

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Preparasi Larutan *Dope* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat

Pada awal pelarutan selulosa asetat ke dalam asam format, terbentuk larutan berwarna putih yang kental. Setelah ditambahkan *D*-glukosa monohidrat, larutan masih tetap berwarna putih dan sedikit lebih kental dari sebelumnya. Semakin lama proses pengadukan atau kurang lebih telah memasuki waktu 30 menit, terlihat semua serbuk baik selulosa asetat maupun *D*-glukosa monohidrat sudah terlarut dalam asam format. Larutan menjadi semakin tidak berwarna (bening) dan terdapat gelembung-gelembung udara kecil yang cukup banyak merata di dalam larutan seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Larutan *Dope* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat

Larutan *dope* yang telah didiamkan selama kurang lebih 24 jam menunjukkan adanya perubahan dari sebelum larutan tersebut didiamkan. Gelembung-gelembung udara kecil yang awalnya tampak tersebar di dalam

larutan telah hilang. Wujud larutan menjadi serupa lendir kental berwarna bening tanpa gelembung udara sedikitpun di dalamnya. Hal ini terjadi karena saat larutan tersebut didiamkan, gelembung-gelembung udara naik ke permukaan dan menguap. Gelembung udara tersebut harus dihilangkan agar tidak terbentuk lubang atau *pinhole* saat dilakukan proses pencetakan *hollow fiber* (Khayet, 2003).

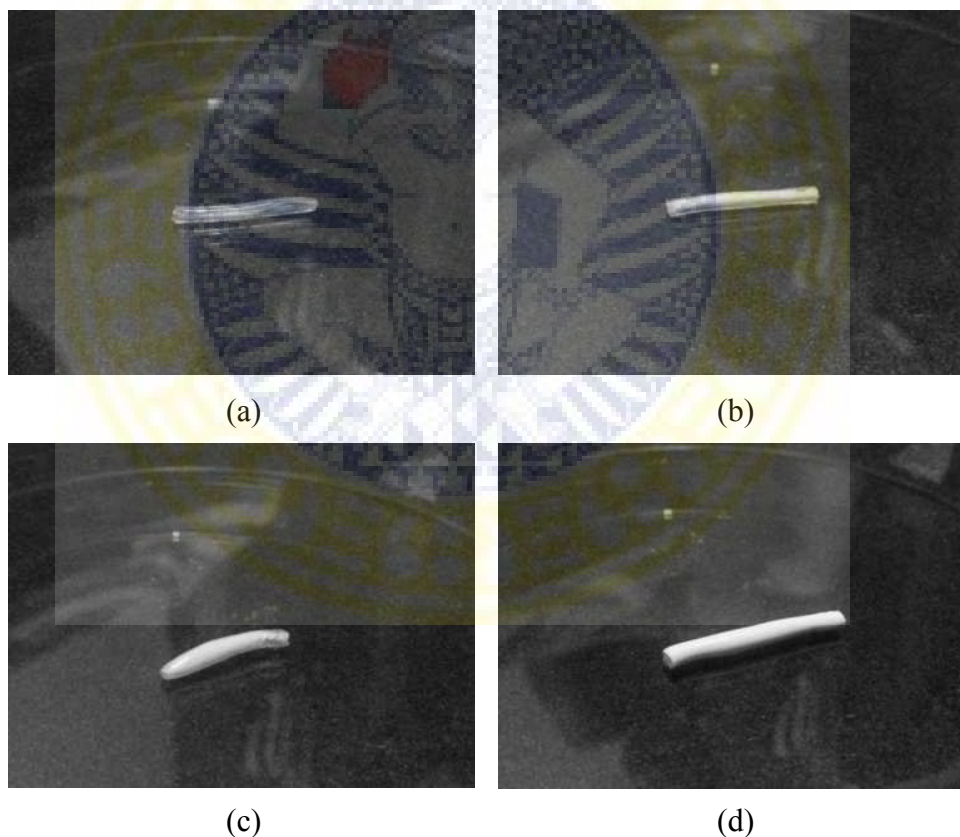
Penambahan D-glukosa monohidrat dalam pembuatan larutan *dope* ini ialah sebagai zat aditif non pelarut. Syarat suatu bahan aditif selain larut dalam pelarut polimer, juga harus larut dalam non pelarut (koagulan). Selama proses koagulasi, D-glukosa monohidrat berperan sebagai pengatur viskositas polimer karena jenisnya yang termasuk zat gula dan bersifat mengental ketika dilarutkan. D-glukosa juga memberi peran terhadap pembentukan pori membran yaitu dengan cara berdifusi ke dalam air ketika cetakan larutan *dope* masuk ke dalam bak koagulan pada rangkaian alat *spinning* (Idris et al., 2009).

#### **4.2 Hasil Pembuatan *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – D-Glukosa Monohidrat**

Metode inversi fasa yang digunakan dalam proses pencetakan larutan *dope* menjadi bentuk *hollow fiber* adalah proses mengubah polimer dari bentuk larutan menjadi bentuk padatan terkontrol. Metode ini menggunakan prinsip termodinamika berupa terjadinya perubahan fasa (*demixing*) pada larutan yang stabil (Nayla, 2013).

Hasil cetakan larutan pada keempat variasi suhu (5°C, 10°C, 15°C dan 20°C) berhasil terbentuk menjadi *hollow fiber* dengan warna putih. Terlihat adanya sedikit perbedaan konsentrasi warna pada masing-masing suhu. *Hollow*

*fiber* yang dicetak pada suhu bak koagulan 5°C memiliki warna putih yang tidak terlalu pekat dan terlihat sedikit transparan dibanding ketiga variasi suhu lainnya. Peningkatan kepekatan warna berbanding lurus dengan semakin tingginya suhu bak koagulan. Hal ini terjadi karena pada suhu yang semakin rendah, mekanisme perubahan fasa terjadi lebih spontan sehingga proses koagulasi semakin cepat. Pori-pori yang terbentuk akan lebih kecil dan rapat sehingga membran menjadi lebih berpori dan terlihat lebih transparan dibanding dengan variasi suhu yang lebih tinggi (Idris et al., 2009).



Gambar 4.2 Hasil Pembuatan *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat 5°C (a), 10°C (b), 15°C (c) dan 20°C (d)

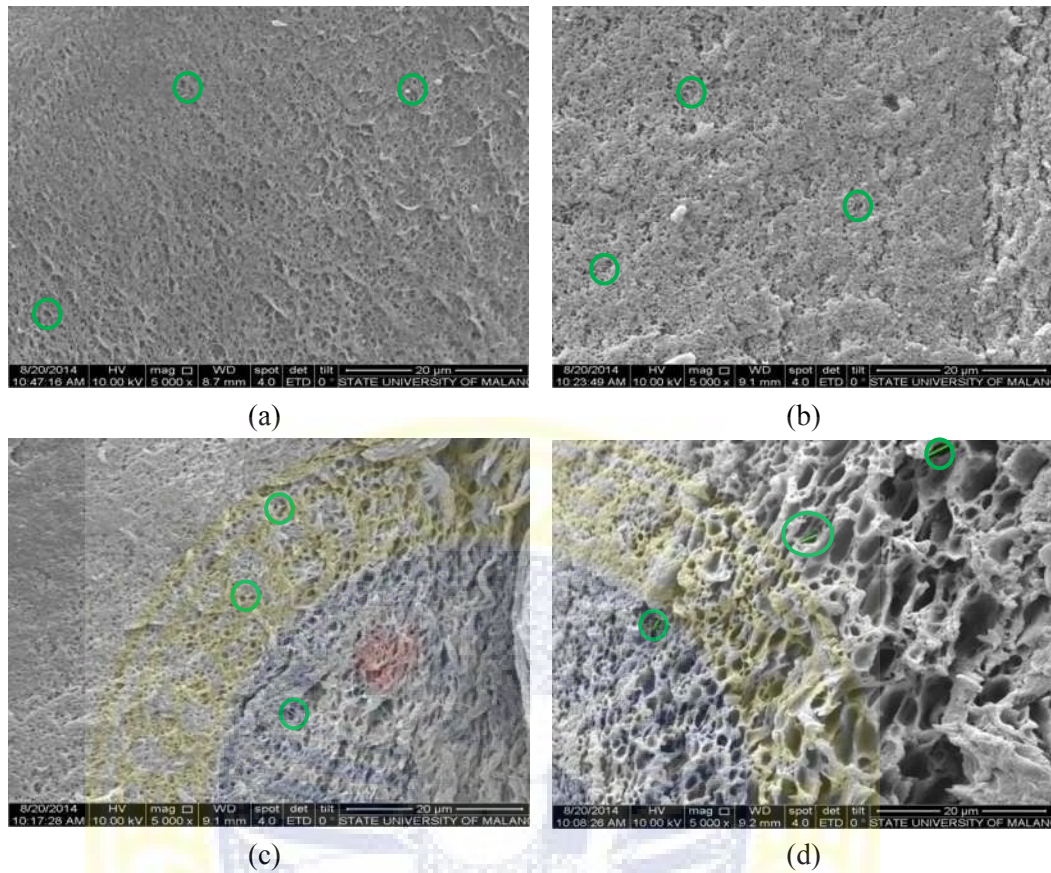
### 4.3 Hasil Karakterisasi *Hollow Fiber*

Pengujian dan karakterisasi yang dilakukan terhadap *hollow fiber* terdiri dari uji topografi dan morfologi, uji tarik dan uji swelling. Setelah mendapatkan data hasil uji dari ketiganya, analisa data hasil uji tersebut digunakan untuk menentukan variasi suhu *hollow fiber* yang memberikan karakteristik terbaik. Pengujian kemampuan daya filtrasi melalui uji filtrasi dan turbidimetri hanya dilakukan pada *hollow fiber* dengan karakteristik terbaik.

#### 4.3.1 Hasil Karakterisasi Morfologi *Hollow Fiber*

Uji morfologi menghasilkan data mengenai ukuran pori permukaan dinding bagian dalam dan diameter dalam maupun diameter luar *hollow fiber*. Hasil citra permukaan dinding bagian dalam *hollow fiber* ditunjukkan pada Gambar 4.3. Terdapat dua degradasi warna yaitu gelap dan terang yang merupakan indikasi struktur dinding *hollow fiber*. Warna terang pada gambar hasil SEM tersebut merupakan permukaan yang lebih tinggi dibandingkan yang berwarna gelap (Ichsan, 2012) sehingga dapat dianalisis bahwa permukaan berwarna gelap merupakan pori dinding dalam *hollow fiber*.

Hasil analisis dari ukuran pori yang terbentuk pada *hollow fiber* berbeda di setiap masing-masing variasi suhu. Pada variasi suhu 5°C, pori yang terbentuk berada pada kisaran 0,0295 – 0,0858 µm, sedangkan ukuran pori yang terbentuk suhu 10°C adalah 0,0952 – 0,17 µm. Suhu 15°C menghasilkan pori pada kisaran 0,17 – 0,229 µm dan 20°C pada 0,1659 – 0,2972 µm. Data hasil uji ukuran pori *hollow fiber* dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4.3 Hasil Citra SEM Permukaan Dinding Dalam *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat dengan Variasi Suhu 5°C (a), 10°C (b), 15°C (c) dan 20°C (d)

Tabel 4.1 Data Ukuran Pori *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-glukosa Monohidrat

Suhu (oC)	Ukuran Pori ( $\mu\text{m}$ )
5	0,029 – 0,086
10	0,095 – 0,170
15	0,170 – 0,229
20	0,166 – 0,297
<b>Membran ultrafiltrasi (Qin, 2003)</b>	<b>0,001 – 0,1 <math>\mu\text{m}</math></b>

Ukuran pori yang dapat digunakan pada aplikasi hemodialisis ialah ukuran pori ultrafiltrasi yaitu 0,001 – 0,1  $\mu\text{m}$  (Qin, 2003). Hasil uji morfologi *hollow fiber* menunjukkan bahwa ukuran pori *hollow fiber* yang sesuai dan masuk sebagai kategori membran ultrafiltrasi terdapat pada variasi suhu 5°C karena memiliki ukuran pori yang sesuai sebagai membran ultrafiltrasi. Ukuran pori ultrafiltrasi akan membuat membran *hollow fiber* mampu meloloskan zat sisa metabolisme kreatinin yang berdiameter  $\pm 0,06 \mu\text{m}$  (Hedayat et al., 2013) . Pada ketiga variasi suhu lain, ukuran pori *hollow fiber* dapat dikategorikan sebagai membran mikrofiltrasi namun tidak sesuai untuk diaplikasikan dalam terapi hemodialisis karena akan meloloskan molekul besar pada darah yang masih diperlukan tubuh seperti glukosa, asam amino dan sebagian natrium klorida (Sloane, 2003).

Ukuran pori *hollow fiber* terlihat semakin kecil pada variasi suhu bak koagulan yang semakin rendah. Perbedaan suhu bak koagulan dapat mempengaruhi pembentukan pori karena pada saat hasil cetakan larutan *dope* masuk ke dalam bak koagulan, maka terjadi proses difusi secara perlahan dan terbentuklah pori-pori membran (Khayet, 2003). Semakin rendahnya suhu bak koagulan akan memperlambat waktu terjadinya difusi sehingga molekul dari biopolimer penyusun *hollow fiber* ini menjadi semakin rapat dan menghasilkan bentuk pori yang semakin rapat pula (Callister, 2010).

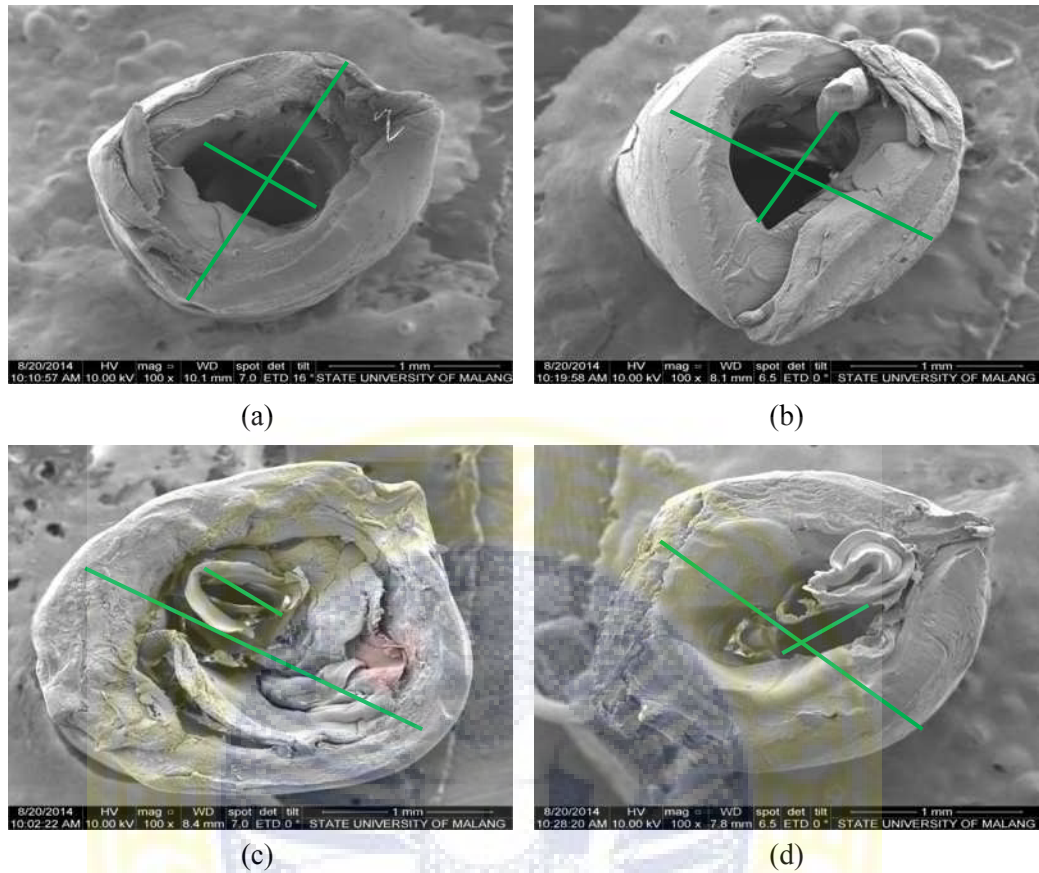
Bila dianalisis dari semua ukuran pori *hollow fiber* yang terbentuk, kondisi optimum diperoleh pada *hollow fiber* dengan variasi suhu bak koagulan 5°C yang memiliki kisaran ukuran pori 0,0295 – 0,0858  $\mu\text{m}$ . Kondisi optimum ini sesuai

dengan nilai ukuran pori pada membran ultrafiltrasi yaitu pada *range* 0,001 – 0,1  $\mu\text{m}$ . Dengan memiliki ukuran pori pada kisaran tersebut, sisa metabolisme dalam darah yang akan dibuang dapat lolos menembus dinding membran dan darah akan ditahan untuk dialirkan kembali ke arah pembuluh darah pasien (Sukandar, 2006). Pada suhu 5°C merupakan suhu yang menghasilkan ukuran pori *hollow fiber* yang sesuai dan dapat mendukung karakteristik membran untuk diaplikasikan sebagai dialiser.

Hasil analisa uji morfologi juga menyajikan data gambar bentuk serta ukuran diameter luar dan dalam *hollow fiber*. Diameter luar dan dalam *hollow fiber* suhu 5°C masing-masing sebesar 1,513 mm dan 0,8772 mm. Variasi suhu 10°C memiliki diameter luar 1,788 mm dan diameter dalam 0,782 mm. Sedangkan untuk kedua variasi suhu lain diketahui memiliki ukuran diameter luar banding diameter dalam masing-masing 2,344 mm : 0,4626 mm untuk suhu 15°C dan 2,027 mm : 0,7052 mm untuk *hollow fiber* variasi suhu 20°C. Data hasil uji morfologi *hollow fiber* menggunakan SEM dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Ukuran Diameter Luar (D) dan Diameter Dalam (d) *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – D-Glukosa Monohidrat

Suhu (oC)	D (mm)	d (mm)
5	1,513	0,8772
10	1,788	0,782
15	2,027	0,7052
20	2,344	0,4626
<b>Dialyzer PS-2100L Kawai Sumi Laboratories Inc.</b>	<b>0,24 – 0,245</b>	<b>0,2</b>



Gambar 4.4 Hasil Citra SEM Bentuk dan Ukuran Diameter *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat dengan Variasi Suhu 5°C (a), 10°C (b), 15°C (c) dan 20°C (d)

Penelitian kali ini menggunakan alat spinneret yang sama untuk mencetak semua *hollow fiber* namun terlihat adanya perbedaan di setiap hasil pencetakannya seperti terlihat pada Gambar 4.4. Hal ini dipengaruhi pula oleh suhu bak koagulan yang menyebabkan perbedaan lama waktu larutan *dope* terkoagulasi. Semakin rendah suhu bak koagulan semakin cepat pula *setting-time* larutan *dope* sehingga memperkecil kemungkinan larutan meluber dan memperbesar bentuk diameter (Peng et al., 2012). Namun besar ukuran diameter semua sampel *hollow fiber* belum dapat dikategorikan dalam ukuran

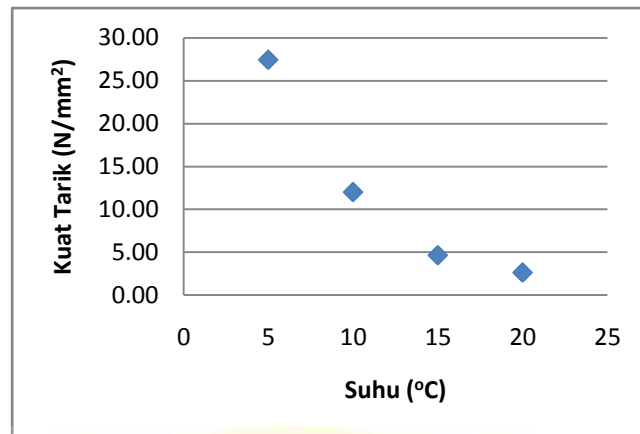


standar *hollow fiber* pada membran dialiser yang telah dipakai dan diaplikasikan pada produk komersial. Ketidak sesuaian ukuran pencetakan terjadi karena minimnya perangkat *spinning* yang dikerjakan secara manual.

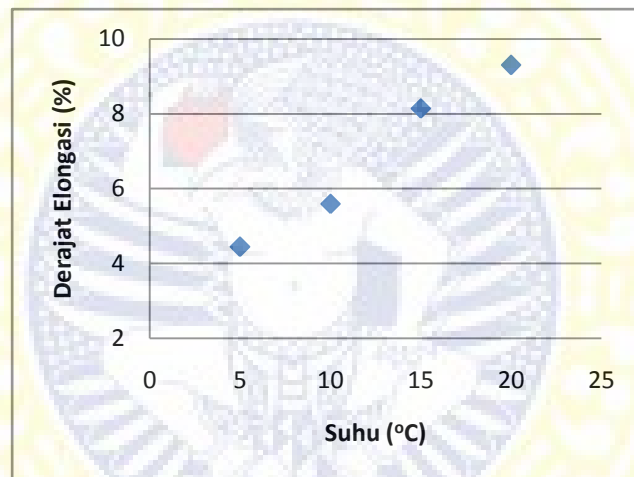
#### 4.3.2 Hasil Pengukuran Kuat Tarik dan Derajat Elongasi

Pengukuran kuat tarik membran dilakukan menggunakan alat bernama autograf untuk mengetahui sifat mekanik *hollow fiber* pada masing-masing variasi suhu dengan analisa nilai kuat tarik dan elongasi. Pengujian ini menghasilkan data berupa  $F$  (gaya) dan  $\Delta l$  (pertambahan panjang). Luas penampang membran dapat dihitung dari selisih luas lingkaran luar dan luas lingkaran dalam *hollow fiber*. Data yang diperoleh dapat dianalisis sehingga dapat diketahui nilai kuat tarik menggunakan Persamaan 2.1 dan elongasi menggunakan Persamaan 2.2. Grafik data nilai kuat tarik dan elongasi membran terhadap variasi suhu bak koagulan disajikan dalam grafik pada Gambar 4.5.

Perbedaan suhu bak koagulan yang digunakan untuk mencetak *hollow fiber* memberikan pengaruh pada struktur permukaan dan ukuran pori *hollow fiber*. Semakin rendah suhu bak koagulan mengakibatkan semakin rapatnya jarak molekul pada *hollow fiber* yang menjadikan pori yang terbentuk pun semakin kecil dan rapat. Rapatnya struktur pori *hollow fiber* yang terbentuk akan meningkatkan tegangan membran yang berarti semakin besar pula kekuatan yang diperlukan untuk mendeformasi membran yang berarti bahwa semakin besar pula kekuatan tarik yang dimiliki membran (Callister, 2010).



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik Nilai Kuat Tarik (a) dan Derajat Elongasi (b) *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat terhadap Variasi Suhu Bak Koagulan

Hasil uji nilai elongasi *hollow fiber* pada penelitian ini menunjukkan bahwa semua nilai elongasi yang dimiliki *hollow fiber* pada semua variasi suhu masih masuk pada kategori *range* standar yaitu diantara 3,5 - 13,1 %, namun tidak dengan nilai kuat tariknya. Kuat tarik tertinggi dimiliki *hollow fiber* dengan variasi suhu bak koagulan 5°C yaitu sebesar 27,4 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan besar nilai kuat tarik *hollow fiber* untuk ketiga variasi suhu lain terhitung berada di luar nilai

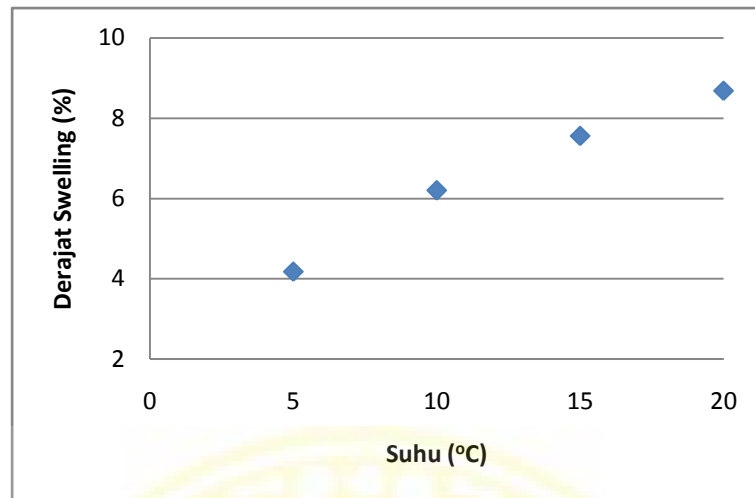
standar kuat tarik *hollow fiber* yang berada pada kisaran 23,1-33,8 N/mm<sup>2</sup> (Wong et al, 2012).

Membran dengan kualitas yang baik memiliki nilai elongasi atau regangan yang lebih kecil karena mengindikasikan ukuran pori membran tidak mudah berubah sehingga hanya selektif terhadap molekul tertentu (Stevens, 2001). Nilai elongasi terendah dimiliki oleh *hollow fiber* pada variasi suhu 5°C yang juga memiliki nilai kuat tarik terbesar.

### 4.3.3 Hasil Penghitungan Derajat *Swelling*

Karakterisasi ini ditujukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan *hollow fiber* mengalami *swelling* atau mengembang saat berada di dalam sebuah cairan. Lama waktu yang dibutuhkan suatu membran untuk *swelling* dapat menggambarkan kekuatan ikatan interaksi molekul membran sehingga tidak mudah terdegradasi oleh cairan (Savitri, 2004). Penghitungan besar nilai derajat *swelling* membran diperoleh menggunakan Persamaan 2.5.

Ketika *hollow fiber* direndam pada larutan *Simulated Body Fluid* (SBF) sebagai simulasi cairan tubuh, membran *hollow fiber* dengan suhu 5°C memiliki rata-rata nilai derajat *swelling* terendah yaitu 4,18% dibanding dengan ketiga variasi suhu lain. Derajat *swelling* *hollow fiber* suhu 10°C berada pada angka 6,2%, sedangkan untuk suhu 15°C dan 20°C masing-masing memiliki nilai derajat *swelling* sebesar 7,56% dan 8,68% seperti disajikan pada grafik Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Nilai Derajat *Swelling Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D-Glukosa Monohidrat* Terhadap Variasi Suhu Bak Koagulan

Meningkatnya nilai derajat swelling seiring dengan semakin tingginya suhu bak koagulan menggambarkan keterkaitan dengan hasil uji morfologi (ukuran pori) dan kuat tarik yang telah dibahas sebelumnya. Hasil cetakan *hollow fiber* pada suhu 5°C menghasilkan ukuran pori yang rapat dan kecil karena jarak molekul yang rapat pula (Khayet, 2003). Hal ini menyebabkan membran memiliki kemampuan untuk tidak mudah terdeformasi bila dibanding dengan *hollow fiber* pada suhu 10°C, 15°C dan 20°C.

Derajat swelling yang dimiliki *hollow fiber* pada setiap variasi suhu terbilang cukup rendah. Hal ini dapat menjadi pedoman pengujian lebih lanjut bahwa *hollow fiber* tersebut dapat diaplikasikan beberapa kali untuk terapi hemodialisis.

#### 4.3.4 Hasil Penghitungan Nilai Fluks *Hollow Fiber*

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian nilai fluks *hollow fiber* terhadap larutan kreatinin. Larutan kreatinin yang digunakan ialah larutan dengan

kadar kreatinin sebesar 2,5 mg/dL atau sesuai dengan kadar kreatinin pada penderita gagal ginjal kronis (Verma et al., 2006). Pengukuran nilai fluks hanya dilakukan pada *hollow fiber* variasi suhu 5°C karena berdasarkan analisa hasil tiga karakterisasi sebelumnya, *hollow fiber* yang memenuhi karakter untuk aplikasi hemodialisa ialah pada variasi suhu bak koagulan 5°C. Nilai fluks diukur menggunakan Persamaan 2.4 dengan waktu pengujian selama 1 menit.

Uji filtrasi *hollow fiber* terhadap larutan kreatinin dilakukan dengan perulangan sebanyak empat kali. Terlihat nilai fluks yang dihasilkan pada setiap perulangan tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan yaitu berada pada range 1,603 – 1,796 mLcm<sup>-2</sup>menit<sup>-1</sup> seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3. Hasil penghitungan nilai fluks ini masih terbilang sangat rendah bila dibandingkan dengan nilai fluks kreatinin atau nilai *clearance* kreatinin pada produk *dialyzer membrane* F60 (*Frenesius Polysulfone Membrane*) yaitu 142 mL/menit.

Perbedaan hasil nilai fluks yang sangat signifikan ini terjadi karena proses filtrasi *crossflow* yang dilakukan pada penelitian kali ini menggunakan modul yang hanya berisi 7 *hollow fiber* dibanding dengan membran dialiser pada umumnya yang memiliki setidaknya 100 *hollow fiber* di setiap modulnya. Panjang *hollow fiber* yang digunakan dalam pengujian ini hanya 7 cm yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan dialiser pada umumnya sepanjang 20 cm. Hal ini mempengaruhi pada luasan permukaan membran menjadi lebih kecil yaitu hanya ±31,19 cm<sup>2</sup>. Nominal ini jauh berbeda dengan luas permukaan rata-rata produk dialiser *Frenesius Polysulfone* yaitu ± 1,3 – 2,1 m<sup>2</sup>.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Filtrasi *Crossflow Hollow Fiber* Selulosa Asetat – D-Glukosa Monohidrat

Perulangan	Volume Permeat (mL)	Luas penampang (cm <sup>2</sup> )	Waktu (menit)	Fluks (mL/cm <sup>2</sup> menit)
1	53	31,2	1	1,7
2	50	31,2	1	1,6
3	56	31,2	1	1,8
4	50	31,2	1	1,6
<b>Nilai Clearance Membran Dialyzer F60 Fresenius Polysulfone (<i>hollow fiber</i>) (Hoenich et al., 1996)</b>				<b>142 mL/menit</b>

#### 4.3.5 Hasil Penghitungan Nilai Koefisien Rejeksi

Penghitungan nilai koefisien rejeksi *hollow fiber* dilakukan setelah melakukan uji filtrasi *crossflow*. Larutan umpan dan permeat hasil uji *crossflow* diukur kadar kekeruhannya menggunakan turbidimeter. Selektivitas membran dinyatakan dalam koefisien rejeksi, yaitu kemampuan membran meloloskan spesi tertentu dan menahan spesi yang lain.

Nilai rejeksi dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.5. Data hasil pengukuran nilai koefisien rejeksi *hollow fiber* variasi suhu 5°C menunjukkan bahwa rata-rata besarnya koefisien rejeksi *hollow fiber* variasi suhu 5°C berada di kisaran nilai 40,14% - 48,30% seperti yang ditunjukkan pada grafik Gambar 4.7. Nilai-nilai tersebut menggambarkan kemampuan *hollow fiber* dalam menahan kreatinin. Semakin kecil nilai rejeksi maka semakin besar kemampuan *hollow fiber* dalam meloloskan kreatinin untuk dibuang dari darah. Menurut Ronco *et al* (2007), pengurangan kadar kreatinin pada terapi hemodialisis ialah sebesar 60% dengan nilai standar kadar kreatinin normal dalam darah sebesar 0,7-1,2 mg/dL.

Tabel 4.4 Data Hasil Uji Turbidimetri *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-glukosa Monohidrat

Perulangan	Konsentrasi Larutan Umpan (NTU)	Konsentrasi Permeat (NTU)	Nilai Rejeksi	Kadar Kreatinin Rentetat (mg/dL)
1	1,47	0,77	47,62%	1,19
2	1,47	0,81	44,90%	1,12
3	1,47	0,76	48,30%	1,21
4	1,47	0,88	40,14%	1,00
<b>Kadar kreatinin normal (Ronco et al., 2007)</b>				<b>0,7 - 1,2 mg/dL</b>

Banyaknya kadar kreatinin yang tersisa pada larutan rentetat hasil uji filtrasi crossflow (larutan yang dialirkan kembali ke tubuh) dapat dilihat pada tabel berikut dengan mengalikan nilai koefisien rejeksi dengan kadar kreatinin larutan umpan (2,5 mg/dL).

Tabel 4.5 Data Penghitungan Kadar Kreatinin setelah Difiltrasi oleh *Hollow Fiber* Selulosa Asetat – *D*-Glukosa Monohidrat Suhu 5°C

Perulangan	Kadar Kreatinin Rentetat (mg/dL)
1	1,190
2	1,122
3	1,207
4	1,003
<b>Kadar kreatinin normal (Ronco et al., 2007)</b>	<b>0,7 - 1,2 mg/dL</b>

Nilai rejeksi yang dimiliki *hollow fiber* 5°C dengan empat kali pengulangan mampu menunjukkan hasil filtrasi yang menyisakan kadar kreatinin sesuai *range* standar kreatinin normal dalam darah. Meskipun demikian, persentase pengurangan kadar kreatinin masih belum mencapai nilai standar 60%

karena koefisien rejeksi yang dimiliki *hollow fiber* ini pun masih cukup tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah *hollow fiber* yang digunakan dalam satu modul. Penggunaan 7 *hollow fiber* dalam satu modul di penelitian ini terbilang masih sangat kurang sehingga berimplikasi pada luas permukaan membran dalam memfiltrasi larutan kreatinin (Ronco *et al.*, 2007).

