

# Pengaruh Paparan Radiasi UVC Terhadap Struktur dan Swelling Membran Kitosan Yang Terpapar Medan Magnet

## *The Effect of UVC Irradiation on the Structure and Swelling Properties of Chitosan Membranes Exposed to Magnetic Fields*

Ida Wisnu Sari<sup>1</sup>, Wolfharditia Oktaviana Nita<sup>2</sup>, Ni Nyoman Rupiasih<sup>3\*</sup>, Made Sumadiyasa<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia 80361

Email: [idawisnusari@student.unud.ac.id](mailto:idawisnusari@student.unud.ac.id); [wolfharditia@student.unud.ac.id](mailto:wolfharditia@student.unud.ac.id); [\\*rupiasih@unud.ac.id](mailto:*rupiasih@unud.ac.id); [sumadiyasa@unud.ac.id](mailto:sumadiyasa@unud.ac.id)

**Abstrak** –Telah dilakukan penelitian pengaruh paparan radiasi UVC terhadap struktur dan sifat *swelling* membran kitosan yang terpapar medan magnet. Membran yang digunakan yaitu membran kitosan 2% yang sudah dipapari medan magnet 1,5 mT dalam arah sejajar selama 2 jam pada saat pencetakannya (reaksi pembentukannya). Selanjutnya membran kering yang diperoleh dipotong dengan ukuran tertentu dan dipapari radiasi UVC selama 5, 10, 15 dan 30 menit, yang masing-masing sampel tersebut diberi nama M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> dan M<sub>4</sub>. Sebagai pembanding adalah membran kitosan 2% dengan paparan medan magnet selama 2 jam tanpa paparan radiasi UVC, yang disebut membran kontrol (M<sub>0</sub>). Karakterisasi yang dilakukan meliputi tebal, *swelling* (kemampuan serap air) dan spektrofotometer FTIR. Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi OH, N-H, C-H, C=O, C-N, C-O dan C-O-C yang teramati pada membran M<sub>0</sub> juga teramati pada membran M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> dan M<sub>4</sub>, dengan puncak-puncak yang mengalami pergeseran bilangan gelombang ke bilangan gelombang lebih kecil atau lebih besar. Persentase transmitansi dari gugus-gugus fungsi tersebut meningkat dengan bertambahnya waktu paparan radiasi UVC dari 5 sampai 15 menit dan menurun pada waktu paparan 30 menit.

**Kata kunci:** membran kitosan, medan magnet, radiasi UVC, *swelling*, gugus fungsi.

**Abstract** – *Research on the effect of UVC radiation exposure on the structure and swelling properties of chitosan membranes exposed to magnetic fields has been carried out. The membrane used is the 2% chitosan membrane that has been exposed to a magnetic field of 1.5 mT in a parallel direction for 2 hours at the time of its formation (formation reaction). Furthermore, the dry membrane obtained was cut to a certain size and irradiated by using UVC radiation for 5, 10, 15 and 30 minutes, each of which was given the names M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> and M<sub>4</sub>. A comparison is a 2% chitosan membrane with exposure to a magnetic field for 2 hours without exposure to UVC radiation, which is called the control membrane (M<sub>0</sub>). Characterizations conducted include thickness, swelling (water absorption) and FTIR spectrophotometer. FTIR analysis shows that the OH, NH, CH, C = O, CN, CO and COC functional groups observed on the M<sub>0</sub> membrane as well as on the M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, and M<sub>4</sub> membranes, with the peaks shifted to smaller or larger wavenumbers. The percentage of transmittance of these functional groups increases with increasing irradiation time from 5 to 15 minutes and decreases in 30 minutes irradiation.*

**Key words:** *chitosan membrane, magnetic field, UVC radiation, swelling test, functional groups.*

### 1. Pendahuluan

Membran merupakan suatu lapisan tipis yang bersifat semipermeabel, yang artinya melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lainnya [1]. Saat ini teknologi membran dikembangkan ke arah pembuatan membran berbahan dasar polimer alam karena lebih ramah lingkungan, salah satu contohnya yaitu membran kitosan. Kitosan adalah senyawa polimer alam (biopolimer) yang diperoleh dari hasil proses deasetilasi kitin, yaitu proses penghilangan gugus asetil dengan menggunakan basa kuat (NaOH). Senyawa kitin biasanya banyak diperoleh dari kerangka kulit hewan tingkat rendah seperti udang, cumi-cumi, kepiting dan juga banyak terdapat pada dinding sel tumbuhan tingkat rendah seperti jamur [2]. Kitosan sudah banyak dimanfaatkan secara komersial pada berbagai bidang, diantaranya industri farmasi dan pertanian. Namun membran kitosan memiliki kelemahan yaitu sensitif terhadap

radiasi ultraviolet (UV). Apabila terpapar radiasi UV, membran akan mengalami perubahan pada struktur kimia, sifat fisik dan sifat listriknya [3].

Penelitian terkait paparan UVC pada membran kitosan sudah banyak dilakukan, diantaranya yaitu Winasri pada tahun 2014 telah melaporkan bahwa lama paparan UVC mengakibatkan penurunan konduktansi ion dari membran kitosan di dalam larutan NaCl [4]. Paramitha, dkk, 2016 melaporkan bahwa rapat arus difusi ion bertambah seiring dengan bertambah besarnya perbandingan konsentrasi larutan di ke dua ruang, jumlah kitosan pembentuk membran (1%, 2%, 3% dan 4%), dan waktu paparan radiasi UVC [5].

## **2. Landasan Teori**

### **A. Membran kitosan**

Membran kitosan adalah membran yang terbuat dari polimer alam, kitosan sebagai bahan dasar (matrik) dan pelarutnya. Sebagai pelarut dapat digunakan larutan asam asetat 1%, asam format 10% dan asam sitrat 10%, karena keterlarutan kitosan adalah paling baik dalam larutan-larutan tersebut [6]. Membran kitosan mempunyai karakteristik atau sifat yang sangat bergantung pada beberapa faktor yaitu metode atau cara pembuatan, komposisi kitosan terhadap pelarutnya, serta kondisi lingkungan pada saat membran dibuat [7]. Beberapa metode yang biasa digunakan dalam mengkarakterisasi membran diantaranya spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), uji tarik dan uji daya serap air (*swelling*).

### **B. Sinar UV**

Radiasi ultraviolet (UV) merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik, yang memiliki panjang gelombang antara 200-400 nm [8]. Sumber UV dapat berasal dari alam (sinar matahari) dan buatan, yaitu dari lampu *germicidal*, lampu merkuri dan lampu halogen. Sinar UV menurut panjang gelombangnya dibedakan atas UV-A (320 – 400 nm), UV-B (290 – 320 nm) dan UV-C (200 - 290 nm) [9]. Paparan radiasi UV pada suatu materi, khususnya membran, dapat mengakibatkan membran terdegradasi. Degradasi tersebut dapat menyebabkan perubahan warna sampai mempengaruhi struktur kimia, sifat fisika dan sifat listrik membran [5].

### **C. Medan Magnet**

Daerah yang ada di sekitar magnet dimana objek-objek magnetik lain dapat terpengaruh oleh gaya magnetismenya disebut medan magnet. Medan magnet tidak hanya dihasilkan oleh magnet, tetapi juga dapat dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam sebuah kawat penghantar, dalam hal ini medan magnet bersifat sementara. Salah satunya adalah medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan Helmholtz yang dialiri arus listrik. Dua kumparan Helmholtz dengan jari-jari sama, dipasang pada jarak yang sama dengan jari-jarinya dapat menghasilkan medan magnet homogen dalam suatu daerah atau luasan tertentu [10].

### **D. Karakterisasi membran**

Karakterisasi membran perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari membran. Beberapa metode yang biasa digunakan dalam karakterisasi membran diantaranya spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), uji tarik dan uji daya serap air (*swelling*).

Karakterisasi dengan spektrofotometer FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada membran kitosan. Metode ini didasarkan pada interaksi antara radiasi inframerah dengan materi. Interaksi mengakibatkan penyerapan radiasi pada bilangan gelombang tertentu yang berhubungan dengan energi transisi antara berbagai keadaan energi vibrasi pada molekul. Uji kemampuan serap air (*swelling*) membran dilakukan untuk mengetahui kemampuan membran menyerap air atau menyerap uap air di udara. Karakteristik tersebut merupakan suatu parameter yang dapat digunakan untuk menjelaskan sifat suatu membran dalam mengikat air (*hydrophilicity*). Uji *swelling* hanya mengganggu ikatan intermolekuler saja dan tidak menyebabkan ikatan kimia dalam rantai suatu polimer. Semakin rapat struktur suatu bahan, menyebabkan proses difusi air ke dalam bahan tersebut menjadi lebih sulit [11]. Persentase *swelling* dari membran dapat dihitung dengan Persamaan (1) [12]:

$$Swelling (\%) = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana  $m_w$  adalah massa membran basah (setelah perendaman) dan  $m_d$  adalah massa membran kering.

### 3. Eksperimen

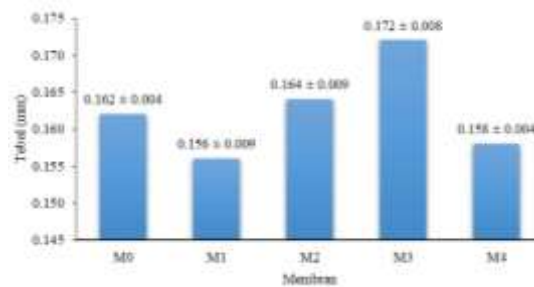
Alat dan bahan yang digunakan yaitu kumparan Helmholtz, lampu UVC Sankyo Denki 20 W, mikrometer sekrup *Tricle Brand*, aqua-dm, serbuk kitosan, asam asetat 1%, dan NaOH 1%. Membran kitosan yang dibuat adalah membran kitosan 2% dengan paparan medan magnet 1,5 mT pada arah sejajar selama 2 jam, yang diberikan pada saat pencetakan (reaksi pembentukan membran). Selanjutnya membran dikeringkan pada temperatur ruang yaitu 20-25°C, direndam dengan larutan NaOH 1% selama  $\pm 12$  menit, dicuci menggunakan *aqua-dm* (*demineralized water*) dan dikeringkan kembali pada temperatur ruang. Kemudian membran kering tersebut dipapari radiasi UVC selama 5, 10, 15 dan 30 menit, yang secara berurutan disebut membran  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ . Sebagai pembandingan adalah membran kitosan 2% yang dipapari medan magnet dan tidak dipapari radiasi UVC, yang disebut membran kontrol ( $M_0$ ). Karakterisasi membran yang telah dilakukan meliputi pengukuran tebal, kemampuan serap air (*swelling*) dan gugus fungsi menggunakan FTIR.

### 4. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil pengamatan diperoleh data-data sebagai berikut.

#### 4.1 Tebal membran

Dari hasil pengukuran tebal membran diperoleh tebal rata-rata masing-masing membran seperti tampak pada Gambar 1.



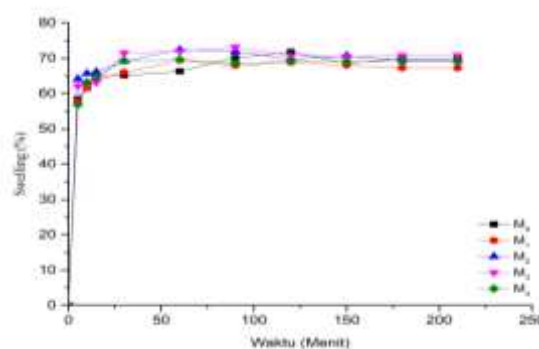
**Gambar 1.** Grafik tebal rata-rata dari membran  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ .

Pada Gambar 1 tampak bahwa membran kitosan dengan paparan radiasi UVC memiliki tebal yang berbeda-beda. Tampak bahwa membran  $M_3$  lebih tebal dibandingkan dengan membran  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ .

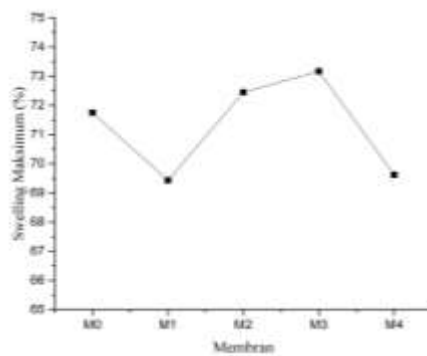
#### 4.2 Kemampuan serap air (*swelling*)

Data uji *swelling* untuk masing-masing membran dan dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh persentase *swelling* dari masing-masing membran sebagai fungsi waktu perendaman, seperti tampak pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 tampak bahwa semua membran menunjukkan pola persentase *swelling* yang meningkat tajam dalam selang waktu 15 menit, kemudian meningkat perlahan sampai tercapai keadaan jenuh setelah lama perendaman 180 menit untuk membran  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  dan  $M_3$ , dan 150 menit untuk membran  $M_4$ . Dari data pada Gambar 2 diperoleh persentase *swelling* maksimum untuk masing-masing membran seperti tampak pada Gambar 3.



**Gambar 2.** Grafik persentase *swelling* sebagai fungsi waktu, dari membran  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ .

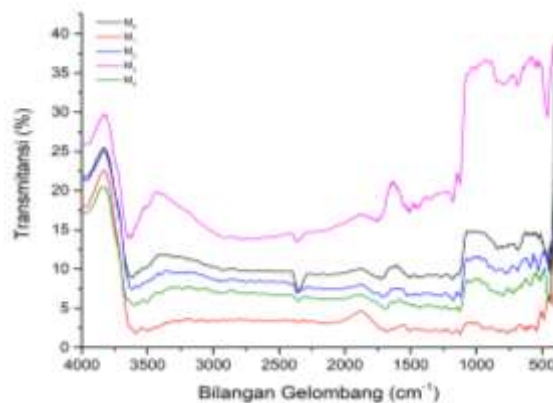


**Gambar 3.** Grafik *swelling* maksimum dari membran M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> dan M<sub>4</sub>.

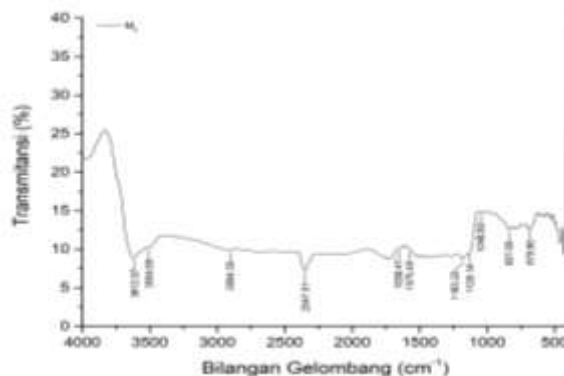
Pada Gambar 3 tampak bahwa nilai persentase *swelling* tertinggi ditunjukkan oleh membran M<sub>3</sub> yakni 73,17%, diikuti oleh membran M<sub>2</sub>, M<sub>0</sub>, M<sub>4</sub> dan M<sub>1</sub> masing-masing sebesar 71,97%, 71,75%, 69,62% dan 69,43%. Hasil-hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa paparan radiasi UVC sangat mempengaruhi kemampuan serap air membran. Hal ini berarti M<sub>3</sub> lebih suka air atau lebih mudah berinteraksi dengan air (*hydrophilicity improved*) dibandingkan membran M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> dan M<sub>4</sub>. Hasil ini didukung oleh tebal membran, dimana membran M<sub>3</sub> merupakan membran yang paling tebal yaitu 0,172 mm dibandingkan membran M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> dan M<sub>4</sub> (masing-masing 0,164; 0,162; 0,158 dan 0,156 mm).

#### 4.3 Analisis Spektrofotometer FTIR

Dari hasil analisis FTIR diperoleh spektrum infrared (IR) dari masing-masing membran seperti tampak pada Gambar 4. Masing-masing spektrum tampak memiliki pola yang serupa dengan perbedaan pada intensitas dan posisi dari beberapa puncak. Untuk pemberian label, spektrum membran M<sub>0</sub> digambarkan kembali seperti tampak pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Spektrum FTIR dari membran M<sub>0</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> dan M<sub>4</sub>.



**Gambar 5.** Spekrum FTIR dari membran kontrol (M<sub>0</sub>).

Gambar 5 memperlihatkan spektrum FTIR dari membran kontrol ( $M_0$ ). Pada spektrum tampak puncak-puncak serapan di sekitar 3612,07 dan 3504,65  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi gugus OH dan NH (Coates, 2000). Puncak-puncak serapan lainnya yaitu pucak di sekitar 2904,35  $\text{cm}^{-1}$  adalah gugus CH, puncak di sekitar 1656,47  $\text{cm}^{-1}$  adalah gugus C=O, puncak di sekitar 1575,45  $\text{cm}^{-1}$  merupakan gugus –NH *bending*, puncak di sekitar 1183,22  $\text{cm}^{-1}$  merupakan gugus CN, puncak di sekitar 1048,80  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi dari ikatan C-O-C (Fabian *et al.*, 1995) dan puncak di sekitar 679,90  $\text{cm}^{-1}$  adalah vibrasi dari gugus CH *bend*. Analisis gugus fungsi membran  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$  selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Gugus-gugus fungsi pada membran  $M_0$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ .

Gugus Fungsi	Referensi (*)	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ); Transmittansi (%) Pada masing-masing Membran				
		$M_0$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
OH <i>stretch</i>	3645-3600	3612,07; 8,96	3635,4; 2,58	3612,07; 7,46	3612,07; 7,46	3615,14; 5,53
N-H <i>stretch</i>	3510-3460	3504,65; 10,18	3500,97; 2,10	3491,15; 8,36	3491,15; 8,36	3500,97; 5,75
C-H <i>stretch</i>	2900-2880	2904,35; 9,90	2890,84; 3,46	2893,91; 8,54	2893,91; 8,54	2900,66; 7,01
C=O	1670-1620	1656,47; 10,11	1666,29; 2,14	1659,54; 7,17	1663,22; 7,05	1659,54; 5,63
NH <i>bend</i>	1650-1550	1575,45; 9,91	1562,56; 2,95	1582,20; 7,44	1582,2; 7,44	1552,12; 5,66
CN <i>stretch</i>	1190-1130	1183,22; 8,68	1186,29; 1,84	1173,40; 6,06	1176,47; 6,03	1176,47; 4,92
C-O <i>stretch</i>	1150-1050	1126,14; 9,54	1123,07; 1,73	1123,07; 6,49	1123,07; 6,49	1126,14; 4,64
C-O-C <i>stretching</i>	1053-1045	1048,8; 14,82	1052,48; 3,14	1048,80; 11,09	1052,48; 11,14	1048,80; 8,26
CH <i>bend</i>	680-610	679,9; 12,67	619,74; 2,20	679,90; 9,95	679,90; 9,95	676,83; 7,58

\* Coates (2000); Fabian *et al.* (1995).

Pada Tabel 1 tampak bahwa gugus NH *stretch*, CH *stretch*, pada membran yang mendapatkan paparan UVC ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ ) mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih kecil sedangkan gugus C=O mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih besar dibandingkan dengan membrane  $M_0$ . Gugus NH *bend* pada membran  $M_1$  dan  $M_4$  mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih kecil, sedangkan membran  $M_2$  dan  $M_3$  bergeser ke bilangan gelombang lebih besar. Gugus OH *stretch* pada membran  $M_1$  dan  $M_4$  mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih besar sedangkan membran  $M_2$  dan  $M_3$  memiliki bilangan gelombang yang sama dengan  $M_0$  (tidak mengalami pergeseran). Gugus CH *bend* pada membran  $M_1$  dan  $M_4$  mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih kecil, sedangkan membran  $M_2$  dan  $M_3$  tidak mengalami pergeseran. Gugus C-O-C *stretch* pada membran  $M_1$  dan  $M_3$  mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih besar, sedangkan membran  $M_2$  dan  $M_4$  tidak mengalami pergeseran. Gugus CO *stretch* pada membran  $M_1$ ,  $M_2$  dan  $M_3$  tampak mengalami pergeseran bilangan gelombang ke daerah yang lebih kecil, sedangkan  $M_4$  tidak mengalami pergeseran. Nilai transmittansi dari membran  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$  lebih kecil dibandingkan  $M_0$ . Nilai transmittansi dari membran terpapar radiasi UVC meningkat dari paparan selama 5 menit sampai 10 menit, kemudian nilainya tetap (konstan) untuk waktu paparan 15 menit, dan pada lama paparan 30 menit, nilai transmittansinya turun. Nilai transmittansi terkecil ditunjukkan oleh membran  $M_1$ . Hasil-hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa, paparan radiasi UVC mempengaruhi gugus-gugus fungsi pada membran kitosan, dimana besar dampaknya bergantung pada lama paparan radiasi UVC yang diberikan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa, paparan radiasi UVC berpengaruh terhadap karakteristik tebal, *swelling* dan gugus fungsi dari membran kitosan. Membran  $M_3$  memiliki tebal tertinggi yaitu 0,164 mm dan diikuti oleh membran  $M_2$ ,  $M_0$ ,  $M_4$  dan  $M_1$  masing-masing 0,162, 0,158 dan 0,156 mm. Hasil ini bersesuaian dengan persentase *swelling* yang dimiliki masing-masing membran, yaitu membran  $M_3$  (73,17%),  $M_2$  (71,97%),  $M_0$  (71,75%),  $M_4$  (69,62%) dan  $M_1$  (69,43%). Gugus-gugus fungsi yang teramati pada membran  $M_0$  juga teramati pada membran  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  dan  $M_4$ , dengan puncak-puncak mengalami pergeseran bilangan gelombang ke bilangan gelombang yang lebih kecil atau

lebih besar. Persentase transmitansi tertinggi ditunjukkan oleh membran M<sub>3</sub> dan diikuti oleh membran M<sub>0</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub> dan M<sub>1</sub>.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terimakasih kepada Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana atas dukungan fasilitas yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian untuk publikasi ini.

### **Daftar Pustaka**

- [1] D. D. Fernanda, Aplikasi Membran Komposit Kitosan-AgNP Untuk Menyaring Logam Perak (Ag) Dalam Limbah Fixer Radiografi, Skripsi, Universitas Udayana, 2018.
- [2] D. D. Fernanda, Kitosan Sebagai Adsorben Perak (Ag) Pada Limbah Fixer Fotografi Rumah Sakit, Buletin Fisika, vol. 20, no.1, 2019, pp. 6-10.
- [3] P. I. P. Putri, Efek Paparan Radiasi UV-C Terhadap Karakteristik Rapat Arus Difusi Ion Pada Membran Kitosan, Skripsi, Universitas Udayana, 2015.
- [4] P. E. Winasri, Efek Lama Paparan Radiasi UV-C Terhadap Karakteristik I-V Membran Kitosan, Buletin Fisika, vol.15, no.1, 2015, pp. 24 – 30.
- [5] P. I. P. Putri, Pengaruh Waktu Paparan Radiasi UV-C Terhadap Karakteristik Rapat Arus Difusi Ion Pada Membran Kitosan, Buletin Fisika, vol. 17, no.1, 2016, pp. 49 – 56.
- [6] N. Kusumawati dan S. Tania, Pembuatan Dan Uji Kemampuan Membran Kitosan Sebagai Membran Ultrafiltrasi Untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B, Molekul, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 43 - 52.
- [7] A. B. Kusumaningtyas, Pengaruh Temperatur Larutan Terhadap Karakteristik Rapat Arus-Beda Potensial Membran Kitosan, Buletin Fisika, vol. 17, no.2, 2016, pp. 16 – 24.
- [8] R. Agustin, Pengontrolan Kecepatan Motor DC Pada Penyimpanan Tempe Menggunakan Sinar Ultraviolet Berbasis Kontrol Logika Fuzzy, Skripsi, Universitas Brawijaya, 2013.
- [9] S. Pratiwi dan P. Husni, *Artikel Tinjauan: Potensi Penggunaan Tanaman Indonesia Sebagai Bahan Aktif Tabir Surya*, Farmaka, vol.15, no.4, 2017, pp. 18-25.
- [10] I. A. P. I. Gayatri, *Pengaruh Paparan Medan Magnet Dalam Pembuatan Membran Kitosan Terhadap Sifat Mekaniknya*, Skripsi, Universitas Udayana, 2018.
- [11] E. Puspawiningtyas dan D. Neni, *Kajian Sifat Fisik Film Tipis Nata De Soya Sebagai Membran Ultrafiltrasi*, Techno, vol.12, no.1, 2011, pp. 01-07.
- [12] Y.Wang, et. al, *Chitosan Membranes Filled by GPTMS-Modified Zeolite Beta Particles with Low Methanol Permeability for DMFC*, Chemical Engineering and Processing 49, 2010, pp. 278–285.