang penggunaan teknologi membran untuk mengatasi kelemahan ekstraksi beta-karoten dan alfa-tokoferol khususnya pada minyak sawit.

Permasalahan yang sering terjadi pada filtrasi membran adalah penurunan fluks permeat. Secara umum penurunan fluks tersebut dipengaruhi oleh tahanan membran yang meliputi tahanan internal membran (R_m), tahanan *fouling* (R_f) dan tahanan polarisasi konsentrasi (R_p). Salah satu model yang bisa menjelaskan fenomena tingkah laku fluks untuk daerah yang dikendalikan oleh tekanan dan perpindahan massa adalah model tahanan seri (Viadero *et al.*, 1999). Pendekatan model tahanan seri dalam memprediksi fluks adalah lapisan partikel pada permukaan membran merupakan penghalang laju aliran permeat. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan: $J = \frac{\Delta P}{R_t}$ dimana J merupakan laju fluks permeat ($\text{liter m}^{-2} \text{jam}^{-1}$), ΔP merupakan tekanan transmembra (bar) dan R_t merupakan nilai tahanan total ($\text{bar m}^2 \text{jam liter}^{-1}$) terhadap laju alir permeat.

Model tahanan seri dapat digunakan baik pada daerah yang bertekanan rendah (*pressure dependent*) maupun pada daerah yang bertekanan tinggi (*pressure independent*) (Cheryan, 1998). Pada daerah yang dikendalikan oleh tekanan (*pressure dependent*) konsentrasi polarisasi terjadi sangat tipis ($R_o \ll R'm$) dan J merupakan fungsi linier dari ΔP . Pada daerah yang tidak dikendalikan oleh tekanan (*pressure independent*) ketebalan dan densitas lapisan polarisasi semakin bertambah $R_p \gg R'm$. Pada kondisi ini J menjadi independen terhadap ΔP dengan nilai pembatas $1/\Phi$.

Penggunaan dan modifikasi model tahanan seri pada membran nanofiltrasi telah dilakukan oleh Cho *et al.* (1999) dengan umpan yang berupa air yang mengandung bahan organik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya pengembangan model tahanan seri dengan asumsi tahanan yang terdiri dari tahanan hidrolis membran, polarisasi konsentrasi, lapisan *gel*, *fouling* dan *irreversible* adsorpsi. Selain itu, Koris *et al.* (2007) melakukan penelitian mengenai tahanan seri pada membran nanofiltrasi dengan umpan emulsi minyak dalam air

yang menghasilkan bahwa penentuan tahanan filtrasi membran adalah konstan.

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk memisahkan beta-karoten dan alfa-tokoferol minyak sawit dalam isopropanol menggunakan membran nanofiltrasi dengan ukuran pori 5 dan 10 nm. Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mendapatkan tekanan transmembra dan laju alir umpan yang optimum serta pengukuran tahanan nanofiltrasi menggunakan model tahanan seri pada proses pemisahan beta-karoten dan alfa-tokoferol dalam isopropanol.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah olein sawit kasar hasil fraksinasi dari minyak sawit kasar (CPO) yang diperoleh dari PT Asianagro Agungjaya-Jakarta; Standard beta-karoten (Sigma-Aldrich C9750-56, Type I, Synthetic, 95% UV, 1,6 juta IU vitamin A/g); standard alfa-tokoferol (Sigma-Aldrich T3251-56, Synthetic, 95% HPLC); atapulgit (merk Attagel, produksi Engelhard) dan isopropanol 90%.

Peralatan utama yang digunakan adalah membran keramik nanofiltrasi 5 dan 10 nm berbahan titania dengan luas permukaan 50 cm^2 yang diperoleh dari MEMBRALOXTM, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) kolom Zorbax SIL (0,46 x 25 cm) dengan fase bergerak *isopropanol : hexane* (0,5 : 99,5 v/v) untuk menentukan kandungan alfa-tokoferol (Tay *et al.* 2002), rheometer (Digital Rheometer DVIII+ Brookfield) untuk mengukur viskositas larutan vitamin minyak sawit, spektrofotometer digunakan untuk menentukan kandungan beta-karoten (Apriyantono *et al.*, 1989).

Pembuatan Larutan Vitamin Minyak Sawit (Modifikasi metode Sirait (2007) dan Yuliarti (2007))

Minyak sawit kasar (CPO) yang diperoleh dari PT. Asianagro Agungjaya-Marunda, Jakarta Utara difraksinasi menjadi stearin dan olein. Olein hasil fraksinasi ditambahkan atapulgit dengan perbandingan 3:1. Campuran antara olein dan atapulgit tersebut diadsorpsi menggunakan *shaker waterbath* pada suhu 60°C dengan kecepatan 120 rpm selama 71 menit. Larutan hasil adsorpsi disaring menggunakan kertas saring (*Whatmann 42*) dengan pompa vakum untuk memisahkan antara atapulgit yang telah mengandung vitamin dengan olein. Atapulgit yang mengandung vitamin tersebut ditambahkan pelarut isopropanol dengan perbandingan 1:5. Campuran antara atapulgit dan isopropanol didesorpsi menggunakan *shaker waterbath* pada suhu 55°C dengan kecepatan 180 rpm selama 140 menit. Larutan hasil desorpsi disaring menggunakan kertas saring (*Whatmann*

42) dengan pompa vakum untuk memisahkan antara atapulgit dan isopropanol yang telah mengandung vitamin.

Karakteristik Larutan Vitamin Minyak Sawit Dalam Isopropanol

Karakteristik larutan vitamin minyak sawit dalam isopropanol meliputi viskositas, densitas, kandungan beta-karoten dan alfa-tokoferol. Viskositas diukur dengan menggunakan rheometer Brookfield model LV2 dengan laju putaran 100-200 rpm, sedangkan densitas diukur dengan menggunakan piknometer. Kandungan beta-karoten diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 446 nm, sedangkan kandungan alfa-tokoferol diukur menggunakan HPLC dengan panjang gelombang 292 nm.

Penentuan Permeabilitas Membran dan Penentuan Waktu Tunak

Pengukuran permeabilitas membran dilakukan dengan cara mensirkulasikan isopropanol murni pada suhu $30 \pm 2^\circ\text{C}$ pada rentang tekanan transmembran antara 1,5-2,5 bar selama t menit sampai tercapai fluks isopropanol yang konstan. Sedangkan penentuan waktu tunak larutan vitamin minyak sawit dilakukan dengan mengoperasikan membran nanofiltrasi pada tekanan transmembran 1,5 bar untuk membran dengan pori 5 nm dan 1,4 bar untuk membran dengan ukuran pori 10 nm selama t menit sampai tercapai fluks yang konstan.

Penentuan Pengaruh Tekanan Terhadap Fluks

Pengaruh tekanan terhadap fluks dapat dilihat dari hasil proses pemisahan antara vitamin minyak sawit dengan membran nanofiltrasi dengan tekanan operasi nanofiltrasi berkisar antara 1,5-2,5 bar dan laju alir pada skala 0 pada ukuran pori membran 5 nm dan 10 nm.

Penentuan Fluks Dengan Metode Tahanan Seri

Pendugaan fluks sebagai fungsi dari tekanan transmembran dilakukan dengan pendekatan model tahanan seri. Pada tahap ini dilakukan pengukuran dan perhitungan nilai-nilai komponen tahanan proses membran pada kondisi operasi tekanan transmembran 2 bar, laju alir umpan pada skala 0 untuk membran dengan ukuran pori 5 nm dan pada kondisi operasi tekanan transmembran 2,2 bar, laju alir umpan pada skala 0 untuk membran ukuran pori 10 nm. Nilai dan komponen tahanan proses membran yang diukur dan dihitung meliputi tahanan membran internal (R_m), tahanan *fouling* (R_f) dan tahanan polarisasi konsentrasi (R_p). Jumlah nilai R_m dan R_f ditentukan dengan cara menghitung nilai gradient dari plot grafik antara $(1/J)$ sebagai sumbu Y dan $(1/\Delta P)$ sebagai sumbu X, sedangkan intersep dari grafik tersebut ditentukan sebagai nilai indeks tahanan polarisasi konsentrasi (Φ). Nilai R_p ditentukan dengan cara

mengalikan indeks tahanan seri dengan tekanan transmembran ($R_p = \Phi \Delta P$).

$$J = \frac{\Delta P}{R'_m + \Phi \Delta P}$$

$$\frac{1}{J} = \frac{R'_m + \Phi \Delta P}{\Delta P}$$

$$\frac{1}{J} = \Phi + R'_m \frac{1}{\Delta P}$$

$$Y = A + BX$$

Model Fluks

Keterangan:

J = Fluks permeat ($\text{liter m}^{-2} \text{jam}^{-1}$)

ΔP = Tekanan transmembran (bar)

R'_m = Jumlah nilai tahanan membran internal dan tahanan *fouling* ($\text{bar m}^2 \text{jam liter}^{-1}$)

Φ = Indeks tahanan polarisasi konsentrasi ($\text{m}^2 \text{jam liter}^{-1}$)

Penentuan Laju Alir Umpan Terhadap Fluks

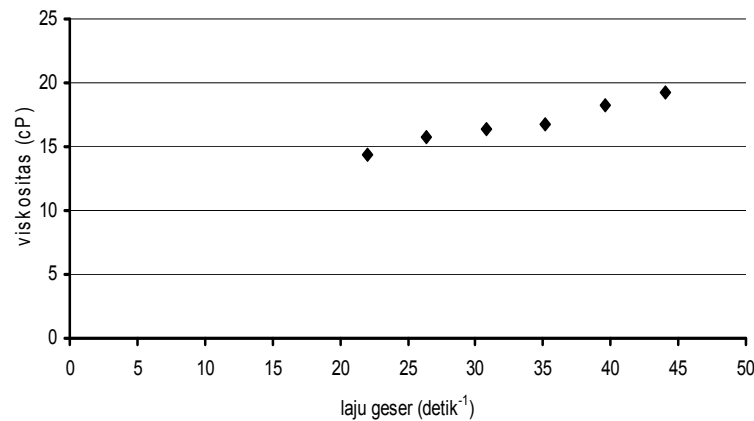
Penentuan laju alir umpan dilakukan untuk meningkatkan fluks permeat pada masing-masing membran. Laju alir umpan untuk membran dengan ukuran pori 5 nm antara lain 0,14; 0,42; 0,69 dan 0,97 m detik^{-1} dan laju alir umpan untuk membran dengan ukuran pori 10 nm antara lain 0,14; 0,42; 0,69 dan 0,83 m detik^{-1} .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Vitamin Minyak Sawit

Larutan vitamin minyak sawit merupakan hasil desorpsi dari olein sawit kasar dengan menggunakan adsorben atapulgit dalam isopropanol dan digunakan sebagai umpan dalam penelitian ini. Viskositas larutan vitamin minyak sawit berkisar antara 14,4-19,2 cP pada rentang laju putaran 100-200 rpm. Hasil pengujian pengaruh laju geser terhadap viskositas larutan vitamin minyak sawit menunjukkan bahwa viskositas larutan menunjukkan nilai yang meningkat dengan meningkatnya laju geser (Gambar 1).

Gambar 1 menunjukkan bahwa larutan vitamin minyak sawit termasuk dalam kategori fluida non-Newtonian dan bersifat dilatan (*shear thickening*) dengan nilai indeks perilaku aliran (n) sebesar 1,39 (Perry dan Green, 1999). Disamping viskositas, karakteristik larutan vitamin minyak sawit lainnya yang dihasilkan berupa densitas, kandungan beta-karoten dan alfa tokoferol disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Hubungan antara viskositas dan laju geser larutan vitamin minyak sawit

Tabel 1. Karakteristik vitamin minyak sawit dalam isopropanol

Karakteristik	Nilai
Densitas [g cm ⁻³]	0,802
Kandungan beta-karoten [µg ml ⁻¹]	1,595
Kandungan alfa-tokoferol [µg ml ⁻¹]	2028

Densitas merupakan suatu parameter yang dapat menjelaskan kerapatan volume suatu bahan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nilai densitas larutan vitamin minyak sawit 0,802 g cm⁻³ dan telah mendekati nilai densitas pelarutnya (isopropanol) yaitu sebesar 0,78 g cm⁻³. Untuk kandungan beta-karoten pada larutan vitamin minyak sawit pada isopropanol sebesar 1,595 µg ml⁻¹. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan kandungan beta-karoten yang ditambahkan ke dalam umpan metil ester minyak sawit oleh Darnoko dan Cheryan (2006) yaitu sebesar 400 µg ml⁻¹. Dan untuk kandungan alfa-tokoferol pada larutan vitamin minyak sawit pada isopropanol sebesar 2028 µg ml⁻¹ (≈ 2,53 mg kg⁻¹). Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan kandungan alfa-tokoferol dalam minyak sawit kasar dan olein sawit kasar oleh Arora *et al.* (2006) sebagai umpan pada membran polimer yaitu sebesar 138-199 mg kg⁻¹.

Permeabilitas dan Tahanan Membran pada Isopropanol

Umpan yang digunakan untuk memperoleh nilai permeabilitas dan tahanan membran internal adalah isopropanol 90%. Laju alir yang digunakan untuk pengukuran fluks dilakukan pada skala nol, dimana pada skala ini daya pendorong (*driving force*) berasal dari tekanan transmembran yang dikendalikan oleh gas nitrogen.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa fluks meningkat secara linier dengan peningkatan tekanan transmembran. Pola tersebut sesuai dengan

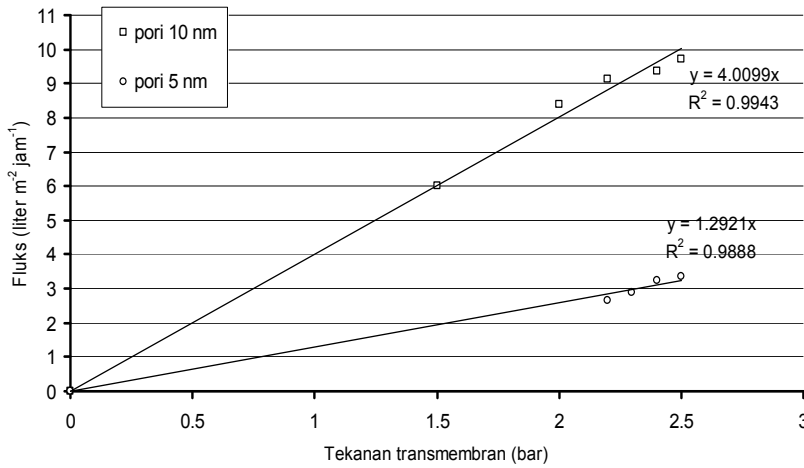
hukum Darcy yang menyatakan bahwa fluks akan meningkat sebanding dengan meningkatnya tekanan transmembran yang diberikan ($J \approx \Delta P$). Hukum Darcy merupakan hukum yang menjelaskan kinerja dari membran berpori dalam pemisahan suatu cairan (Van de Ven, 2008). Nanofiltrasi merupakan membran yang mempunyai ukuran pori antara 0,1-10 nm sehingga mampu memisahkan partikel suatu bahan dengan ukuran 0,01-0,001 µm. Hukum Darcy dapat digunakan dalam nanofiltrasi sesuai dengan Sharma dan Chellam (2005) yang menunjukkan validasi hukum Darcy dalam nanofiltrasi disajikan pada Gambar 3

Dari Gambar 3 dapat dilihat persamaan yang menjelaskan bahwa fluks (J_v) berkorelasi dengan permeabilitas (L_p) dan tekanan transmembran (ΔP), dimana semakin tinggi nilai fluks, maka permeabilitas dan tekanan transmembran akan meningkat.

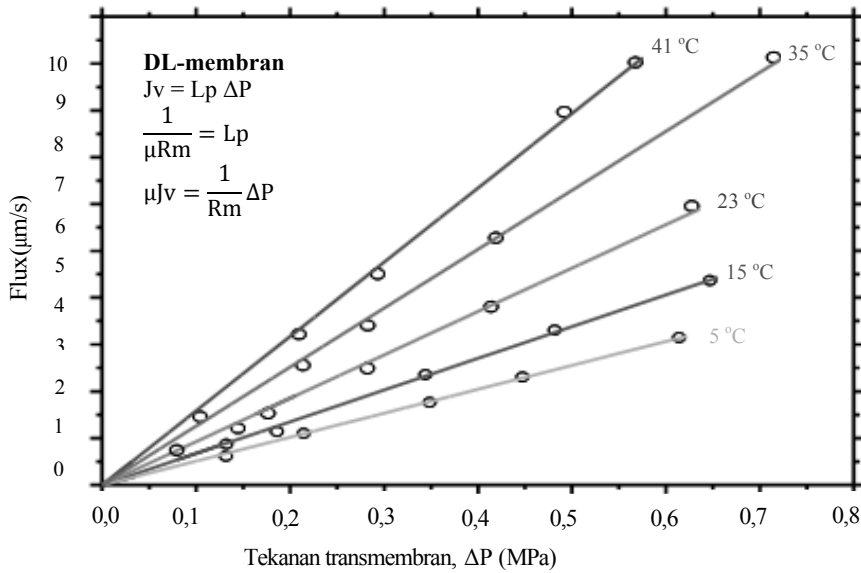
Dilain pihak, tahanan membran internal (R_m) dapat ditentukan dengan menghitung nilai gradien persamaan regresi pada Gambar 4.

Ringkasan hasil perolehan nilai permeabilitas dan tahanan membran pada masing-masing membran disajikan pada Tabel 2.

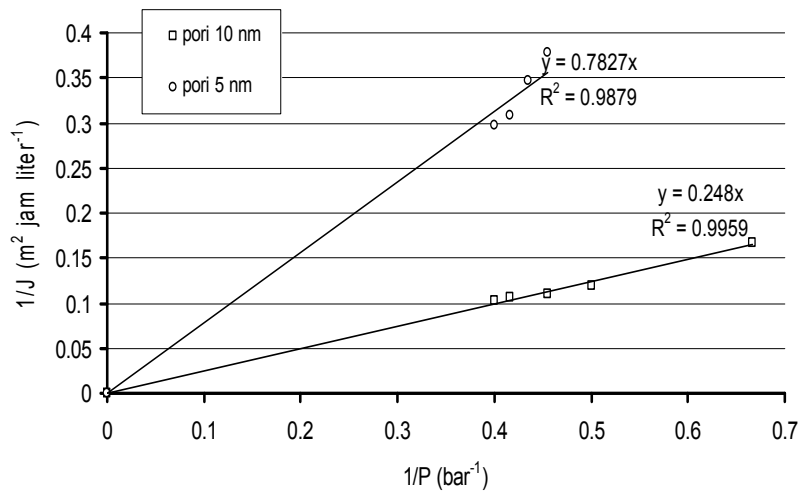
Jika dibandingkan antara fluks permeat dengan permeabilitas membran pada Gambar 2, dapat diketahui bahwa fluks berbanding lurus dengan permeabilitas membran. Hal ini didukung oleh penelitian Cuartas-Urbe *et al.* (2007) yang menggunakan membran dengan ukuran pori 0,47 dan 0,41 nm. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa membran 0,47 nm mempunyai permeabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan membran 0,41 nm, namun fluks permeat yang dihasilkan oleh membran 0,41 nm lebih tinggi dibandingkan dengan membran 0,47 nm. Semakin tinggi permeabilitas membran maka fluks permeat yang dihasilkan akan semakin tinggi.



Gambar 2. Hubungan antara fluks dengan tekanan transmembbran pada isopropanol (pada skala 0)



Gambar 3. Validasi hukum Darcy dengan nanofiltrasi Sharma dan Chellam (2005)



Gambar 4. Hubungan antara 1/J dengan 1/ΔP pada isopropanol (pada skala 0)

Tabel 2. Nilai permeabilitas dan tahanan membran pada isopropanol

Ukuran pori membran	Nilai permeabilitas (liter bar ⁻¹ m ⁻² jam ⁻¹)	Nilai tahanan membran (bar m ² jam liter ⁻¹)
5 nm	1,2921	0,7827
10 nm	4,0099	0,248

Penentuan Waktu Tunak

Sebelum larutan vitamin minyak sawit dimasukkan ke dalam tangki umpan, terlebih dahulu dilakukan filtrasi menggunakan membran mikrofiltrasi (0,2 µm). Filtrasi ini bertujuan untuk menyaring gum, fosfolipid dan koloid lain yang diduga masih terkandung di dalam larutan umpan. Hal ini dilakukan sesuai dengan hasil penelitian Ong *et al.* (1999), Majid *et al.* (2000) dan Arora *et al.* (2006) yang berupaya menghilangkan gum, fosfolipid dan koloid pengotor pada minyak sawit kasar.

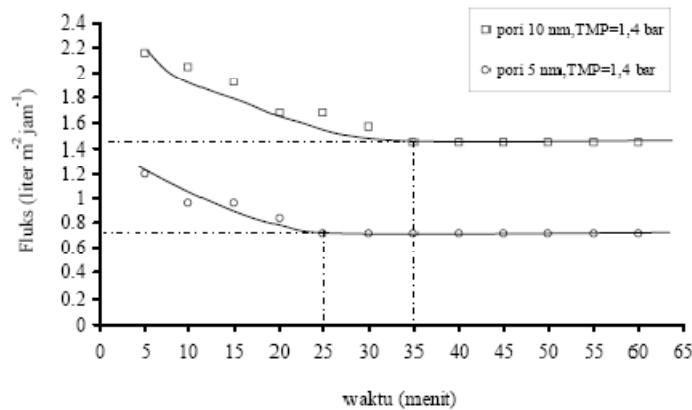
Pengukuran waktu tunak pada masing-masing membran dilakukan sebelum penentuan pengaruh parameter lainnya seperti tekanan transmembran (ΔP) dan laju alir (v). Waktu tunak merupakan waktu yang diperlukan oleh setiap membran untuk memperoleh nilai fluks yang

konstan pada satu kondisi tertentu. Waktu tunak diperoleh dari grafik hubungan antara waktu filtrasi membran dengan nilai fluks yang dihasilkan seperti yang disajikan pada Gambar 5.

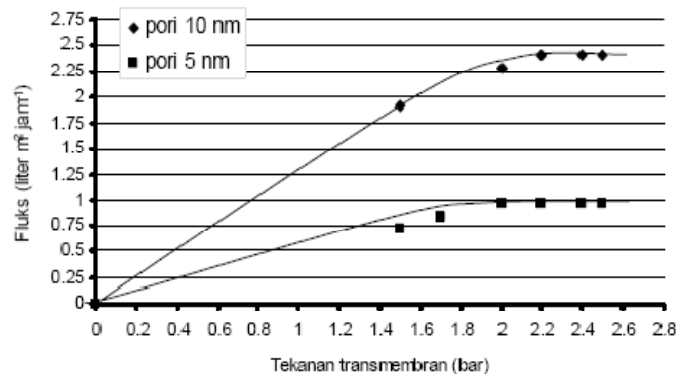
Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa waktu tunak pada masing-masing membran tidak sama yaitu 25 menit untuk ukuran pori 5 nm dengan fluks sebesar 0,72 liter m⁻² jam⁻¹ dan 35 menit untuk ukuran pori 10 nm dengan nilai fluks filtrasi membran sebesar 1,44 liter m⁻² jam⁻¹. Pengukuran pengaruh parameter-parameter selanjutnya dilakukan setelah kondisi tunak tercapai.

Pengaruh Tekanan Transmembran terhadap Fluks

Menurut Cheryan (1998), salah satu parameter operasi utama yang mempengaruhi fluks adalah tekanan transmembran (ΔP). Selang tekanan transmembran yang dipilih untuk membran dengan ukuran pori 5 dan 10 nm adalah antara 1,5 sampai 2,5 bar. Pola perubahan nilai fluks yang disebabkan oleh perubahan tekanan transmembran (ΔP) untuk memperoleh nilai optimum tekanan pada membran dengan ukuran pori 5 nm dan 10 nm dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Hubungan antara fluks dengan waktu untuk menentukan waktu tunak pada masing-masing membran (pada skala 0)



Gambar 6. Hubungan antara fluks dengan tekanan transmembran pada larutan vitamin minyak sawit pada masing-masing membran (pada skala 0)

Kondisi optimum filtrasi membran pada membran 5 nm terjadi pada tekanan transmbran 2 bar dan laju alir umpan 0,42 m detik⁻¹ dengan fluks permeat sebesar 0,96 liter m⁻² jam⁻¹. Di lain pihak, kondisi optimum filtrasi membran pada membran 10 nm terjadi pada tekanan transmbran 2,2 bar dan laju alir umpan 0,69 m detik⁻¹ dengan fluks permeat sebesar 2,4 liter m⁻² jam⁻¹.

Profil Rejeksi Membran terhadap Beta-karotendan Alfa-tokoferol

Rejeksi membran adalah kemampuan suatu membran untuk menahan komponen tertentu yang terdapat dalam larutan umpan. Parameter nilai rejeksi yang diukur pada penelitian ini meliputi rejeksi beta-karoten dan alfa-tokoferol. Rejeksi beta-karoten dan alfa-tokoferol pada membran 5 nm dan 10 nm disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rejeksi beta-karoten dan alfa-tokoferol pada kondisi tekanan transmbran optimum dan laju alir pada skala 0

Vitamin	Membran pori 5 nm (ΔP = 2 bar)	Membran pori 10 nm (ΔP = 2,2 bar)
Beta-karoten	0,87 %	8,71 %
Alfa-tokoferol	44,32 %	2,70 %

Rejeksi beta-karoten pada membran dengan ukuran pori 5 nm maupun 10 nm sangat rendah. Beta-karoten (C₄₀H₅₆) merupakan rantai lurus alifatik tak jenuh dengan cincin benzena pada tiap ekornya. Hal ini memungkinkan molekul tersebut melewati pori membran dengan mudah (Darnoko dan Cheryan, 2006), sehingga rejeksi beta-karoten yang dihasilkan rendah.

Rejeksi alfa-tokoferol membran 5 nm dan 10 nm pada saat kondisi operasi tekanan transmbran optimum masing-masing sebesar 44,32% dan 2,70%. Membran dengan ukuran pori yang lebih kecil mampu menghasilkan nilai rejeksi alfa-tokoferol yang lebih tinggi secara signifikan dibandingkan dengan membran yang mempunyai ukuran pori lebih besar. Meskipun berat molekul (BM) alfa-tokoferol (C₂₉H₅₀O₂ = 5,7,8-trimetiltokol) sebesar 430 Da (lebih kecil dibandingkan ukuran pori membran yang

digunakan) namun alfa-tokoferol dapat tertahan pada membran dengan ukuran pori 5 nm.

Tingginya rejeksi alfa-tokoferol pada membran 5 nm kemungkinan disebabkan karena molekul alfa-tokoferol membentuk rantai yang panjang dan bercabang atau beragregat dengan senyawa lainnya seperti fosfolipid dan atau sterol yang masih terkandung dalam larutan vitamin minyak sawit sehingga diduga membentuk agregat dengan ukuran yang lebih besar.

Susunan dan Nilai Tahanan Filtrasi Membran

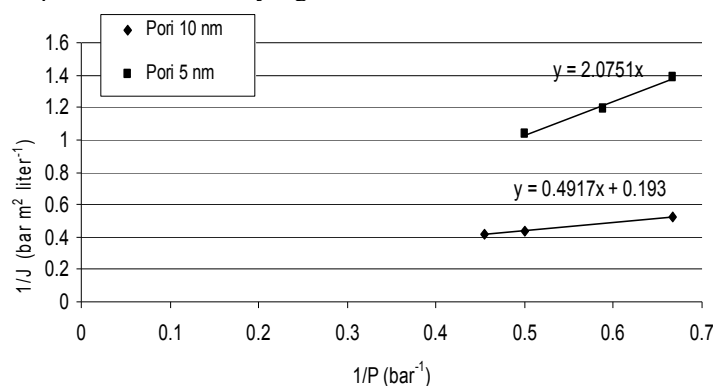
Susunan dan tahanan filtrasi membran dilakukan dengan mengukur tahanan membran internal (R_m), tahanan yang disebabkan oleh fouling (R_f) dan indeks tahanan polarisasi konsentrasi (Φ). Kondisi operasi proses pengukuran pada masing-masing membran dikerjakan pada kisaran tekanan transmbran 1,5-2,5 bar. Pengambilan contoh untuk pengukuran fluks dilakukan setelah kondisi tunak, yaitu 25 menit untuk ukuran pori 5 nm dan 35 menit untuk ukuran pori 10 nm.

Tahanan Membran Internal (R_m)

Tahanan membran yang pertama adalah tahanan membran internal (R_m). Nilai R_m ini telah dijelaskan pada Gambar 3, yaitu nilai R_m untuk membran 5 dan 10 nm masing-masing sebesar 0,7827 dan 0,248 bar m² jam liter⁻¹.

Tahanan Fouling

Nilai tahanan *fouling* diperoleh dengan cara mengurangi nilai gradien R'_m (R_f+R_m) dari plot grafik antara 1/J dan 1/ΔP dengan nilai tahanan membran (R_m). Pada penelitian ini kisaran tekanan transmbran (TMP) yang digunakan untuk mengukur nilai R_f pada membran 5 nm adalah 1,5-2 bar, sedangkan pada membran 10 nm pada kisaran TMP 1,5-2,2 bar. Penentuan kisaran TMP yang digunakan berdasarkan hasil percobaan pada Gambar 6, dimana pada membran 5 nm R_f mendominasi pada TMP <2 bar sedangkan pada membran 10 nm R_f mendominasi pada TMP <2,2 bar. Grafik penentuan R'_m dengan laju alir pada skala 0 disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara 1/J dengan 1/ΔP untuk menentukan nilai R'_m pada masing-masing membran (pada skala 0)

Menurut Spinette (2008) *fouling* sangat dipengaruhi oleh karakteristik membran, ukuran pori dan komposisi bahan umpan. Tahanan *fouling* merupakan tahanan hasil rejeksi *foulant* yang disebabkan oleh interaksi antara *foulant* dengan bahan membran serta interaksi antar *foulant* itu sendiri.

Nilai tahanan *fouling* pada membran 5 dan 10 nm masing-masing sebesar 1,2924 bar m² jam liter⁻¹ dan 0,2437 bar m² jam liter⁻¹. Pada penelitian ini nilai Rf yang dihasilkan pada membran 5 nm lebih tinggi dibandingkan dengan membran 10 nm. Perbedaan nilai Rf ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan mekanisme terjadinya *fouling* pada membran. Menurut Cheryan (1998) mekanisme terjadinya *fouling* erat kaitannya dengan ukuran pori membran dan ukuran partikel dalam umpan. Pada membran dengan ukuran pori lebih kecil *fouling* yang disebabkan karena penyumbatan pori (*pore blocking*) dan pembentukan lapisan *cake* (*layer formation*) akan lebih mudah terjadi dibandingkan pada membran yang mempunyai ukuran pori lebih besar. Dengan demikian *fouling* yang dihasilkan pada membran dengan ukuran pori lebih kecil akan semakin besar.

Nilai Indeks Polarisasi Konsentrasi (Φ)

Nilai Φ diperoleh dari nilai intersep grafik hubungan antara 1/J dan 1/ΔP pada laju alir yang tetap. Laju alir yang digunakan adalah laju alir pada skala 0.

Pada penelitian ini kisaran tekanan transmbran yang digunakan untuk mengukur nilai Φ pada membran 5 nm adalah 2-2,5 bar, sedangkan pada membran 10 nm pada kisaran tekanan transmbran 2,2-2,5 bar. Penentuan

kisaran transmbran yang digunakan berdasarkan hasil percobaan pada Gambar 5, dimana pada membran 5 nm polarisasi konsentrasi mendominasi pada TMP > 2 bar sedangkan pada membran 10 nm polarisasi konsentrasi mendominasi pada TMP > 2,2 bar. Berdasarkan data percobaan dan grafiknya dapat diketahui bahwa laju alir pada skala 0, nilai Φ untuk membran 5 sebesar 1,0417 m² jam liter⁻¹ dan 10 nm sebesar 0,4167 m² jam liter⁻¹.

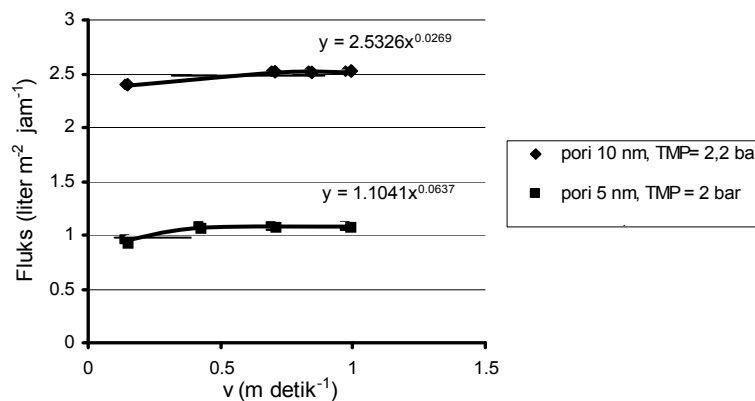
Nilai Φ membran 5 nm tiga kali lebih tinggi dibandingkan membran 10 nm. Dengan demikian dapat diketahui bahwa membran dengan ukuran pori yang lebih kecil mempunyai nilai Φ yang lebih tinggi dibandingkan membran dengan ukuran pori yang lebih besar. Secara ringkas nilai tahanan membran pada filtrasi vitamin minyak sawit dalam isopropanol pada tekanan transmbran optimum dan laju alir umpan pada skala 0 disajikan pada Tabel 4.

Pengaruh Laju Alir terhadap Fluks

Salah satu parameter operasi yang mempengaruhi fluks permeat ketika tekanan transmbran tidak lagi berpengaruh adalah laju alir umpan. Untuk melihat pengaruh laju alir terhadap fluks permeat, filtrasi membran dilakukan pada kondisi tunak pada tekanan transmbran optimum. Dengan demikian kondisi nanofiltrasi dipertahankan pada tekanan transmbran 2 dan 2,2 bar pada membran 5 dan 10 nm dengan perlakuan variasi laju alir antara 0,14 sampai 0,97 m detik⁻¹. Pola perubahan nilai fluks yang disebabkan oleh laju alir umpan (v) pada membran dengan ukuran pori 5 dan 10 nm dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 4. Analisa komponen dan nilai tahanan membran pada filtrasi vitamin minyak sawit dalam isopropanol pada tekanan transmbran optimum dan laju alir umpan pada skala 0

Komponen tahanan membran	Ukuran pori membran	
	5 nm	10 nm
Rm (bar m ² jam liter ⁻¹)	0,7827	0,2480
R'm = Rm + Rf (bar m ² jam liter ⁻¹)	2,0751	0,4917
Rf (bar m ² jam liter ⁻¹)	1,2924	0,2437
Φ (m ² jam liter ⁻¹)	1,0417	0,4167



Gambar 8. Hubungan antara fluks dengan laju alir umpan

Pengaruh peningkatan laju alir terhadap fluks permeat pada penelitian ini relatif insignifikan. Peningkatan fluks permeat pada penelitian ini sangat rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian Majid *et al.* (2000) yang menggunakan membran keramik mikrofiltrasi dengan umpan minyak sawit kasar. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan sifat reologi larutan vitamin minyak sawit dalam isopropanol. Larutan vitamin minyak sawit dalam isopropanol termasuk larutan non-Newtonian dan bersifat dilatan dengan nilai indeks perilaku larutan (n) = 1,39.

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa peningkatan tegangan geser sebagai akibat peningkatan laju geser akan meningkatkan viskositas larutan vitamin minyak sawit dalam isopropanol. Dengan demikian apabila laju alir pada nanofiltrasi ditingkatkan yang berarti tegangan geser pada permukaan membran juga meningkat, maka viskositas larutan umpan akan meningkat. Peningkatan viskositas larutan tidak meningkatkan fluks permeat, sehingga dapat dikatakan bahwa peningkatan laju alir umpan tidak menaikkan fluks permeat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh antara penggunaan nanofiltrasi 5 dan 10 nm tidak efektif dalam memisahkan beta-karoten dan alfa-tokoferol minyak sawit dalam isopropanol, hal ini terlihat dari rendahnya fluks dan tingkat rejeksi yang dihasilkan serta tingginya nilai tahanan membran ditambahkan tekanan transmembran, laju alir optimum, total tekanan seri dan indeks polarisasi konsentrasi. Tekanan transmembran optimum terjadi pada membran 5 nm pada tekanan 2 bar dan laju alir umpan 0,42 m/det dengan fluks 0,96 liter $m^{-2} \text{ jam}^{-1}$ dengan nilai tahanan filtrasi membran yang terdiri dari R_m , R'_m dan R_f yang dihitung menggunakan model tahanan seri masing-masing sebesar 0,78; 2,08 dan 1,29 bar $m^2 \text{ jam liter}^{-1}$ serta indeks polarisasi konsentrasi (Φ) sebesar 1,04 $m^2 \text{ jam liter}^{-1}$, sedangkan untuk membran 10 nm terjadi pada tekanan 2,2 bar dan laju alir 0,69 m/det dengan fluks permeat sebesar 2,4 liter $m^{-2} \text{ jam}^{-1}$ dengan nilai tahanan filtrasi membran yang terdiri dari R_m , R'_m dan R_f masing-masing sebesar 0,25; 0,49 dan 0,24 bar $m^2 \text{ jam liter}^{-1}$ serta indeks polarisasi konsentrasi (Φ) sebesar 0,42 $m^2 \text{ jam liter}^{-1}$.

Saran

Supaya diperoleh fluks dan tingkat rejeksi yang tinggi perlu kajian mengenai penggunaan bahan membran dan jenis pelarut yang berbeda, pengkondisian larutan umpan serta mengendalikan pembentukan agregat alfa-tokoferol dalam larutan vitamin minyak sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyantono A, Fardiaz D, Puspitasari NL, Sedarmawati, Budiyanto S. 1989. Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dirjen Pendidikan Tinggi, PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor.
- Arora S, Manjula S, Krishna AGG, Subramanian R. 2006. Membran Processing of Crude Palm Oil. *Desal* 19: 454-466.
- Cheryan M. 1998. *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co Inc.
- Cho J, Amy G, Pellegrino J. 1999. Membran Filtration of Natural Organic Matter: Initial Comparison of Rejection and Flux Decline Characteristics With Ultrafiltration and Nanofiltration Membrans. *Wat Res* 33(11): 2517-2526.
- Cuartas-Uribe B, Alcaina-Miranda MI, Soriano-Costa E, Bes-Plá A. 2007. Comparison of Behavior of Two Nanofiltration Membrans For Sweet Whey Demineralization. *J Dairy Sci* 90: 1094-1101.
- Darnoko D dan Cheryan M. 2006. Carotenoids From Red Palm Methyl Esters by Nanofiltration. *J Am Oil Chem Soc* 83 (4): 365-370.
- Koris A, Xianguo H, Vatai Gy. Ultrafiltration and Nanofiltration of Oil-In-Water Emulsions: Comparison of Resistances. [<http://www.mec.utt.ro/~tmtar/lucrariavh05/vol%20I%20Pdf/3Water/3010%20KORIS%20A.%20H.%20XIANGUO%20Gy.%20VA-TAI.pdf/>] [31 januari 2008].
- Majid RA, Baharin BS, Ahmadun FR, Che Man YB. 2000. Processing of Crude Palm Oil With Ceramic Microfiltration Membran. *J Food Lipids* 7: 113-126.
- Ong KK, Fakhru'l-Razi A, Baharin BS, Hassan MA. 1999. *Artificial Cells Blood Substitute Immobil Biotechnol* 27 : 381-385 dalam Arora S, Manjula S, Krishna AGG, Subramanian R. 2006. Membran processing of crude palm oil. *Desal* 191: 454-466.
- Perry RH dan Green DW. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. Kansas: Mc Graw Hill.
- Quek SY, BS Chu, BS Baharin. 2007. Commercial Extraction of Vitamin E From Food Sources dalam *The Encyclopedia of Vitamin E*. eds VR Preedy dan RR Watson. CAB International. p: 140-152.
- Sharma RR dan Chellam S. 2005. Temperature Effects on the Morphology of Porous Thin Film Composite Nanofiltration Membrans. *Environmental Science and Technology* 39 (13): 5022-5030.

- Sirait KEE. 2007. Kinetika Adsorpsi Isothermal β -Karoten Olein Sawit Kasar dengan Menggunakan Atapulgit. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Spinette RF. 2008. Fouling of a Hydrophobic Microfiltration Membran by Algae and Algal Organic Matter: Mechanisms and Prevention. [Dissertation]. Maryland, Baltimore : John Hopkins University.
- Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. 2002. Two Modes of nanoleakage Expression In Single-Step adhesives. *J Dent Res* 81: 472-476.
- Van de Ven WJC. 2008. Towards Optimal Saving in Membran Operation: *The Development of Process Inspection and Feedwater Characterization Tools*. [Tesis]. Belanda: University of Twente.
- Yuliarti E. 2007. Kinetika Adsorpsi Isothermal β -Karoten Olein Sawit Kasar dari Atapulgit dengan Menggunakan Isopropanol. [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.