

# Separasi Garam Natrium dan Protein pada Putih Telur Asin Menggunakan Membran Ultrafiltrasi

[Separation of Sodium Salt and Protein in Salted Egg Whites Using Ultrafiltration Membrane]

Hening Paradigma<sup>1)</sup>, Azis Boing Sitanggang<sup>2)\*</sup>, dan Slamet Budijanto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>2)</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

Received Desember 10<sup>th</sup> 2023 / Revised October 11<sup>th</sup> 2024 / Accepted October 25<sup>th</sup> 2024

## ABSTRACT

*Salted egg white desalination is a method of reducing salt levels while optimising protein yield. This study aimed to analyse the effects of membrane pore size and dilution levels on the quantity of protein and salts. The identification of rheological properties and the type of fouling that occurs during the salted egg white desalination process were also examined. The sample with the most effective desalination result was analysed for the variation of amino acid profiles before and after filtration. A completely randomised design was employed in this study, with treatment factors of membrane pore size (5, 10, and 20 kDa) and dilution levels (undiluted and 5-time dilution) with two replications. Filtering salted egg whites at each pore size of the ultrafiltration membrane retained all the proteins in the salted egg whites. Furthermore, varying the dilution level had no effect on the protein loss. The permeation weight was positively correlated with the desalination level. The fouling model simulation successfully identified the cake filtration model, with the rheological characteristics of salted egg white before and after filtration exhibiting shear thinning behaviour. The filtered salted egg whites, measured at a low shear rate, demonstrated a lower viscosity compared to sample than before filtration. The most effective treatment for salted egg white desalination was obtained by subjecting undiluted sample with 20 kDa-membrane filtration. Analysis of the amino acid profiles of the most effective treatment showed no significant changes after filtration.*

**Keywords:** desalination, salted egg white, ultrafiltration

## ABSTRAK

Desalinasi putih telur asin merupakan metode untuk mereduksi kadar garam dengan perolehan protein yang optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ukuran pori membran dan tingkat pengenceran terhadap kandungan protein dan garam. Identifikasi sifat reologi dan jenis pemampatan yang terjadi, juga ditinjau selama proses desalinasi putih telur asin. Sampel dengan hasil desalinasi terbaik yang diperoleh, dianalisis perbedaan profil asam amino sebelum dan setelah proses penyaringan membran ultrafiltrasi. Rancangan acak lengkap digunakan pada penelitian ini, dengan faktor perlakuan ukuran pori membran (5, 10, dan 20 kDa) dan tingkat pengenceran (tanpa pengenceran dan pengenceran 5 kali) dengan dua kali ulangan. Penyaringan putih telur asin pada setiap ukuran pori membran ultrafiltrasi mampu menahan seluruh protein pada putih telur asin. Selain itu, variasi tingkat pengenceran tidak berpengaruh pada protein yang hilang. Berat permeat memiliki korelasi positif dengan tingkat desalinasi. Simulasi model pemampatan yang berhasil diidentifikasi adalah model *cake filtration*, dengan karakteristik reologi putih telur asin sebelum dan setelah filtrasi adalah *shear thinning*. Putih telur asin hasil filtrasi diukur pada *shear rate* rendah menghasilkan viskositas yang lebih rendah dibandingkan sebelum menjalani filtrasi. Perlakuan terbaik desalinasi putih telur asin yaitu filtrasi sampel yang tidak diencerkan menggunakan membran 20 kDa. Analisis profil asam amino pada perlakuan terbaik menunjukkan tidak ada perubahan signifikan sebelum dan setelah filtrasi.

**Katakunci:** desalinasi, putih telur asin, ultrafiltrasi

---

\*Penulis Korespondensi: Email: boing.lipan@apps.ipb.ac.id

## PENDAHULUAN

Telur asin adalah salah satu jenis makanan tradisional populer di Indonesia dan beberapa negara lain seperti Tiongkok. Umumnya bagian kuning telur digunakan dalam jumlah besar untuk ingredien berbagai jenis olahan di restoran besar maupun industri, sehingga dihasilkan putih telur asin sebagai produk samping utama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2013) putih telur bebek asin merupakan produk samping terbesar dari penggunaan kuning telur bebek asin. Kandungan NaCl pada telur asin pada penelitian Zhou *et al.* (2015) dilaporkan sebesar 1,5 g/butir. Dalam memanfaatkan produk samping putih telur asin, diperlukan metode pengolahan untuk mereduksi garam dan memperoleh kandungan protein optimal.

Peningkatan nilai tambah putih telur asin dapat dilakukan dengan menggunakan desalinasi pada putih telur asin. Desalinasi putih telur asin bertujuan untuk mereduksi kadar garam dengan tetap mempertahankan protein secara optimal. Metode desalinasi untuk putih telur asin yang telah dipelajari adalah desalinasi secara fisik seperti ultrafiltrasi (Wang *et al.*, 2013; Zhou *et al.*, 2015; Thammasena *et al.*, 2020), elektrodialisis (Mmadi *et al.*, 2014), *ballmilling*-pencucian-centrifus (Wang *et al.*, 2015). Metode kimia yang telah diteliti adalah aplikasi gelatin *thermoreversible*-perendaman (Dai *et al.*, 2022; Dai *et al.*, 2021), pH *shift*-sentrifugasi (Chaijan dan Panpipat, 2018). Metode yang banyak digunakan dan relatif efisien adalah metode ultrafiltrasi (Aider *et al.*, 2008). Ultrafiltrasi adalah suatu proses yang zat terlarutnya memiliki berat molekul dalam kisaran 1–200 kDa dihilangkan secara selektif menggunakan membran semipermeabel yang beroperasi pada tekanan yang lebih rendah daripada *reverse osmosis* (Fellows, 2000). Membran ultrafiltrasi memiliki pori-pori yang lebih kecil dari membran mikrofiltrasi tetapi lebih besar dari membran nanofiltrasi dan *reverse osmosis*.

Hingga saat ini belum ditemukan kajian yang terfokus pada pengaruh ukuran pori membran serta tingkat pengenceran yang digunakan terhadap kadar garam dan protein putih telur asin yang telah di desalinasi. Wang *et al.* (2013) melaporkan bahwa desalinasi menggunakan membran dengan *molecular weight cut off* (MWCO) 20 kDa disertai dengan perlakuan ultrasonik dan pengeringan *freeze drying* akan menghasilkan sifat fungsional pada bubuk putih telur asin yang berbeda. Penelitian serupa juga telah dilaporkan bahwa desalinasi menggunakan membran dengan MWCO 10 kDa disertai perlakuan gelombang ultrasonik, *microwave* dan *spray drying* (Zhou *et al.*, 2015) akan memberikan tingkat desalinasi dan sifat fungsional bubuk putih telur asin yang berbeda. Desalinasi menggunakan membran dengan MWCO 100 kDa disertai perlakuan *spraydrying*

(Thammasena *et al.*, 2020), akan memberikan tingkat desalinasi, komposisi kimia dan sifat fungsional bubuk putih telur asin yang berbeda. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh ukuran pori membran dan tingkat pengenceran terhadap kandungan protein dan garam. Identifikasi sifat reologi dan jenis pemampatan yang terjadi, juga ditinjau selama proses desalinasi putih telur asin. Sampel dengan hasil desalinasi terbaik yang diperoleh, dianalisis perbedaan profil asam amino sebelum dan setelah proses penyaringan membran ultrafiltrasi.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan utama pada penelitian ini adalah telur asin yang diperoleh dari pengrajin telur asin dengan merk "Telur Asin MR" di kota Bekasi, Jawa Barat. Membran ultrafiltrasi yang digunakan yaitu *polyethylene sulfone* (PES) dari *Micro Nadir Polly Esthercan* (Jerman), dengan *backing material polypropylene* berukuran 5, 10, dan 20 kDa. Ketebalan membran yaitu 210–250  $\mu\text{m}$  dengan toleransi pH yang lebar yaitu 0–14, *pure water Water One OneMed* (Indonesia).

### Persiapan sampel putih telur

Sebanyak 500 butir putih telur bebek asin ( $\pm 5$  liter) disaring menggunakan saringan 20 *mesh*, kemudian dihomogenisasi dengan pengadukan selama 5 menit. Putih telur asin kemudian dimasukkan dalam botol berukuran 100 mL dan disimpan pada suhu 4 °C.

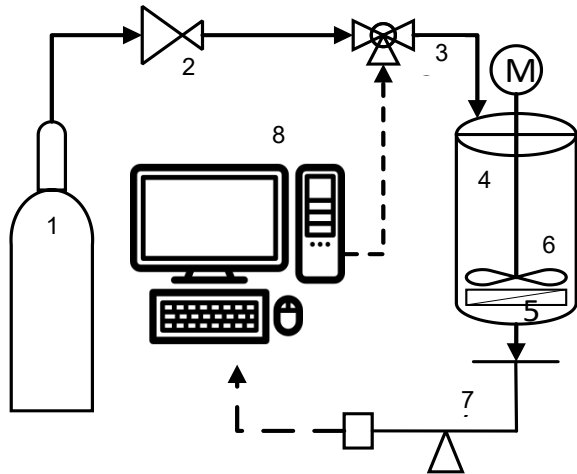
### Persiapan filtrasi

Skema reaktor membran dapat dilihat pada Gambar 1. Pengoperasian dilakukan berdasarkan Sitanggang *et al.* (2021) dengan modifikasi. Tekanan diberikan oleh gas nitrogen (1), besarnya tekanan diatur oleh PID *controller* (3). Proses filtrasi dilakukan dengan sistem operasi *dead-end*. Membran dipotong dengan ukuran diameter 4 cm dan direndam dalam *pure water* selama 15 menit sebelum dipasang pada reaktor membran. Selanjutnya, membran digunakan untuk menyaring *pure water* pada tekanan 1 bar selama 30 menit dan kecepatan pengadukkan 300 rpm.

### Penentuan ukuran pori membran

Separasi protein dan garam dengan membran dilakukan berdasarkan berat molekul komponen dalam putih telur asin. *Feed tank* yang digunakan memiliki kapasitas 90 mL sehingga setiap penyaringan digunakan putih telur asin sebanyak 90 mL menggunakan tiga ukuran pori membran (5, 10, dan 20 kDa) dengan kondisi tekanan konstan 1 bar selama 120 menit pada suhu ruang ( $26 \pm 1$  °C) dan

diaduk pada kecepatan 300 rpm. Retentat hasil filtrasi oleh masing-masing membran dan tingkat pengenceran akan dikarakterisasi kadar protein dan kadar natrium sebagai garam. Ukuran pori membran yang menghasilkan fraksi protein dengan kadar protein tertinggi dan kadar natrium terendah digunakan untuk analisis asam amino.



Keterangan: (1) tabung gas nitrogen, (2) pengatur tekanan, (3) *proportional pressure regulator*, (4) reaktor, (5) membran ultrafiltrasi (UF), (6) pengaduk, (7) timbangan untuk permeat, (8) komputer  
 Note: (1) Nitrogen gas, (2) pressure regulator, (3) *proportional pressure regulator*, (4) reactor, (5) ultrafiltration (UF) membrane, (6) stirrer, (7) permeate scale, (8) computer

Gambar 1. Skema reaktor membran  
 Figure 1. Membrane reactor scheme

**Pengukuran kadar protein**

Kadar protein dianalisis menggunakan metode Bradford (Bradford, 1976). Sebanyak 0,1 g *coomassie brilliant blue G-250* dilarutkan kedalam 50 mL etanol 95%. Lalu ditambahkan 100 mL asam fosfat 85%. Campuran dihomogenisasi dan disaring sebelum digunakan. Larutan baku standar *bovine serum albumine* (BSA) 100 ppm dibuat dan diencerkan dengan konsentrasi deret standar (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) ppm ke dalam masing-masing standar protein ditambahkan 5 mL reagen *bradford*. Divortex dan diinkubasi pada suhu ruang selama 2–10 menit. Warna biru yang terbentuk diukur pada panjang gelombang 595 nm. Pengukuran sampel dilakukan dengan memipet 0,1 mL sampel protein dan dilanjutkan dengan prosedur pada pengukuran larutan standar BSA. Setelah itu, data tersebut dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{absorbansi sampel}}{\text{slop}} \times \text{faktor pengenceran} \dots\dots\dots (1)$$

Setelah diperoleh konsentrasi (ppm atau mg/l) maka dilakukan perhitungan berat protein dalam volume sampel pada Persamaan 2.

$$\text{Berat Protein (g)} = \frac{\text{konsentrasi} \times \text{volume sampel}}{1000} \dots (2)$$

**Pengukuran kandungan garam NaCl**

Kadar garam pada retentat diukur dengan metode AOAC (2012). Sebanyak 1 g sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, dan ditambahkan 25 mL perak nitrat 0,1 M dan 10 mL asam nitrat pekat kemudian dikocok kuat. Campuran tersebut kemudian dipanaskan dengan perlahan selama 10 menit. Lalu, 50 mL aquades dan 5 mL indikator Fe<sup>3+</sup> dimasukkan ke dalam larutan sebelum dititrasi menggunakan larutan standar kalium tiosianat 0,1 M, hingga larutan berubah warna coklat terang permanen. Persentase garam dikalkulasi dengan Persamaan 3.

$$\text{Konsentrasi (\%)} = 5,85 \times \frac{(V1 \times N1) - (V2 \times N2)}{W} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: V1 adalah volume dari AgNO<sub>3</sub> (mL), N1 adalah konsentrasi AgNO<sub>3</sub> (N), V2 adalah volume dari kalium tiosianat (mL), N2 adalah konsentrasi kalium tiosianat (N), dan W adalah berat sampel (g). Setelah diperoleh konsentrasi garam (%) maka dilakukan perhitungan berat garam dalam volume sampel, dihitung dengan Persamaan 4.

$$\text{Berat Garam (g)} = \frac{\text{konsentrasi} \times \text{berat sampel}}{100} \dots\dots (4)$$

**Pengukuran tingkat desalinasi**

Tingkat desalinasi dianalisis berdasarkan Zhou *et al.* (2015) dengan rumus perhitungan (Persamaan 5) yang sudah dimodifikasi.

$$\% \text{Tingkat Desalinasi} = \left[ \frac{\text{berat NaCl (g) di permeat}}{\text{berat NaCl di permeat (g)} + \text{berat NaCl di retentat (g)}} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

**Pengukuran protein loss**

Kehilangan protein atau protein *loss* dianalisis berdasarkan Chaijan dan Panpipat (2018) yang sudah dimodifikasi (Persamaan 6).

$$\% \text{Protein Loss} = \left[ \frac{\text{berat protein (g) di permeat}}{\text{berat protein di permeat (g)} + \text{berat protein di retentat (g)}} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

**Identifikasi fenomena pemampatan**

Fenomena pemampatan diamati pada tiga ukuran membran (5, 10, dan 20 kDa) dan dua level pengenceran (tanpa pengenceran dan pengenceran 5 kali lipat) selama filtrasi putih telur asin. Jenis model pemampatan yang dikaji pada penelitian ini berdasarkan Field (2010) terdiri dari *complete pore blocking* (Persamaan 7), *internal pore blocking* (Persamaan 8), *particle pore blocking* (Persamaan 9), *cake filtration* (Persamaan 10).

$$J = J_0 \cdot K \cdot A \cdot t \dots\dots\dots (7)$$

$$J = J_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} K \cdot (A \cdot J_0)^{0.5} \cdot t \right]^{-2} \dots\dots\dots (8)$$

$$J = J_0 \left[ 1 + K \cdot (A \cdot J_0) \cdot t \right]^{-1} \dots\dots\dots (9)$$

$$J = J_0 \left[ 1 + 2 \cdot K \cdot (A \cdot J_0)^2 \cdot t \right]^{-1/2} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:  $J_0$ = fluks awal ( $m^3/m^2s$ ),  $J$ = fluks akhir ( $m^3/m^2s$ ),  $A$ = luas membran ( $m^2$ ),  $t$ = waktu filtrasi (s),  $K$ = konstanta resistansi

Identifikasi model pemampatan yang mungkin terjadi di permukaan membran berdasarkan nilai *Sum Squared Error* (SSE). Semakin kecil nilai SSE mengindikasikan bahwa model pemampatan semakin sesuai dengan fenomena pemampatan yang terjadi secara aktual. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *tools solver* pada *Microsoft 365-Excel*.

**Identifikasi sifat reologi putih telur asin**

Pengamatan reologi untuk mengukur sifat aliran menggunakan rheometer (Anton Paar Physica MCR 92, Austria) dengan geometri *cone and plate* (diameter 50 mm, sudut 1°). Sampel putih telur sebanyak ±5 mL disebar di permukaan *plate*. Kemudian alat dijalankan. Kemudian *spindle* akan turun hingga posisi sejajar dengan *plate* dan membentuk *gap* antar *cone* dan *plate* sebesar 0,1 mm. Alat dioperasikan pada *shear rate* 1–1000  $s^{-1}$  pada suhu 25 °C. Pengaturan pada *data point* diatur sebanyak 51 titik pengambilan data, durasi *ramp logarithmic*, waktu *initial* 10 detik dan waktu *final* 1 detik. *Data set value* diatur pada *variable shear rate*, profil *ramp logarithmic*, waktu *initial* 1 detik dan waktu *final* 1000 detik.

**Pengukuran asam amino total**

Pengukuran asam amino total dibagi menjadi tiga metode pengukuran sesuai jenis asam aminonya. Asam amino sistin dan metionin menggunakan metode *Ultra-Performance Liquid Chromatography-Mass Spectrometry* (UPLC-MSMS). Asam amino triptofan menggunakan metode *High Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detector* (HPLC-PDA). Lima belas asam amino sisanya menggunakan metode *Ultra-Performance Liquid Chromatography-Photodiode Array Detector* (UPLC-PDA).

Analisis UPLC-PDA untuk 15 asam amino selain triptofan, sistin, dan metionin dilakukan menggunakan instrumen UHPLC (Waters Corporation, 2012; Ma *et al.*, 2018; Rohman, 2022). Penentuan kadar asam amino dalam sampel dilakukan sesuai dengan Persamaan 11.

Kadar Asam Amino (mg/Kg)=

$$\frac{A_{spl}}{A_{is}} \times \frac{C_{std}}{1000000} \times BM \times Va \times FP \dots\dots\dots (11)$$

$W_{spl}$

Keterangan:  $A_{spl}$ = luas area analit asam amino,  $A_{is}$ = luas area internal standar AABA,  $BM$ = Bobot molekul asam amino (g/mol),  $C_{std}$ = konsentrasi larutan standar asam amino (pmol/ $\mu$ L),  $Va$ = volume akhir larutan uji ( $\mu$ L),  $FP$ = faktor pengenceran,  $W_{spl}$ = bobot penimbangan porsi uji (g)

Analisis UPLC-MSMS untuk analisis asam amino sistin dan metionin dilakukan dengan metode dari European Commission (2009) dan DahLassen *et al.* (2018) dengan instrumen UHPLC.

**Kadar asam amino cysteic acid dan methionine sulfone**

Perhitungan kadar dalam sampel dengan menggunakan kurva kalibrasi standar dengan persamaan garis:  $Y = bx+a$ , dengan rumus Persamaan 12.

$$\text{Kadar} \left( \frac{mg}{Kg}, \frac{mg}{L} \right) = \frac{\left( \frac{\text{luas area}-a}{b} \right) \times V \times fp}{W_{spl} \text{ atau } V_{spl}} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:  $a$ = *intercept* dari kurva kalibrasi standar,  $b$ = *slope* dari kurva kalibrasi standar,  $V$ = volume akhir larutan uji (mL),  $fp$ = faktor pengenceran,  $W_{spl}$ = bobot porsi uji (g),  $V_{spl}$ = volume porsi uji (mL)

$$\text{Kadar Cysteine} \left( \frac{mg}{Kg}, \frac{mg}{L} \right) =$$

$$\frac{BM \text{ cystine}}{BM \text{ cysteic acid}} \times \text{kadar cysteic acid} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:  $BM \text{ cystine}$ = 120,15 g/mol,  $BM \text{ cysteic acid}$ = 169,16 g/mol

$$\text{Kadar Metionin} \left( \frac{mg}{Kg}, \frac{mg}{L} \right) =$$

$$\frac{BM \text{ metionin}}{BM \text{ metionin sulfon}} \times \text{kadar metionin sulfon} \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:  $BM \text{ methionine}$ = 149.21 g/mol,  $BM \text{ methionine sulfone}$ = 181,21 g/mol

Analisis UPLC-PDA untuk asam amino *tryptophan* dilakukan dengan metode dari European Commission (2009) dengan instrumen HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Kadar asam amino *tryptophan* ditentukan dengan Persamaan 15.

$$\text{Kadar Tryptophan} \left( \frac{\text{g}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{A \times B \times V1 \times c \times V2 \times M}{C \times D \times V3 \times 10000 \times m} \quad (15)$$

Keterangan: A= luas puncak standar internal, larutan standar kalibrasi, B= luas puncak triptofan, ekstrak atau hidrolisat, V1= volume dalam mL (2 mL) larutan triptofan pekat yang ditambahkan ke larutan kalibrasi, c= Konsentrasi dalam μmol/mL (=2,50) larutan triptofan pekat ditambahkan pada larutan kalibrasi, V2= volume dalam mL larutan standar internal pekat yang ditambahkan pada ekstraksi (= 5,00 mL) atau ke hidrolisat (= 2,00 mL), C= luas puncak standar internal, ekstrak atau hidrolisat, D= luas puncak triptofan, larutan baku kalibrasi, V3= volume dalam ml (= 2,00 mL) larutan baku internal pekat ditambahkan ke larutan standar kalibrasi, m= berat sampel dalam gram (dikoreksi ke berat asli jika dikeringkan dan/atau dihilangkan lemaknya), M= berat molar triptofan (= 204,23 g/mol).

Berat asam amino yang terkandung dalam retentat atau permeat dihitung dengan Persamaan 16.

$$\text{Berat Asam Amino (mg)} = \frac{[\text{kadar asam amino} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times \text{berat sampel retentat atau permeat (g)}]}{1000} \quad (16)$$

**Analisis data**

Penelitian ini disusun dengan rancangan acak lengkap (RAL). Dengan faktor ukuran membran dan tingkat pengenceran dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Analisis data diolah menggunakan perangkat

program SPSS Ver. 26 berupa uji *two-way* ANOVA, uji *Tuckey* dan uji T. Nilai korelasi Pearson dianalisis menggunakan *Microsoft 365-Excel*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Tingkat desalinasi**

Tingkat desalinasi pada penelitian ini ditinjau melalui keterkaitan ukuran pori membran dan tingkat pengenceran. Ukuran pori membran dan tingkat pengenceran secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan (*p*>0,05) dan tidak ada interaksi antara dua faktor tersebut terhadap tingkat desalinasi. Hal ini diduga bahwa jumlah permeat yang diperoleh setelah penyaringan belum optimal untuk masing-masing tingkat perlakuan. Korelasi yang tinggi dan positif ditemukan antara tingkat desalinasi dengan berat permeat (*r*= 0,9) (Tabel 1). Semakin tinggi berat permeat, maka semakin tinggi tingkat desalinasi. Tingkat desalinasi juga dipengaruhi oleh banyaknya molekul air yang berinteraksi dengan ion NaCl pada putih telur asin, dan berhasil menembus membran (*permeat*) meninggalkan protein yang terkonsentrasi pada retentat. Interaksi antara ion NaCl dan molekul air ini dilaporkan oleh Klimeš *et al.* (2013).

Tingkat desalinasi yang didapatkan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian lainnya. Hal ini dikarenakan perbedaan luas permukaan membran yang signifikan. Penelitian ini menggunakan membran dengan luas permukaan 12,4 cm<sup>2</sup>. Zhou *et al.* (2015) mendapatkan nilai desalinasi sebanyak 92% menggunakan membran 10 kDa dengan luas 2.112 cm<sup>2</sup>. Luas membran berbanding lurus dengan volumetrik *flow rate* permeat (Pabby *et al.*, 2009). Hal ini juga sejalan dengan hasil analisis statistik sebelumnya yang menyimpulkan bahwa tingkat desalinasi berko-relasi positif dengan berat permeat.

Tabel 1. Hasil tingkat desalinasi pada proses penyaringan putih telur asin pada tiga ukuran pori membran dan dua tingkat pengenceran

Table 1. Desalination rate result in the salted egg white filtration process at three membrane pore sizes and two dilution levels

Perlakuan (Treatment)		Berat Permeat (g) (Weight of Permeate (g))	Berat Garam (g) (Weight of Salts (g))			Tingkat Desalinasi (%) (Desalination Rate (%))
Ukuran Membran (kDa) (Membrane Pore Size (kDa))	Tingkat Pengenceran (Kali) (Dilution Rate (Times))		Permeat (Permeate)	Retentat (Retentate)	Total (Overall)	
5	0	17.3±0.6	0.89±0.1	3.08±1.3	3.97±1.4	24.7±6.5 <sup>a</sup>
10	0	14.9±1.4	0.78±0.1	3.06±1.0	3.84±0.9	22.0±7.3 <sup>a</sup>
20	0	18.0±0.8	0.89±0.1	3.05±1.0	3.94±0.9	24.6±8.4 <sup>a</sup>
5	5	23.7±1.0	0.83±0.3	2.40±0.8	3.23±1.1	25.7±0.4 <sup>a</sup>
10	5	22.1±0.9	0.76±0.2	2.48±0.9	3.25±1.1	24.0±1.6 <sup>a</sup>
20	5	28.7±0.0	1.00±0.5	2.33±0.7	3.33±1.2	28.3±4.6 <sup>a</sup>

### Protein recovery

Jumlah protein yang diperoleh pada retentat sama dengan jumlah protein dalam 90 mL larutan putih telur asin awal (Tabel 2). Hal ini dikarenakan tidak ada protein yang lolos melewati membran 5, 10, dan 20 kDa, baik tanpa pengenceran maupun dengan pengenceran 5 kali. Meskipun pada studi lain telah teridentifikasi sebanyak 1,2% protein dalam putih telur memiliki ukuran molekul di bawah 20 kDa (Woodward, 1990; Huang dan Lin, 2011; Chaijan dan Panpipat, 2018), pada penelitian ini, tidak adanya protein yang lolos pada membran dengan pori di bawah 20 kDa kemungkinan disebabkan oleh dominasi protein dengan ukuran molekul di atas 20 kDa. Jumlah molekul protein putih telur yang berukuran besar ini semakin meningkat dengan adanya denaturasi-agregasi-persipitasi pada putih telur ketika filtrasi dilakukan. Denaturasi disebabkan oleh proses pengadukan dalam reaktor membran (Woodward, 1990; Lechevalier *et al.*, 2005; Quan dan Benjakul, 2019), dan tekanan tinggi (Campbell *et al.*, 2003). Persipitasi protein terjadi diakibatkan oleh fenomena salting out (Winarno, 1997; Ferreira Machado *et al.*, 2007; Xu *et al.*, 2017). Mekanisme pengendapan tidak memerlukan denaturasi secara menyeluruh, cukup terjadi denaturasi sebagian yang kemudian membentuk kompleks dengan molekul protein lain melalui interaksi hidrofobik yang terbuka ataupun dengan ikatan hidrogen antar rantai yang terbuka (Campbell *et al.*, 2003). Proses ini juga dipengaruhi oleh sifat putih telur yang sulit dihomogenisasi karena sifat larutan protein telur yang heterogen baik ukuran maupun jenis proteinnya.

### Mekanisme pemampatan selama filtrasi putih telur asin

Mekanisme pemampatan atau *fouling* dilakukan pada penelitian ini untuk menganalisis karakteristik pemampatan dari substrat putih telur asin sehingga rekayasa untuk meningkatkan proses penyaringan dapat dilakukan. Optimalisasi kinerja filtrasi putih telur asin kemudian dapat dilakukan dengan meningkatkan kecepatan pengadukan, menggunakan membran yang bergetar atau berputar. Sistem penyaringan putih telur asin yang digunakan pada penelitian ini adalah *dead end* yang menyebabkan pemampatan pada permukaan membran. Proses pemampatan ini terjadi akibat gaya adhesi antara partikel *foulant* dengan membran atau akibat interaksi *foulant* dengan *foulant* yang kemudian menutupi permukaan membran. *Foulant* merupakan senyawa yang dapat menyebabkan pemampatan. *Foulant* dapat berupa koloid, senyawa organik maupun inorganik, serta mikroba (Ashfaq *et al.*, 2019). Pada penyaringan putih telur asin, *foulant* didominasi oleh glikoprotein dengan kandungan 2–58% setiap jenis protein (Stevens, 1991) dengan berat molekul yang bervariasi dari yang lebih kecil hingga yang lebih besar

daripada pori membran.

Tabel 3 menunjukkan bahwa model dengan SSE terkecil pada setiap perlakuan didominasi oleh model pemampatan *cake filtration*. Penyebab model *cake filtration* pada setiap perlakuan model pemampatan diduga disebabkan oleh jumlah molekul putih telur yang berukuran lebih besar dari pori membran lebih banyak daripada jumlah molekul putih telur yang berukuran lebih kecil dari pori membran. Jumlah molekul putih telur yang berukuran besar ini semakin meningkat dengan adanya denaturasi-agregasi-persipitasi pada putih telur ketika filtrasi dilakukan. Semakin besar ukuran molekul protein dibandingkan ukuran pori membran, maka pemampatan akan didominasi model *cake filtration* (Corbatón-Báguena *et al.*, 2018). Profil fluks aktual dan model pemampatan dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai SSE model pemampatan *cake filtration* juga terlihat meningkat seiring dengan ukuran pori membran dan tingkat pengenceran. Hal ini merupakan indikasi menurunnya kesesuaian model pemampatan *cake filtration* dengan fluks aktual akibat adanya perubahan mekanisme pemampatan dari *pore clogging* menjadi *cake filtration*. Ketika ukuran pori membran diperbesar, maka kemungkinan terjadinya *pore clogging* meningkat. Tanudjaja *et al.* (2022) dalam studinya menemukan bahwa rasio ukuran protein dan pori membran menentukan mekanisme pemampatan baik secara *pore clogging* maupun *cake filtration*. Ketika pengenceran ditingkatkan, maka partikel protein berukuran kecil yang terlarut lebih mudah bergerak dan mengendap dibandingkan partikel protein besar (Wen-qiong *et al.*, 2019).

Hasil perbandingan profil fluks setiap perlakuan menunjukkan profil fluks perlakuan ukuran pori 10 kDa terlihat lebih rendah daripada perlakuan ukuran pori 5 kDa (Gambar 3). Hal ini kemungkinan disebabkan terjadinya pemampatan *pore clogging* senyawa berukuran 5-10 kDa pada awal penyaringan di membran 10 kDa. Pada membran 20 kDa juga terjadi pemampatan *pore clogging* namun penyempitan luas pori tidak terlalu signifikan sehingga tidak terlalu berpengaruh pada fluks. Field (2010) dalam studinya menemukan bahwa membran dengan ukuran pori yang lebih besar sering mengalami *pore clogging* dibanding membran dengan ukuran pori yang lebih kecil. Pemampatan *pore clogging* ini kemungkinan dikarenakan membran ultrafiltrasi yang terbuat dari *polyethersulfone* bersifat polar (Sitanggang *et al.*, 2021). Interaksi elektrostatis antara molekul protein dan mineral dengan permukaan membran PES bersifat adesif, sehingga terjadi adsorpsi molekul tersebut pada permukaan membran (Sitanggang *et al.*, 2016). Kadar mineral putih telur berkisar 0,7% (Thammase na *et al.*, 2020) dan 42% protein putih telur bebek belum diketahui ukuran dan karakteristiknya (Woodward, 1990; Huang dan Lin, 2011) sehingga memungkinkan terjadi *pore blocking* pada membran.

Dalam proses penyaringan protein, memungkinkan terjadinya perubahan mekanisme pemampatan dari model *pore clogging* menjadi *cake filtration* (Palacio *et al.*, 2002). Penyebab model pemampatan yang didapat dari simulasi berupa *cake filtration* (Tabel 3) adalah dominasi dari mekanisme pemampatan.

**Reologi**

Analisis sifat reologi pada bahan pangan dilakukan untuk melihat perubahan fisik yang terjadi akibat adanya suatu perlakuan. Jenis fluida putih telur untuk semua perlakuan yang dikaji adalah *shear thinning* (Tabel 4) sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Atilgan dan Unluturk (2008) dan Xu *et al.* (2017). Sifat *shear thinning* ini adalah sifat cairan non-Newtonian yang viskositasnya menurun ketika diberi *shear rate* (Xu *et al.*, 2017). Gambar 4 menunjukkan bahwa terdapat perubahan karakteristik fluida pada sampel retentat putih telur pada semua perlakuan setelah dilakukan filtrasi dibandingkan sebelum dilakukan filtrasi. Sampel retentat setelah filtrasi memiliki nilai viskositas yang rendah pada *shear rate* rendah. Sampel retentat sebelum filtrasi memiliki nilai viskositas yang tinggi pada *shear rate* rendah. Kemungkinan perbedaan viskositas pada *shear rate* rendah ini disebabkan oleh proses filtrasi yang berdampak pada menurunnya jumlah protein terlarut akibat denaturasi-agregasi-persipitasi dan degradasi molekul ovomucin yang memiliki berat molekul besar

(Xu *et al.*, 2017) dan berpengaruh pada viskositas putih telur asin (Woodward, 1990; Xu *et al.*, 2017).

Gambar 4 juga menunjukkan pengaruh kadar protein terhadap viskositas. Hal ini terlihat pada perbandingan kurva viskositas sampel putih telur dengan pengenceran dan kurva putih telur tanpa pengenceran. Larutan putih telur yang tidak diencerkan memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengenceran 5 kali karena larutan putih telur yang tidak diencerkan memiliki jumlah ikatan antar polimer yang relatif banyak dibandingkan larutan putih telur yang diencerkan (Nabilah *et al.*, 2022).

**Profil asam amino hasil penyaringan dengan perlakuan terbaik**

Pemilihan ukuran pori membran dan tingkat pengenceran terbaik dipilih berdasarkan data kadar protein yang didapat sebanyak 100%, analisis desalinasi yang tidak berbeda nyata, jumlah permeat dan faktor kemudahan filtrasi. Ukuran pori membran terbaik yang terpilih dan dianalisis lebih lanjut adalah 20 kDa, tanpa pengenceran sampel. Pemilihan membran dengan ukuran pori yang terbesar, yaitu 20 kDa, agar mendapat jumlah permeat yang banyak. Penyebab dipilihnya perlakuan sampel tanpa pengenceran karena menghindari terbentuknya busa saat pengenceran dan waktu yang lebih singkat untuk mendapatkan jumlah protein yang sama.

Tabel 2. Jumlah protein yang didapatkan pada retentat, permeat, dan perubahan kadar protein  
 Table 2. Amount of protein obtained in retentate, permeate, and changes in protein content

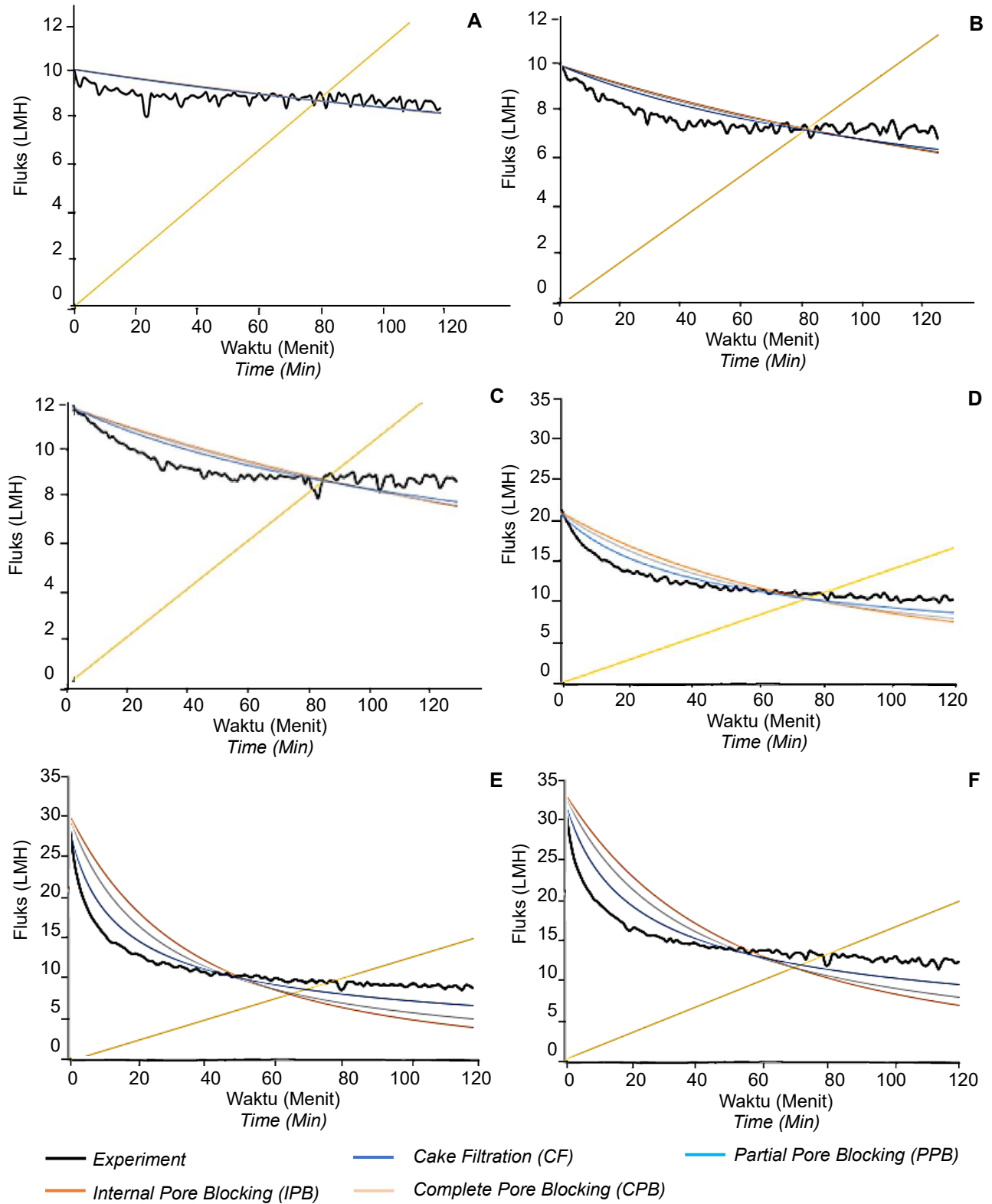
Perlakuan (Treatment)		Berat Protein (g) (Weight of Protein (g))			Protein yang Didapat % (Protein obtained (%))
Ukuran Pori Membran (kDa) (Membrane Pore Size (kDa))	Tingkat Pengenceran (kali) (Dilution Rate (Times))	Protein yang Didapat % (Protein Obtained (%))	Retentat (Retentate)	Total (Overall)	
5	0	tt nd	2.90±0.5	2.90±0.5	100
10	0	tt nd	2.80±0.4	2.80±0.4	100
20	0	tt nd	3.18±0.6	3.18±0.6	100
5	5	tt nd	1.60±0.0	1.60±0.0	100
10	5	tt nd	1.73±0.1	1.73±0.1	100
20	5	tt nd	1.78±0.2	1.78±0.2	100

Keterangan: \*tt= tidak terdeteksi  
 Note: \*nd= not detected

Tabel 3. Nilai sum square error model pemampatan pada enam perlakuan.  
 Table 3. Sum square error value of fouling model in six treatments.

Ukuran Pori Membran (kDa) (Membrane Pore Size (kDa))	Tingkat Pengenceran (kali) (Dilution (Times))	CPB SSE	IPB SSE	PPB SSE	CF SSE
5	0	2518.26	26.18	25.30	23.61
10	0	2265.23	50.82	44.64	34.09
20	0	3181.13	66.53	58.30	44.33
5	5	7401.23	456.53	322.60	146.52
10	5	8341.81	1816.73	1059.29	301.26
20	5	12143.86	2208.70	1439.44	547.68

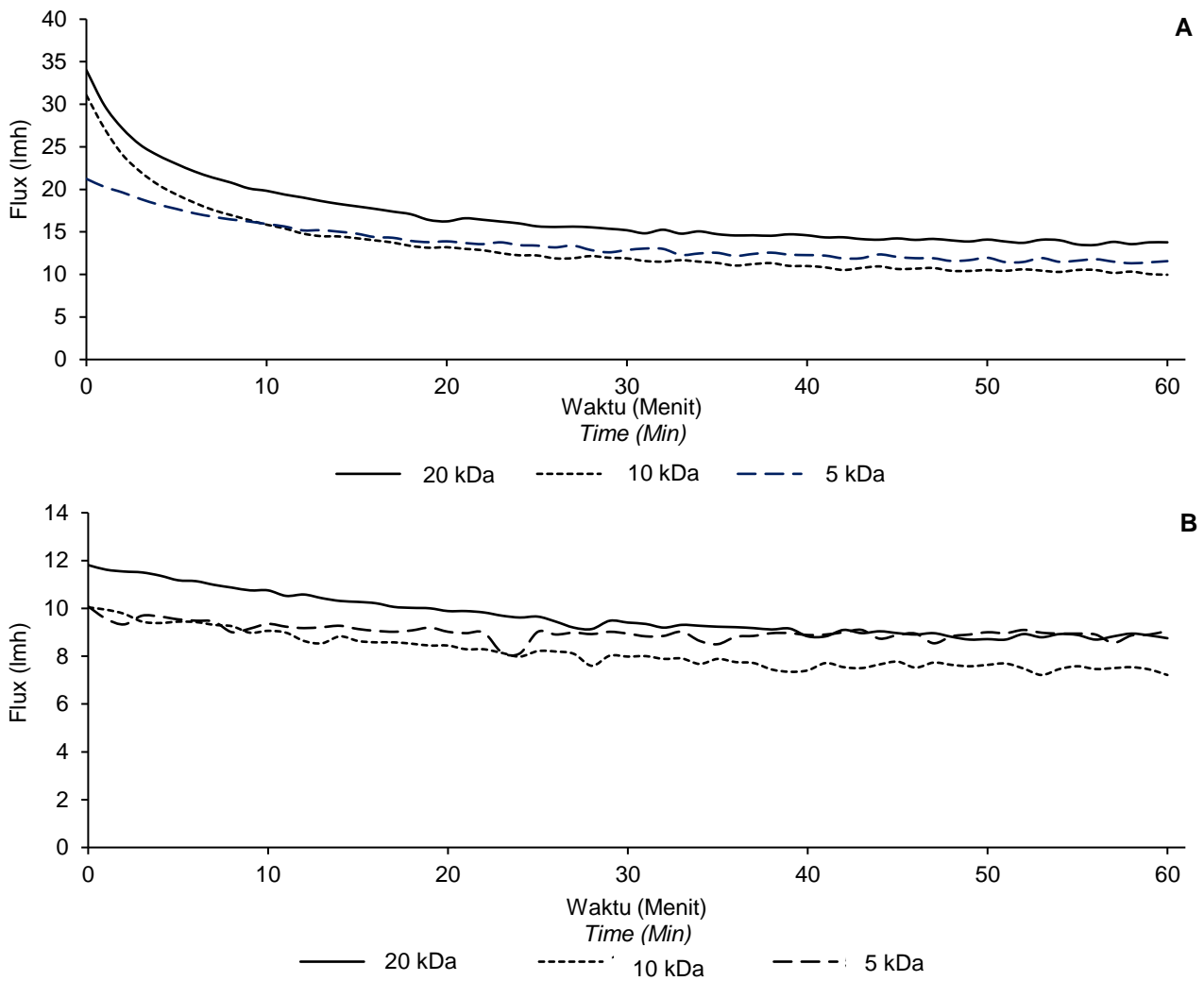
Keterangan: \*MWCO= molecular weight cut off, \*SSE= sum square error, CPB= complete pore blocking, IPB= internal pore blocking, PPB= particle pore blocking, CF= cake filtration  
 Note: \*MWCO= molecular weight cut off, \*SSE= sum square error, complete pore blocking, IPB= internal pore blocking; PPB= particle pore blocking, CF= cake filtration



Gambar 2. Perbandingan profil fluks aktual dengan model pemampatan pada membran berukuran (A) 5 kDa tanpa pengenceran, (B) 10 kDa tanpa pengenceran, (C) 20 kDa tanpa pengenceran, (D) 5 kDa pengenceran 5 kali, (E) 10 kDa pengenceran 5 kali, dan (F) 20 kDa pengenceran 5 kali

Figure 2. Comparison of the actual flux profile with the fouling model on membranes size (A) 5 kDa without dilution, (B) 10 kDa without dilution, (C) 20 kDa without dilution, (D) 5 kDa 5-time dilution, (E) 10 kDa 5-time dilution, and (F) 20 kDa 5-time dilution





Gambar 3. Profil fluks setiap perlakuan. (A) 5 kali pengenceran, (B) 0 kali pengenceran  
 Figure 3. Flux profile for each treatment. (A) 5 times dilution, (B) 0 times dilution

Tabel 4. Persamaan kekentalan model Power Law  
 Table 4. Power Law Model viscosity equation

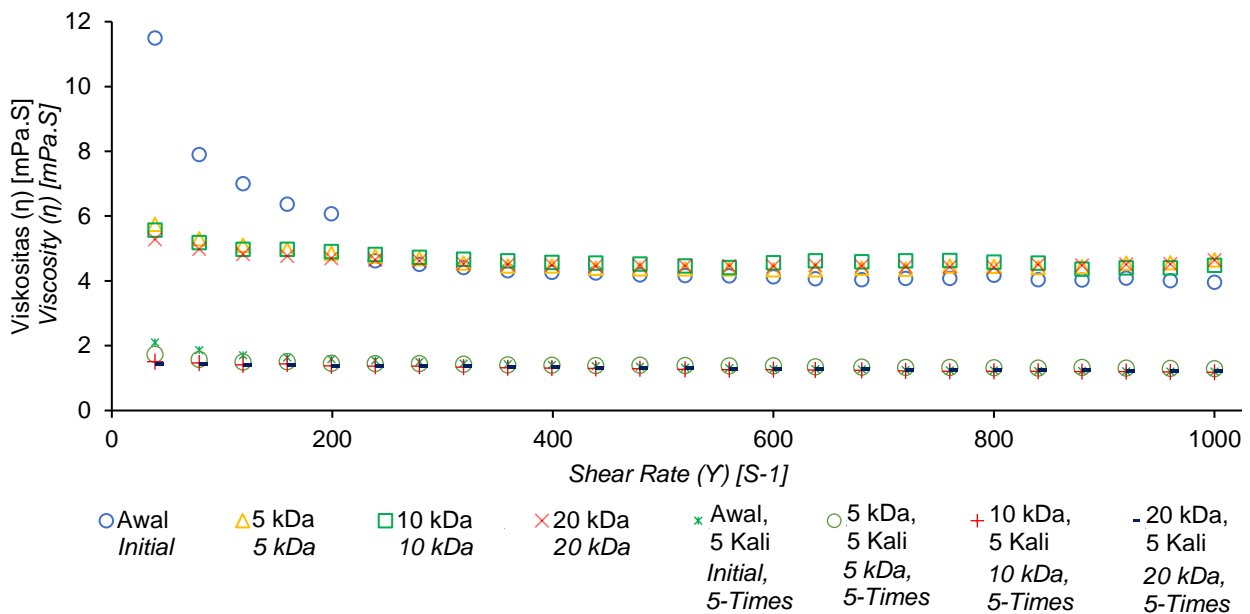
Perlakuan (MWCO, Pengenceran) (Treatment (MWCO, Dilution))	Persamaan (Equation)	R <sup>2</sup> (R <sup>2</sup> )	Nilai n (n value)	Nilai k (Pa.S <sup>n</sup> ) (k value) (Pa.S <sup>n</sup> )	Jenis Fluida (Fluid Type)
Awal, tanpa pengenceran (Initial, without dilution)	y = 0.0303x <sup>0.6906</sup>	0.9780	0.6906	0.0303	Shear thinning
5 kDa, tanpa pengenceran (5 kDa, without dilution)	y = 0.0074x <sup>0.9208</sup>	0.9952	0.9208	0.0074	Shear thinning
10 kDa, tanpa pengenceran (10 kDa, without dilution)	y = 0.007x <sup>0.9337</sup>	0.9984	0.9337	0.0070	Shear thinning
20 kDa, tanpa pengenceran (20 kDa, without dilution)	y = 0.006x <sup>0.9544</sup>	0.9987	0.9544	0.0060	Shear thinning
Awal, pengenceran 5 kali (Initial, 5-time dilution)	y = 0.0041x <sup>0.8215</sup>	0.9997	0.8215	0.0041	Shear thinning
5 kDa, pengenceran 5 kali (5 kDa, 5-time dilution)	y = 0.0023x <sup>0.9186</sup>	0.9998	0.9186	0.0023	Shear thinning
10 kDa, pengenceran 5 kali (10 kDa, 5-time dilution)	y = 0.0021x <sup>0.921</sup>	0.9997	0.9210	0.0021	Shear thinning
20 kDa, pengenceran 5 kali (20 kDa, 5-time dilution)	y = 0.0019x <sup>0.9415</sup>	0.9995	0.9415	0.0019	Shear thinning

Keterangan: R<sup>2</sup>= R kuadrat; n= sifat aliran; k= indeks konsistensi  
 Note: R<sup>2</sup>= R squared; n= flow properties; k= consistency index

Analisis dilakukan pada delapan belas asam amino yaitu fenilalanin, triptofan, metionin, lisin, leusin, valin, isoleusin, treonin, histidin, alanin, glisin, prolin, tirosin, asam aspartat, asam glutamat, arginin, serin, sistin untuk sampel awal, sampel retentat dan sampel permeat (Tabel 5). Semua asam amino esensial (fenilalanin, triptofan, methionin, lisin, leusin, valin, isoleusin, threonin, histidin) terkandung dalam sampel awal dan retentat. Tidak ada perbedaan signifikan antara komposisi asam amino dalam sampel sebelum (awal) dan sesudah (retentat) penyaringan 20 kDa tanpa pengenceran ( $p>0,05$ ). Hal ini

mengindikasikan kadar asam amino dapat dipertahankan saat filtrasi dengan perlakuan ukuran pori membran 20 kDa dan tanpa pengenceran sampel.

Pada permeat terdapat asam amino yang berhasil melewati membran dengan kadar yang sangat rendah (dibawah 0,05%). Asam amino tersebut adalah asam glutamat, glisin, histidin, metionin. Jumlah asam amino asam glutamat, histidin terdeteksi namun dibawah *Limit of Quantitation*. Hal ini berarti meskipun asam amino tersebut berhasil dideteksi, namun tingkat presisinya rendah (Sumarno dan Kusumaningtyas, 2018).



Gambar 4. Grafik viskositas-shear rate retentat semua perlakuan  
 Figure 4. Retentate viscosity-shear rate graph for all treatments

Tabel 5. Berat asam amino total pada sampel putih telur asin hasil penyaringan dengan perlakuan optimal  
 Table 5. Overall amino acid weight in optimally filtered salted egg white samples

Parameter (Parameter)	Berat di Sampel (mg) (Weight in Sample (mg))		
	Awal (Initial)	Retentat (Retentate)	Permeat (Permeate)
Asam glutamat (Glutamic acid)	1193	1.138	1.29*
Serin (Serine)	824	870	
Fenilalanin** (Phenylalanine)	776	852	
Leusin** (Leucine)	811	806	
Asam aspartat (Aspartate acid)	721	685	
Treonin** (Threonine)	638	672	
Valin** (Valine)	651	640	
Lisin** (Lysine)	617	570	
Tirosin (Tyrosine)	450	496	
Arginin (Arginine)	450	483	
Isoleusin** (Isoleucine)	420	413	
Prolin (Proline)	354	346	
Glisin (Glycine)	270	275	4.93
Metionin** (Methionine)	252	253	0.02
Histidin** (Histidine)	217	236	1.59*
Alanin (Alanine)	225	216	
Triptofan** (Tryptophan)	120	113	
Sistin (Cystine)	39	76	

Keterangan: \*= di bawah LOQ (Limit of Quantitation), \*\*= asam amino esensial  
 Note: \*= under LOQ (Limit of Quantitation), \*\*= essential amino acids

Kemungkinan penyebab empat jenis asam amino ini bisa menembus membran adalah ukuran molekulnya yang rendah dan jumlahnya yang banyak dalam larutan putih telur asin ini. Glisin memiliki berat molekul paling rendah dalam 18 asam amino ini (Tillman, 2019). Asam amino asam glutamat, metionin memiliki jumlah yang tinggi dalam kandungan protein pada putih telur bebek (Zhao *et al.*, 2014).

Perhitungan protein total menggunakan metode *bradford* tidak dapat melihat adanya protein dalam permeat. Hal ini dikarenakan metode *bradford* menggunakan ikatan antara grup tak terkonjugasi dari pewarna *coomassie brilliant blue G-250* dengan residu asam amino arginin, lisin, dan histidin (Lu *et al.*, 2010). Histidin dalam permeat tidak dapat terbaca oleh metode Bradford karena jumlahnya di bawah 100 µg/mL (Lu *et al.*, 2010).

## KESIMPULAN

Penyaringan putih telur asin menggunakan membran ultrafiltrasi dengan ukuran 5, 10, dan 20 kDa mampu menahan seluruh protein yang ada pada putih telur asin. Tingkat desalinasi memiliki korelasi positif dengan berat permeat. Model pemampatan yang berhasil diidentifikasi dengan simulasi adalah model *cake filtration*. Ukuran pori membran dan tingkat pengenceran terbaik yang terpilih pada penelitian ini adalah 20 kDa dan tanpa pengenceran sampel. Analisis profil asam amino pada ukuran pori membran terbaik menunjukkan tidak ada perubahan yang signifikan pada profil asam amino sebelum dan setelah filtrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aider, M., Brunet, S., & Bazinet, L. (2008). Electroreparation of chitosan oligomers by electro dialysis with ultrafiltration membrane (EDUF) and impact on electro dialytic parameters. *Journal of Membrane Science*, 309(1–2), 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.10.029>
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. (2012). AOAC: Official Methods of Analysis (Volume I). Volume ke-1. Arlington, Virginia: Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- Ashfaq, M. Y., Al-Ghouti, M. A., Qiblawey, H., Rodrigues, D. F., Hu, Y., & Zouari, N. (2019). Isolation, identification and biodiversity of antiscalant degrading seawater bacteria using MALDI-TOF-MS and multivariate analysis. *Science of The Total Environment*, 656, 910–920. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.477>
- Atilgan, M. R., & Unluturk, S. (2008). Rheological properties of Liquid Egg Products (LEPS). *International Journal of Food Properties*, 11(2), 296–309. <https://doi.org/10.1080/10942910701329658>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248–254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Campbell, L., Raikos, V., & Euston, S. R. (2003). Modification of functional properties of egg-white proteins. *Nahrung-Food*, 47(6), 369–376. <https://doi.org/10.1002/food.200390084>
- Chaijan, M., & Panpipat, W. (2018). Feasibility of a pH driven method for maximizing protein recovery of over-salted albumen. *Food Bioscience*, 24, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.005>
- [EC] Commission Regulation. (2009). Commission regulation (EC) No 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed (pp. 1–130).
- Corbatón-Báguena, M. J., Álvarez-Blanco, S., & Vincent-Vela, M. C. (2018). Evaluation of fouling resistances during the ultrafiltration of whey model solutions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.149>
- Dahl-Lassen, R., van Hecke, J., Jørgensen, H., Bukh, C., Andersen, B., & Schjoerring, J. K. (2018). High-throughput analysis of amino acids in plant materials by single quadrupole mass spectrometry. *Plant Methods*, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0277-8>
- Dai, Y., Zhao, J., Gao, J., Deng, Q., Wan, C, Li, B., & Zhou, B. (2021). Heat- and cold-induced gels of desalted duck egg white/gelatin mixed system: Study on rheological and gel properties. *Food Hydrocolloids*, 121, 107003. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107003>
- Fellows, P. J. (2000). Food Processing Technology. Second. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Ferreira Machado, F., Coimbra, J. S. R., Garcia Rojas, E. E., Minim, L. A., Oliveira, F. C., & de Cássia S. (2007). Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration. *LWT-Food Science and Technology*, 40(7), 1304–1307. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.08.020>
- Field, R. (2010). Fundamentals of Fouling. Di dalam: Peinemann K-V, Nunes SP, editor. *Membranes for Water Treatment*. Vol. 4. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. hlm. 1.

- Huang, J. F., & Lin, C. C. (2011). Production, Composition, and Quality of Duck Eggs. Woodhead Publishing Limited (hlm. 487-508). <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.487>
- Klimeš, J., Bowler, D. R., & Michaelides, A. (2013). Understanding the role of ions and water molecules in the NaCl dissolution process. *The Journal of Chemical Physics*, 139(23), 234702. <https://doi.org/10.1063/1.4840675>
- Lechevalier, V., Arhaliass, A., Legrand, J., & Nau, F. (2005). Effects of shear rates on rheology, foaming properties and protein structure of egg white: structure-function relationships. XI th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. Doorwerth, The Netherlands, 23-26 May 2005 (hlm. 23–26).
- Ma, S., Neilson, A. P., Lahne, J., Peck, G. M., O’Keefe, S. F., & Stewart, A. C. (2018). Free amino acid composition of apple juices with potential for cider making as determined by UPLC-PDA. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(4), 467–476. <https://doi.org/10.1002/jib.519>
- Mmadi, M., Amza, T., Wang, Y. C., & Zhang, M. (2014). Effect of desalination on physicochemical and functional properties of duck (*Anas platyrhynchos*) egg whites. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6, 784–791. <https://doi.org/10.19026/ajfst.6.111>
- Nabilah, U., Sitanggang, A., & Purnomo, E. (2022). Rheology of sunflower, citrus and apple low methoxyl pectin. Proceedings of the 6th Food Ingredient Asia Conference 6th FiAC - Volume 1 (hlm. 178–184). <https://doi.org/10.5220/0010568600003108>
- Pabby, A. K., Rizvi, S. S. H., & Sastre, A. M., editor. (2009). Handbook of Membrane Separations Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications. Florida: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009484>
- Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Duck egg albumen: physicochemical and functional properties as affected by storage and processing. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1104–1115. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03669-x>
- Rohman, A. (2022). Metode kromatografi untuk analisis makanan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sitanggang, A. B., Drews, A., & Kraume, M. (2016). Development of a continuous membrane reactor process for enzyme-catalyzed lactulose synthesis. *Biochemical Engineering Journal*, 109, 65–80. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2016.01.006>
- Sitanggang, A. B., Sumitra, J., & Budijanto, S. (2021). Continuous production of tempe-based bioactive peptides using an automated enzymatic membrane reactor. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 68, 102639. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102639>
- Stevens, L. (1991). Egg white proteins. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 100(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(91\)90076-P](https://doi.org/10.1016/0305-0491(91)90076-P)
- Sumarno, D., & Kusumaningtyas D. I. (2018). Penentuan Limit deteksi dan limit kuantitasi untuk analisis logam timbal (Pb) dalam air tawar menggunakan alat spektrofotometer serapan atom. *Buletin Teknik Litkayasa Sumber Daya dan Penangkapan*, 16(1), 7–11.
- Tanudjaja, H. J., Anantharaman, A., Ng, A. Q. Q., Ma, Y., Tanis-Kanbur, M. B., Zydney, A. L., & Chew, J. W. (2022). A review of membrane fouling by proteins in ultrafiltration and microfiltration. *Journal of Water Process Engineering*, 50, 103294. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103294>
- Thammasena, R., Fu, C. W., Liu, J. H., Liu, D. C. (2020). Evaluation of nutrient content, physicochemical and functional properties of desalted duck egg white by ultrafiltration as desalination. *Animal Science Journal*, 91(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/asj.13339>
- Tillman, P. B. (2019). Determination of nutrient values for commercial amino acids. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(3), 526–530. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz010>
- Wang, Y., Zhang, M., Adhikarim B., Mujumdar, A. S., & Zhou, B. (2013). The Application of ultrasound pretreatment and pulse-spouted bed microwave freeze drying to produce desalted duck egg white powders. *Dry Technology*, 31(15), 1826–1836. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.829851>
- Wang, Y., Zheng, H., Li, Y., Li, B., & Chen, Y. (2015). One step procedure for desalting salty egg white and preparing fat analogue and its application in mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 45, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.007>
- Waters Corporation. (2012). Acquity UPLC H-class and H-class bio amino acid analysis. Acquity UPLC H-class H-class bio Amino acid Analysis (hlm. 4–9). Waters, The Science of What's Possible.
- Wen-qiong, W., Yun-chao, W., Xiao-feng, Z., Rui-xia, G., & Mao-lin, L. (2019). Whey protein membrane processing methods and membrane fouling mechanism analysis. *Food Chemistry*, 289, 468–481. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.086>

- Winarno, F. G. (1997). *Kimia pangan dan gizi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Woodward, S. A. (1990). Egg Protein Gels. In: Harris, P. (eds) *Food Gels*. 175–199. Elsevier Applied Food Science Series. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3_5)
- Xu, L., Zhao, Y., Xu, M., Yao, Y., Nie, X., Du, H., & Tu, Y. G. (2017). Effects of salting treatment on the physicochemical properties, textural properties, and microstructures of duck eggs. *PLoS One*, 12(8), 0182912. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182912>
- Zhao, Y., Tu, Y., Xu, M., Li, J., & Du, H. (2014). Physicochemical and nutritional characteristics of preserved duck egg white. *Poultry Science*, 93(12), 3130–3137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03823>
- Zhou, B., Zhang, M., Fang, Z. X., & Liu, Y. (2015). Effects of ultrasound and microwave pretreatments on the ultrafiltration desalination of salted duck egg white protein. *Food and Bioprocess Processing*, 96, 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.09.004>