

MODIFIKASI TEKNIK ISOLASI BIOPOLIMER KITOSAN DARI CANGKANG KERANG MUTIARA (*PINCTADA MAXIMA*) SEBAGAI ADSORBEN ZAT WARNA METILEN BLUE

Nurlaili¹⁾, Siti Alaa¹⁾, Susi Rahayu¹⁾

¹⁾Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Indonesia

Corresponding author : Susi Rahayu

E-mail : susirahayu@unram.ac.id

Diterima 16 Oktober 2022, Direvisi 03 November 2022, Diterima 03 November 2022

ABSTRAK

Biopolimer kitosan memiliki banyak aplikasi diantaranya sebagai biosorben, scaffold, bahan pengawet ikan, dan anti mikroba pada makanan. Dalam beberapa penelitian, kitosan sangat efektif dalam mengadsorpsi ion zat warna Metilen biru. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk identifikasi karakteristik kitosan hasil isolasi dari cangkang kerang Mutiara. Proses isolasi biopolimer kitosan menggunakan metode deasetilasi bertahap. Dimana proses isolasi dilakukan dengan tiga proses yaitu deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Serbuk hasil isolasi diidentifikasi rendemennya, diukur densitasnya, analisis gugus fungsi yang terbentuk dengan FTIR, dan menghitung kemampuan dalam mengadsorpsi zat warna metilen blue dengan Uv-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan berbentuk serbuk berwarna putih keabuan, rendemen 33,71%, densitas curah kitosan sebesar 1,21 gr/cm³, serta didapat derajat deasetilasi dari kitosan sebesar 57,50 %. Efisiensi penyerapan zat warna Metilen biru oleh kitosan di setiap konsentrasi rata-rata bernilai 90 %. Oleh karena itu, biopolimer kitosansangat efektif dalam mengadsorpsi zat warna metilen blue.

Kata kunci: deasetilasi bertahap; efisiensi penyerapan; karakteristik kitosan.

ABSTRACT

Chitosan biopolymer has many applications including as a biosorbent, scaffold, fish preservative, and antimicrobial in food. In several studies, chitosan was very effective in adsorption of methylene blue dye ions. The purpose of this study was to identify the characteristics of chitosan isolated from pearl shells. The process of isolation of chitosan biopolymer uses the stepwise deacetylation method. Where the isolation process is carried out by three processes, namely deproteination, demineralization, and deacetylation. The isolated powder was identified its yield, measured its density, analyzed the functional groups formed by FTIR, and calculated the ability to adsorb methylene blue dye with UV-Vis. The results show that the chitosan is a grayish-white powder, the yield is 33.71%, the bulk density of chitosan is 1.21 gr/cm³, and the degree of deacetylation of chitosan is 57.50%. The absorption efficiency of methylene blue dye by chitosan at each concentration averaged 90%. Therefore, chitosan biopolymer is very effective in adsorbing methylene blue dye.

Keywords: gradual deacetylation; absorption efficiency; chitosan characteristics.

PENDAHULUAN

Kitosan merupakan salah satu biopolimer yang sumber bahannya berlimpah di alam. Kitosan bersifat *biodegradable* dan *non-toxic* (Kusumawati, 2009). Biasanya kitosan dapat diaplikasikan sebagai bahan pengawet ikan, anti mikroba pada makanan, material untuk *scaffold*, serta berperan sebagai adsorben (Ariyani & Yennie, 2008)(Sarwono, 2010)(Seol et al., 2004). Beberapa sumber kitosan yakni dari kerang-kerangan (*bivalvia*) seperti kerang mutiara (*pinctada maxima*) dan udang vanami (Rahayu et al., 2018). Selain sebagai bahan baku kitosan, cangkang kerang mutiara juga sering

digunakan sebagai sumber hidroksiapatit (Kurniawidi et al., 2022). Kerang mutiara jenis *pinctada maxima* sangat cocok hidup di perairan Lombok, Nusa Tenggara Barat (Syachruddin et al., 2018).

Saat ini, pemanfaatan cangkang dari kerang mutiara di Lombok terbatas hanya pada pembuatan perhiasan, bahan pembuatan cukli, dan bahan dasar pembuatan cat metalik. Sedangkan pemanfaatan cangkang kerang mutiara sebagai biopolimer kitosan masih jarang dilakukan. Adapun kitosan hasil isolasi sebelumnya didapatkan masih dalam bentuk endapan protein-kitin (Zentz et al., 2001)(Pereira-Mouriès et al., 2002). Namun

adapula isolasi kitosan dari cangkang mutiara telah berhasil dilakukan dengan nilai derajat deasetilasi sebesar 80,35 % (Dewi, 2021). Selain itu, isolasi kitosan juga telah berhasil dilakukan dengan memperoleh derajat deasetilasi hingga 100%. Dimana kitosan diisolasi dari limbah cangkang udang (Ramadhan et al., 2010). Proses deasetilasi dapat dimodifikasi guna meningkatkan derajat deasetilasi yaitu melalui deasetilasi bertahap.

Setiap kitosan yang diperoleh dari hasil isolasi akan memiliki karakteristik yang berbeda tergantung bahan baku dan proses isolasinya. Karakteristik yang dimiliki kitosan akan berpengaruh pada jenis aplikasinya. Kemurnian kitosan tergantung pada derajat deasetilasinya. Dimana kemurnian kitosan akan berperan penting pada jenis aplikasi. Salah satu aplikasi kitosan yang banyak digunakan yaitu sebagai adsorben. Karakteristik yang membedakan kitosan dengan biosorben lainnya yaitu terletak pada gugus fungsi yang dimiliki. Keberadaan gugus hidroksil dan juga amina yang ada pada kitosan sangat efektif dalam mengadsorpsi ion zat warna yakni zat warna Metilen biru (Arifin et al., 2012)(Arunachalam, 2021)(Tanasale et al., 2012).

Keragaman manfaat dan aplikasi kitosan baik dalam bidang medis maupun lingkungan mendorong peneliti dalam mengeksplorasi sumber alam menjadi kitosan. Salah satu sumber bahan baku lokal khas Lombok yang dapat dieksplorasi yaitu cangkang kerang mutiara. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam ilmu pengetahuan di bidang biopolimer, dan dapat menghasilkan inovasi baru terkait pemanfaatan cangkang kerang mutiara jenis *Pinctada maxima*.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini kitosan diisolasi dari cangkang kerang mutiara jenis *Pinctada maxima* yang diperoleh dari perairan di Nusa Tenggara Barat. Secara garis besar prosedur yang dilakukan dalam penelitian meliputi preparasi cangkang kerang mutiara, isolasi kitosan, menghitung rendemen, mengukur densitas, analisis gugus fungsi dengan FTIR, dan analisis kemampuan adsorpsi dengan Uv-Vis. Adapun preparasi dilakukan dengan membersihkan cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*) dan dikeringkan dibawah sinar matahari. Selanjutnya isolasi kitosan dilakukan dengan tiga proses yakni deproteinasi, demineralisasi dan deasetilasi bertahap. Proses deproteinasi dilakukan dengan mencampurkan serbuk cangkang kerang mutiara ke dalam NaOH konsentrasi 4% menggunakan perbandingan 1:10 (w/v).

Kemudian proses demineralisasi dilakukan dengan mencampurkan hasil dari deproteinasi dengan larutan HCl 1 M menggunakan perbandingan 1:15. Setelah itu, proses deasetilasi dengan metode deasetilasi bertahap dilakukan 3 tahap diiringi dengan penambahan NaOH 60% dalam 3 x 1 jam (Bahri et al., 2015).

Untuk meninjau karakteristik serbuk biopolimer kitosan yang diperoleh, ada beberapa metode uji dan pengukuran yang dilakukan. Dalam penentuan warna serbuk, dilakukan dengan meninjau secara organoleptik. Sedangkan densitas kitosan dihitung mengikuti persamaan berikut:

$$\rho_b = \frac{m}{V} \quad (1)$$

dimana ρ_b merupakan parameter *bulk density* (g/cm^3), kemudian m merupakan massa sampel (g), dan V merupakan volume serbuk kitosan yang dipadatkan (cm^3) (Grumezescu & Holban, 2018). Selain itu, kitosan hasil isolasi dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer FTIR guna mengetahui derajat deasetilasi. Adapun untuk menentukan derajat deasetilasinya, kitosan dapat diestimasi dengan pendekatan Baseline oleh Domzy dan Roberts mengikuti persamaan:

$$\text{Derajat Deasetilasi} = 100 - \left[\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times \frac{100}{1,33} \right] \quad (2)$$

dimana A_{1655} adalah nilai absorbansi pada bilangan gelombang 1655 cm^{-1} , kemudian A_{3450} merupakan nilai absorbansi pada bilangan gelombang 3450 cm^{-1} , dan bilangan 1,33 menyatakan rasio dari (A_{1655}/A_{3450}) pada derajat deasetilasi 100% (Imtihani et al., 2020)

Dalam eksperimen ini digunakan zat warna metilen blue sebagai zat yang teradsorpsi. Adsorpsi metilen blue menggunakan 5 variasi konsentrasi yakni 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, dan 25 ppm. Hasil adsorpsi dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 665 nm. Data yang didapat dari uji adsorpsi Metilen biru diantaranya kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi, yang diperoleh melalui persamaan (3) dan (4) :

$$q_e = \left(\frac{C_0 - C_e}{m} \right) \times V \quad (3)$$

$$\% \text{ Efisiensi Adsorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \% \quad (4)$$

dimana C_0 adalah konsentrasi awal (ppm), C_e merupakan konsentrasi akhir (ppm), m merupakan massa adsorben (g), V merupakan

volume adsorbat (L), kemudian q_e merupakan kapasitas adsorpsi pada keadaan kesetimbangan (mg/g) (Tanasale et al., 2012) (Mulyati, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Biopolimer Kitosan

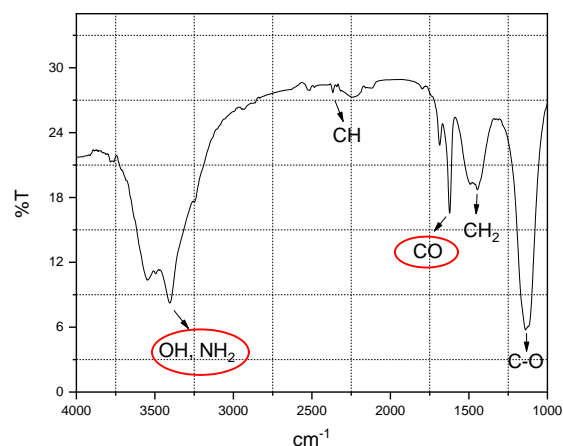
Kitosan telah berhasil diisolasi dari cangkang kerang Mutiara (gambar 1). Adapun dalam setiap tahapan isolasi terjadi pengurangan massa sampel di setiap prosesnya.



Gambar 1. Serbuk Kitosan dari cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*)

Hasil isolasi kitosan cangkang kerang mutiara didapat rendemen sebesar 33,71%. Karakteristik fisik serbuk kitosan berbentuk serbuk berwarna putih keabuan mirip seperti kitosan yang dihasilkan dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) (Masindi & Herdyastuti, 2017). Adapun densitas kitosan didapat sebesar $1,26 \text{ g/cm}^3$. Hal ini berbeda dengan kitosan cangkang kepiting komersial berkisar antara $0,18 \text{ g/cm}^3$ hingga $0,33 \text{ g/cm}^3$ dan kitosan cangkang udang windu berkisar antara $0,166 \text{ g/cm}^3$ hingga $0,178 \text{ g/cm}^3$ (No et al., 1996). Perbedaan terjadi karena kitosan dengan sumber bahan baku yang berbeda memiliki densitas yang berbeda pula. Berdasarkan hal tersebut, kitosan dari cangkang udang memiliki densitas yang relatif lebih besar dari kitosan dari cangkang kepiting maupun cangkang kerang Mutiara.

Analisis senyawa kitosan secara kimia menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Ada beberapa karakteristik dari kitosan yang dapat dilihat melalui FTIR yakni gugus fungsi, mode vibrasi, derajat deasetilasi serta kristalinitas secara kualitatif. Berikut spektra FTIR kitosan dari cangkang kerang mutiara dari hasil percobaan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Gambar grafik uji alat karakterisasi FTIR kitosan

Analisis gugus fungsi dan mode vibrasi dari pembacaan hasil analisis FTIR terhadap kitosan cangkang kerang mutiara dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Gugus Fungsi dan Bilangan Gelombang pada Kitosan

| Gugus Fungsi | Bilangan Gelombang (cm^{-1}) | |
|---|---|------------|
| | Literatur [8] | Penelitian |
| (v) O-H tumpang tindih (va-s) NH_2 | 3434,660 | 3404,160 |
| (vb) C-H | 2348,000 | 2368,760 |
| C=O [Amida sekunder] | 1626,110 | 1621,480 |
| (vsd) C-H | 1466,680 | 1443,820 |
| (v) C-O-C | 1103,850 | - |
| (v) C-O | - | 1139,630 |

*Keterangan: (v): vibrasi *stretching*, (vb): vibrasi *bending*, (vsd): vibrasi *symmetric* deformasi, (va-s): vibrasi *anti-symmetric stretching*.

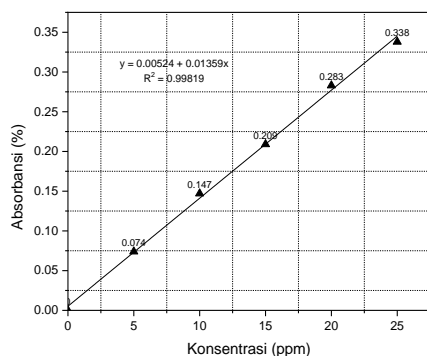
Pada gambar (2) dan tabel (1) menunjukkan gugus fungsi yang terbentuk. Pada pita serapan bilangan gelombang $3404,16 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi amina dengan mode vibrasi *stretching*. Hasil analisis juga menunjukkan gugus fungsi -OH tumpang tindih dengan NH_2 (vibrasi *anti-symmetric stretching*). Kemudian pada bilangan gelombang $1621,48 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan gugus fungsi amida I (-CO). Berdasarkan analisis karakteristik spektrum inframerah menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara referensi dengan hasil eksperimen. Adanya spektrum utama yakni gugus fungsi hidroksil dan amina. Adapun gugus fungsi lain yaitu amida mengindikasikan bahwa senyawa hasil reaksi deasetilasi dalam penelitian adalah kitosan.

Karakteristik lain dari kitosan yang penting untuk dilihat yakni derajat deasetilasi. Nilai

derajat deasetilasi dapat diestimasi menggunakan pendekatan Baseline oleh Domzy dan Roberts dalam persamaan (2) (Imtihani et al., 2020). Analisis derajat deasetilasi hasil isolasi kitosan dari cangkang kerang mutiaran sebesar 57,50 %. Adapun derajat deasetilasinya rendah, akibat pengadukan pada proses deasetilasi yang tidak sempurna. Hal tersebut dapat menyebabkan interaksi antara kitin dengan larutan NaOH tidak bereaksi secara maksimal. Oleh karena itu, gugus amina yang terbentuk sedikit dan menghasilkan nilai derajat deasetilasi yang rendah (Citrowati et al., 2017). Proses deasetilasi pada kitin hampir tidak pernah selesai, dalam kitosan masih ada gugus asetil yang terikat. Sehingga, tinggi rendahnya derajat deasetilasi kitosan menunjukkan tinggi rendahnya gugus asetil dari kitosan hasil isolasi. Semakin banyak gugus asetil yang terlepas, semakin tinggi kemurnian kitosan yang dihasilkan. Kitosan yang memiliki derajat deasetilasi rendah dapat diaplikasikan dalam pengolahan air limbah, salah satunya yakni sebagai adsorben (Bastaman, 1989).

Kemampuan Adsorpsi Metilen Blue

Kemampuan kitosan dalam mengadsorpsi metilen blue di analisis menggunakan Uv-Vis. Hasil pengukuran dianalisis melalui kurva pada gambar 3. Adapun konsentrasi akhir dari suatu larutan uji dapat ditentukan dengan menentukan kurva kalibrasi. Untuk itu kurva kalibrasi dari kelima variasi konsentrasi Metilen biru dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Gambar Kurva Hubungan Absorbansi terhadap Konsentrasi

Persamaan regresi linear yang diperoleh yakni, $y = 0,00524 + 0,01359x$, dan diperoleh koefisien determinasi (R^2) bernilai 0,99819. Berdasarkan kurva pada gambar 3, absorbansi yang diperoleh sebesar 99,819%. Adapun hasil koefisien determinasi menunjukkan kelayakan penggunaan grafik dalam pengujian (Huda & Yulitangingtyas, 2018).

Sehingga kurva kalibrasi zat warna Metilen blue yang diperoleh layak digunakan dalam analisis hasil adsorpsi oleh kitosan. Adapun kapasitas adsorpsi dan juga efisiensi adsorpsi zat warna Metilen blue ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Tabel Konsentrasi, Kapasitas Adsorpsi dan Efisiensi Adsorpsi hasil Adsorpsi Metilen Biru

| Konsentrasi Awal (ppm) | Konsentrasi Akhir (ppm) | Kapasitas Adsorpsi (mg/g) | Efisiensi Adsorpsi (%) |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 5 | 0 | 0,262 | 100 |
| 10 | 0,571 | 0,471 | 94,290 |
| 15 | 1,601 | 0,670 | 89,325 |
| 20 | 0,350 | 0,982 | 98,249 |
| 25 | 1,086 | 1,203 | 96,828 |

Berdasarkan tabel 2 kapasitas adsorpsi Metilen blue semakin meningkat. Pada proses adsorpsi, konsentrasi awal larutan sebanding dengan jumlah adsorbat yang akan terserap. Pada tabel 2 juga terlihat adsorpsi pada konsentrasi 15 ppm terjadi penurunan. Hal ini terjadi karena pada proses pengadukan menggunakan magnetik stirrer tidak berlangsung secara menyeluruh, akibatnya zat warna yang terserap lebih sedikit dari seharusnya.

Dari tabel 2, nilai efisiensi adsorpsi menggunakan kitosan cukup bagus yaitu rata-rata 90%. Hal ini karena dua faktor yaitu konsentrasi adsorbat dan jenis adsorbat. Pertama, konsentrasi awal zat warna Metilen blue berhubungan dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan kitosan. Bila jumlah sisi aktif cukup besar dibandingkan dengan ion adsorbat maka nilai dari efisiensi adsorpsi akan tinggi. Kemudian faktor kedua yakni jenis adsorbat yang digunakan. Dari segi pH digunakan zat warna basa yakni zat warna metilen blue. Jika menggunakan zat warna anionik yang bersifat asam, maka gugus aktif yang ada pada kitosan yakni gugus amina (NH_2) akan terprotonasi menjadi NH_3^+ . Adapun zat warna Metilen blue dalam larutan cenderung terionisasi menjadi $(\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S})^+$. Sehingga pada saat terjadi protonasi akan terjadi penolakan dengan gugus NH_3^+ (Tammi et al., 2013). Keoptimalan hasil efisiensi adsorpsi yang rata-rata hasilnya 90%, terjadi karena gugus aktif NH_2 , tidak terprotonasi sehingga muatan pada gugus ini dalam keadaan negatif.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kitosan yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki

karakteristik berbentuk serbuk dengan warna putih keabuan. Adapun densitas curah yang dihasilkan sebesar $1,26 \text{ g/cm}^3$ dan derajat deasetilasi sebesar 57,50%. Bahkan kemampuan adsorpsi kitosan yang teridentifikasi memiliki kemampuan adsorpsi rata-rata 90%.

Dari hasil penelitian, kemurnian kitosan yang diperoleh belum mencapai standar SNI. Sehingga untuk mengoptimalkan kemurniannya perlu dilakukan modifikasi mulai dari preparasi hingga proses isolasi. Ketelitian dalam penelitian juga sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan data eksperimen untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan tugas akhir program strata 1. Eksperimen ini bagian dalam roadmad penelitian kelompok bidang minat material program studi fisika FMIPA Universitas Mataram. Ucapan terimakasih diberikan pada tim laboratorium fisika lanjut dibawah naungan fisika material.

DAFTAR RUJUKAN

- Arifin, Z., Irawan, D., Rahim, M., & Ramantiya, F. (2012). Adsorpsi zat warna direct black 38 menggunakan kitosan berbasis limbah udang delta Mahakam. *Jurnal Ilmiah Berkala Sains Dan Terapan Kimia*, 6(1), 35–45.
- Ariyani, F., & Yennie, Y. (2008). Pengawetan Pindang Ikan Layang (*Decapterus russelli*) Menggunakan Kitosan. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 3(2), 139–146.
- Arunachalam, K. D. (2021). Bio-adsorption of methylene blue dye using chitosan-extracted from *Fenneropenaeus indicus* shrimp shell waste. *J. Aquac. Mar. Biol*, 10, 146–150.
- Bahri, S., Rahim, E. A., & Syarifuddin, S. (2015). Derajat deasetilasi kitosan dari cangkang kerang darah dengan penambahan naoh secara bertahap. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 1(1).
- Bastaman, S. (1989). *Studies on Degradation and Extraction of Chitin and Chitosan from Prawn Shells (Nephrops Norvegicus)*.
- Citrowati, A. N., Satyantini, W. H., & Mahasri, G. (2017). Pengaruh kombinasi NaOH dan suhu berbeda terhadap nilai derajat deasetilasi kitosan dari cangkang kerang kampak (*Atrina pectinata*). *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 6(2), 48–56.
- Dewi, H. (2021). *Studi Adsorpsi Logam Fe Menggunakan Kitosan Cangkang Kerang Mutiara (Pinctada maxima)*. Universitas Mataram.
- Grumezescu, A. M., & Holban, A. M. (2018). *Therapeutic, probiotic, and unconventional foods*. Academic Press.
- Huda, T., & Yulitaningtyas, T. K. (2018). Kajian adsorpsi methylene blue menggunakan selulosa dari alang-alang. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 1(01), 9–19.
- Imtihani, H. N., Wahyuono, R. A., & Permatasari, S. N. (2020). *Biopolimer kitosan dan penggunaannya dalam formulasi obat*. Penerbit Graniti.
- Kurniawidi, D. W., Alaa, S., Nurhaliza, E., Safitri, D. O., Rahayu, S., Ali, M., & Amin, M. (2022). Synthesis and Characterization of Nano Chitosan from *Vannamei Shrimp Shell (Litopenaeus vannamei)*. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 14(2), 380–387.
- Kusumawati, N. (2009). Pemanfaatan limbah kulit udang sebagai bahan baku pembuatan membran ultrafiltrasi. *INOTEKS*, 13(2).
- Masindi, T., & Herdyastuti, N. (2017). Karakterisasi Kitosandari CangkangKerang Darah (*Anadara granosa*). *UNESA Journal of Chemistry*, 6(3).
- Mulyati, T. A. (2017). Preparasi dan karakterisasi karbon aktif dari limbah ampas tebu menggunakan aktivator KOH. *Indonesian Chemistry and Application Journal*, 1(2), 61–67.
- No, H. K., Cho, Y. I., & Meyers, S. P. (1996). Dye binding capacity of commercial chitin products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(7), 1939–1942.
- Pereira-Mouriès, L., Almeida, M., Ribeiro, C., Peduzzi, J., Barthélemy, M., Milet, C., & Lopez, E. (2002). Soluble silk-like organic matrix in the nacreous layer of the bivalve *Pinctada maxima*: A new insight in the biomineralization field. *European Journal of Biochemistry*, 269(20), 4994–5003.
- Rahayu, S., Kurniawidi, D. W., & Gani, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada maxima*) Sebagai sumber Hidroksiapatit. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 4(2), 226–231.
- Ramadhan, L., Radiman, C. L., Wahyuningrum, D., Suendo, V., Ahmad, L. O., & Valiyaveetii, S. (2010). Deasetilasi kitin secara bertahap dan pengaruhnya terhadap derajat deasetilasi serta massa molekul kitosan. *Jurnal Kimia Indonesia*, 5(1), 17–21.
- Sarwono, R. (2010). Pemanfaatan Kitin I Kitosan Sebagai Bahan Anti Mikroba.

- Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 12(1).
- Seol, Y.-J., Lee, J.-Y., Park, Y.-J., Lee, Y.-M., Ku, Y., Rhyu, I.-C., Lee, S.-J., Han, S.-B., & Chung, C.-P. (2004). Chitosan sponges as tissue engineering scaffolds for bone formation. *Biotechnology Letters*, 26(13), 1037–1041.
- Syachruddin, A. R., Syukur, A., & Suryaningsih, S. (2018). Perbedaan berat (gram) bibit kerang mutiara (*Pinctada Maxima*) antar warna cangkang di perairan Tekalok Lombok Timur NTB. *Jurnal Biologi Tropis*, 18(1), 34–44.
- Tammi, T., Suaniti, N. M., & Manurung, M. (2013). Variasi Konsentrasi Dan Ph Terhadap Kemampuan Kitosan Dalam Mengadsorpsi Metilen Biru. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*.
- Tanasale, M. F., Killay, A., & Laratmase, M. S. (2012). Kitosan dari limbah kulit kepiting rajungan (*Portunus sanguinolentus* L.) sebagai adsorben zat warna biru metilena. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(1), 165–171.
- Zentz, F., Bédouet, L., Almeida, M. J., Milet, C., Lopez, E., & Giraud, M. (2001). Characterization and quantification of chitosan extracted from nacre of the abalone *Haliotis tuberculata* and the oyster *Pinctada maxima*. *Marine Biotechnology*, 3(1), 36–44.