

Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting Sebagai Bio-Adsorben Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Tahu

Euis Kusniawati^{1*}, Rahma Nuryanti¹ Satria Mandala Putra¹

¹ Program Studi Teknik Analisis Laboratorium Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: euis@pap.ac.id

ABSTRAK: Limbah cangkang kepiting yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai sumber kitosan yang berpotensi digunakan sebagai bio-adsorben ramah lingkungan dalam pengolahan limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis kitosan dari cangkang kepiting dan mengaplikasikannya dalam pengolahan limbah tahu dengan parameter analisis pH, *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), dan Asam Asetat. Proses sintesis dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu demineralisasi menggunakan HCl 2M, deproteinasi dengan NaOH 4%, dan deasetilasi menggunakan NaOH 65%. Kitosan yang dihasilkan menunjukkan rendemen 25%, kadar air 2%, dan kelarutan 91%, memenuhi standar mutu SNI. Pengujian aplikasi bio-adsorben menunjukkan bahwa penambahan kitosan 2 gram dan waktu perendaman 90 menit dapat meningkatkan pH limbah dari 4,8 menjadi 8,4, menurunkan TSS dari 589 mg/L menjadi 35 mg/L (penurunan 94%), TDS dari 1076 mg/L menjadi 671 mg/L (penurunan 37%), dan asam asetat dari 2430 mg/L menjadi 138 mg/L (penurunan 94%). Hasil ini membuktikan bahwa kitosan dari limbah cangkang kepiting efektif digunakan sebagai bio-adsorben untuk pengolahan limbah tahu.

Kata Kunci : Kitosan, cangkang kepiting, bio-adsorben, limbah tahu, pengolahan air limbah

ABSTRACT: Abundant crab shell waste can be utilized as a potential source of chitosan, which serves as an eco-friendly bio-adsorbent for wastewater treatment. This study aims to synthesize chitosan from crab shells and apply it in the treatment of tofu wastewater by analyzing parameters such as pH, Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), and Acetic Acid. The synthesis process involves three main stages: demineralization using 2M HCl, deproteinization with 4% NaOH, and deacetylation using 65% NaOH. The resulting chitosan yielded a 25% rendement, 2% moisture content, and 91% solubility, all meeting the Indonesian National Standard (SNI). The bio-adsorbent application test revealed that adding 2 grams of chitosan and a soaking time of 90 minutes increased the pH from 4.8 to 8.4, reduced TSS from 589 mg/L to 35 mg/L (94% reduction), TDS from 1076 mg/L to 671 mg/L (37% reduction), and acetic acid from 2430 mg/L to 138 mg/L (94% reduction). These findings confirm that chitosan derived from crab shell waste is effective as a bio-adsorbent for tofu wastewater treatment.

Keywords : Chitosan, Crab Shell Waste, Tofu Industrial Wastewater, Natural Adsorbent, Water Treatment

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hewan *invertebrate* laut berkulit keras (*Crustacea*) adalah sumber cangkang yang banyak mengandung kitin di wilayah perairan Indonesia. Kadar kitin dalam *Crustacea* berkisar dari 20 hingga 60 persen tergantung pada spesiesnya seperti Udang (*Shrimp*), Kepiting (*Crab*), Lobster, *Krill* dan lain-lain. Saat ini, limbah berkitin di Indonesia yang dihasilkan saat ini sekitar 56,200 ton

pertahun. Lebih dari 80.000 ton kubik kitin diperoleh dari limbah laut dunia per tahun (Departemen Kelautan dan Perikanan dalam Salmahaminati, 2022).

Dari data sementara Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2019 mencatat nilai ekspor rajungan termasuk kepiting mencapai Rp 5,35 triliun. Angka tersebut merupakan hasil penjualan rajungan sebanyak 25,9 ribu ton. Peningkatan terus terjadi dari tahun-ke tahun. Keuntungan dari hasil perairan berupa kepiting tersebut memunculkan masalah yaitu semakin banyak limbah cangkang kepiting yang

dihasilkan, menumpuk dari tahun ke tahun. Bahkan sebagian besar limbah ini merupakan buangan, yang mencemari lingkungan. Pengolahan kitin menjadi kitosan adalah cara lain untuk membuat limbah cangkang kepiting bernilai dan bermanfaat. Jika senyawa kitin dikonversi menjadi senyawa kitosan melalui metode deasetilasi, senyawa ini akan sangat berharga. Kitin dalam cangkang kepiting berkisar antara 18,70% sampai 32,20% (Focher *et al.* dalam Mashuni *et al.*, 2021).

Kitosan adalah biopolimer yang dihasilkan dari proses pengolahan Kitin dari cangkang luar *Crustaceae*, serangga, dan beberapa jenis jamur. Kitosan memiliki banyak sifat, salah satunya sebagai *adsorben*, atau pengikat ion. Kitosan dapat digunakan dalam bidang kesehatan, bioteknologi, pertanian, dan industri makanan, tetapi tidak dapat larut dalam larutan netral atau basa. Selain dikeringkan dan dijual sebagai kitin, cangkang kepiting juga dapat diolah menjadi kitosan, yang merupakan buatan dari kandungan kitin pada cangkang kepiting dan dapat digunakan sebagai bahan utama dalam penjernihan air.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya dengan judul penggunaan kitosan sebagai adsorben pada proses pengolahan limbah tekstil untuk memperbaiki nilai pH, TSS dan TDS dari hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa kitosan yang dijadikan adsorben pada proses pengolahan limbah tekstil dapat memperbaiki nilai pH, TSS dan TDS serta penelitian dari (Iryani, 2017) dengan judul studi karakteristik kitosan dari cangkang kepiting bakau sebagai penjernih air pada air sumur dan penelitian dari (Amanda, 2022) dengan judul karakteristk kitosan dari cangkang udang vaname, dari kedua penelitian tersebut menyatakan bahwa kitosan mampu menjadi adsorben yang baik dalam penjernihan air serta dapat menurunkan nilai TSS dan TDS dalam sampel yang mereka gunakan. Yang membedakan penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya adalah bahan bau dan sampel yang digunakan, maka penulis tertarik untuk mengetahui penggunaan kitosan dari cangkang kepiting pada proses pengolahan air limbah tahu. Sehingga penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul “**Sistesis Kitosan Dari Cangkang Kepiting Sebagai Bio-Adsorben Dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu**” dengan parameter seperti pH (*Potential Of Hydrogen*), TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*), dan Asam Asetat.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan kitosan dari cangkang kepiting serta mengetahui persentase perubahan pH (*Potential Of Hydrogen*), TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*) dan Asam Asetat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu

bahan baku kitosan yang digunakan pada penelitian ini berasal dari cangkang kepiting yang diambil dari salah satu rumah makan yang ada di Plaju, Sumatera Selatan.

2.2 Alat dan Bahan

Alat

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Copper*, *Magnetic stirrer with heater*, *Oven ommert UNB-400*, Desikator, Timbangan analitik *ohaus*, *Stop watch*, Buret, Statif dan klem, pH Universal, Termometer, Pengaduk Magnetik, Centrifuge, Corong, Pemisah, Ayakan, Pipet volume, Labu ukur, *Glass ware*, *Jar Test*, Kertas Saring.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari Cangkang kepiting, HCl 2 M, NaOH 4% dan 65%, AgNO₃ (untuk mengidentifikasi ion Cl⁻), Indikator pp (untuk mengidentifikasi kandungan OH⁻), Aquadest

2.3 Prosedur Kerja

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas isolasi kitosan dari cangkang kepiting dan aplikasinya untuk mengetahui persentase perubahan pH (*Potential Of Hydrogen*), TSS (*Total Suspended Solid*), TDS (*Total Dissolved Solid*), Amonia dan Asam Asetat pada limbah industri tahu.

Proses Isolasi Kitosan dari Cangkang Kepiting diawali dengan cara membersihkan terlebih dahulu cangkang kepiting untuk menghilangkan kotoran yang menempel, setelah itu dilakukan penjemuran untuk mengurangi kadar air pada cangkang kepiting dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven selama satu jam pada suhu 110-120°C. Setelah satu jam, cangkang kepiting di dinginkan di dalam desikator, kemudian dihaluskan dan dilakukan pemilihan ukuran sebesar 100 mesh.

Setelah proses pembersihan cangkang kepiting selesai, dilanjutkan dengan proses isolasi kitosan dari cangkang kepiting yang meliputi tiga cara yaitu *demineralisasi* (penghilangan mineral), *deproteinasi* (penghilangan protein) dan *deasetilasi*.

Proses demineralisasi dilakukan dengan cara menambahkan larutan HCl 2M pada kitosan yang dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 60°C selama satu jam. Setelah dipanaskan kemudian dipisahkan antara kitin yang terbentuk dengan larutan HCl menggunakan sentrifuge. Setelah dipisahkan, kitin yang diperoleh dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan HCl yang tersisa.

Setelah proses demineralisasi selesai, tahap selanjutnya adalah proses deproteinasi yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan protein yang terdapat pada kitin. Deproteinasi dilakukan dengan cara menambahkan larutan NaOH dengan konsentrasi 4% pada kitin yang didapat dari hasil demineralisasi cangkang kepiting. Kitin yang telah ditambahkan NaOH kemudian dipanaskan selama satu jam pada suhu 60°C. Setelah pemanasan selesai dilanjutkan dengan pemisahan kitin dari larutan NaOH dengan menggunakan centrifuge. Selanjutnya cuci kitin yang dihasilkan dengan aquades hingga pH larutannya menjadi netral.

Proses terakhir adalah proses perubahan kitin menjadi kitosan atau dikenal dengan proses deasetilasi. Proses ini menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi 65% untuk mengubah gugus asetilnya. Proses ini dilakukan dengan cara memansakan kitin yang telah ditambahkan NaOH 65% selama satu jam, kemudian dilakukan pemisahan dan dilakukan pencucian dengan aquades sampai pH nya menjadi netral.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisa Kitosan

Setelah dilakukan sintesa kitosan dari cangkang kepiting. Kitosan yang diperoleh kemudian dianalisa untuk mengetahui nilai rendemen, kadar air dan kelarutan kitosan pada asam asetat.

1. Rendemen

Pengujian rendemen bertujuan untuk membandingkan jumlah kitosan yang dibuat dengan berat kitin yang digunakan. Semakin banyak rendemen yang dihasilkan, maka semakin banyak kitosan yang dihasilkan. Dari penelitian yang dilakukan rendemen yang diperoleh pada proses pembuatan kitosan dari cangkang udang sebesar 25%.

2. Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan baku mutu kitosan. Kadar air yang

sesuai dengan standar mutu kitosan menurut SNI No. 7949 (2013) adalah $\leq 12\%$. Kadar air dianalisa menggunakan metode AOAC. Pada penelitian ini kadar air yang diperoleh sebesar 2%.

3. Uji Kelarutan

Uji kelarutan dilakukan untuk mengetahui mutu kitosan. Kelarutan kitosan yang tinggi menunjukkan bahwa kitosan memiliki kualitas yang baik. Menurut SNI 7949 tahun 2013 kelarutan kitosan dalam asam asetat encer minimum 90%. Pada penelitian ini, uji kelarutan kitosan didapatkan hasil bahwa kelarutan kitosan sebesar 91%.

Hasil analisa kitosan yang meliputi rendemen, kadar air dan kelarutan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Hasil Analisa Kitosan

No	Parameter	Hasil Uji	Nilai SNI SNI 7949:2013	Spesifikasi
1	Rendemen	25%	>20%	On Spec
2	Kadar Air	2%	<10%	On Spec
3	Kelarutan	91%	Larut	On Spec

Dari tabel 3.1 dapat dilihat bahwa semua parameter utama kitosan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI), menurut hasil uji laboratorium. Karena telah melampaui nilai minimum yang dipersyaratkan oleh SNI, yaitu lebih dari 20%, rendemen sebesar 25% menunjukkan bahwa proses ekstraksi limbah cangkang kepiting dari bahan baku berjalan dengan cukup efisien. Rendemen tinggi juga menunjukkan bahwa proses deasetilasi kitin menjadi kitosan berjalan dengan baik. Selain itu, kadar air hanya 2% menunjukkan bahwa kitosan ini sangat kering. Hal ini sangat penting untuk memperpanjang umur simpan, menghentikan kerusakan biologis seperti perkembangan mikroorganisme, dan meningkatkan kestabilan produk saat diangkut atau disimpan. Adapun kelarutan kitosan dalam pelarut asam, khususnya asam asetat, mencapai 91%. Ini adalah nilai yang tinggi dan menunjukkan bahwa kitosan memiliki tingkat deasetilasi yang baik, karena hanya kitosan dengan gugus amino bebas yang cukup ($-NH_2$) dapat larut dalam larutan asam lemah. Tingkat kelarutan ini sangat penting karena memengaruhi kemampuan kitosan untuk digunakan dalam berbagai aplikasi. Ini mencakup penggunaan sebagai pengemulsi, bahan pengikat, koagulan dalam pengolahan limbah, bahan aktif dalam farmasi, dan pelapis antimikroba dalam pengemasan makanan. Oleh

karena itu, kitosan yang dihasilkan sangat layak untuk digunakan dalam berbagai keperluan industri dan penelitian karena memiliki randemen yang tinggi, kadar air yang rendah, dan kelarutan yang sangat baik.

3.2 Hasil Aalisa Uji Sampel Limbah Cair Tahu Dengan Penambahan Kitosan

Tabel 3.2 Hasil Analisa Sampel Limbah Tahu

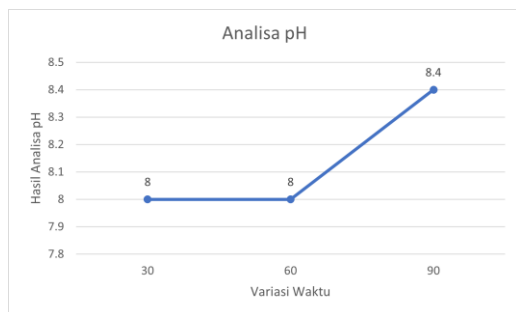
Parameter	Hasil Analisa awal	Waktu didiamkan (Menit)	Massa Kitosan (gr)	Hasil Analisa akhir	% Perubahan	Spec. Limbah Tahu
pH	4.8	30	2	8.0	67 %	6-9 *
		60	2	8.0	67 %	
		90	2	8.4	75 %	
TSS (mg/l)	589	30	2	227	61 %	200 mg/l **
		60	2	87	85 %	
		90	2	35	94 %	
TDS (mg/l)	1076	30	2	984	8,5 %	2000 mg/l **
		60	2	939	12 %	
		90	2	671	37 %	
Asam Asetat (ppm)	2.430	30	2	708	70 %	-
		60	2	606	75 %	
		90	2	138	94 %	

Sumber: * Peraturan HK No 68 Tahun 2016

** Peraturan LHK No 5 Tahun 2014

3.3 Pembahasan

3.3.1 pH (Power of Hydrogen)

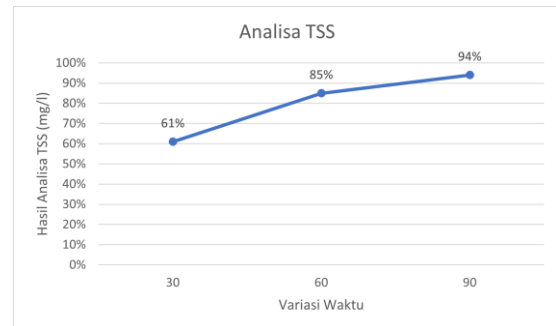


Gambar 3.1 Hasil Analisa pH

Dari gambar 3.1 menunjukkan bahwa adanya kenaikan nilai pH setelah dilakukannya penambahan kitosan. Dari Analisa awal limbah tahu didapatkan bahwa pH awal limbah tahu yang akan dianalisa adalah 4,8 setelah ditambahkan kitosan dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 10 menit dan didiamkan selama 30 menit terjadi kenaikan nilai pH menjadi 8,0 begitu juga dengan waktu kontak kitosan dengan limbah tahu selama 60 dan 90 menit pH menjadi 8,0 dan 8,4, sehingga dapat disimpulkan bahwa kitosan dapat menaikkan nilai pH air limbah yang awalnya 4,8 menjadi 8-8,4. Ini disebabkan karena ion H^+ yang berasal dari limbah cair tahu akan bereaksi dengan ion OH^- dan NH_2 sehingga dapat menaikkan nilai pH. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan

oleh Saputra tahun 2015 yang menyatakan bahwa pH asam akan membawa banyak ion H^+ (muatan positif) ke dalam air limbah, ion ini akan memicu gugus aktif pada kitosan, yaitu OH^- dan NH_2 , untuk bereaksi dengan ion H^+ dari air limbah tahu sehingga mempengaruhi nilai pH.

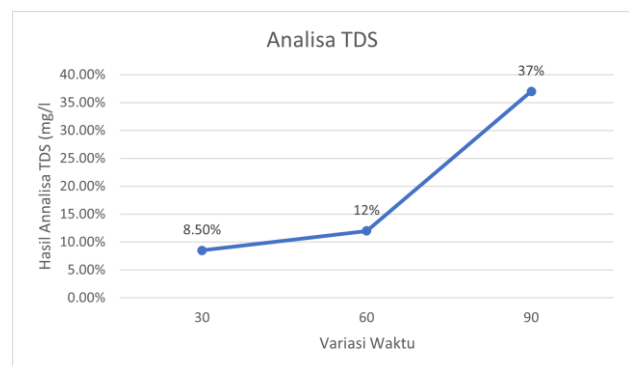
3.3.2 Total Suspended Solid (TSS)



Gambar 3.2 Hasil Analisa TSS

Dari gambar 3.2 dapat dilihat bahwa adanya penurunan nilai TSS setelah dilakukannya penambahan kitosan, penurunan TSS tertinggi terjadi ketika air limbah tahu direaksikan dengan kitosan selama 90 menit yang menghasilkan persen penurunan TSS sebesar 94%. Hal ini dapat disebabkan karena partikel-partikel seperti protein, lemak, dan serat kedelai terikat dan membentuk flok, lalu mengendap sehingga nilai TSS berkurang signifikan (Amarizal *et al.*, 2017). Dari penelitian (Asni *et al.*, 2014), dinyatakan bahwa kitosan dari cangkang kepiting berhasil mengurangi TSS lumpur tahu hingga 90,8%.

3.3.3 Total Dissolved Solid (TDS)

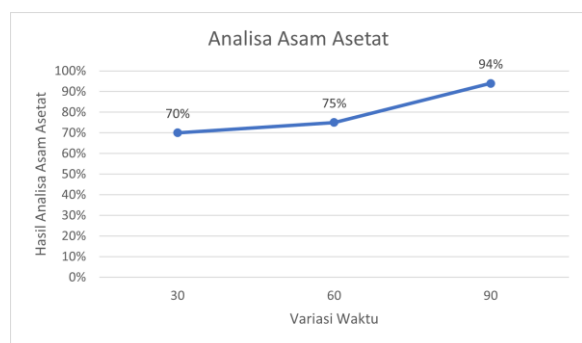


Gambar 3.3 Hasil Analisa TDS

Dari gambar 3.3 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan TDS setelah dilakukan penambahan kitosan, penurunan TDS tertinggi terjadi pada waktu perendaman selama 90 menit yang menghasilkan persen penurunan

sebesar 37%. *Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan partikel-partikel terlarut berukuran sangat kecil dalam air limbah. Kitosan memiliki gugus fungsi aktif, yaitu amina (NH_2) dan hidroksil (OH), yang berperan penting dalam proses adsorpsi dan koagulasi. Gugus-gugus ini mampu berinteraksi dengan partikel terlarut melalui ikatan elektrostatis maupun hidrogen, sehingga partikel-partikel tersebut dapat terakumulasi dan diendapkan. Akibatnya, konsentrasi TDS dalam air menurun dan kualitas air menjadi lebih baik. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hatma *et al*, (2021) yang menyatakan bahwa kitosan dapat menurunkan nilai TDS dari 280 ppm menjadi 80 ppm. Penurunan ini terjadi karena kitosan memiliki gugus aktif yang dapat mengikat partikel-partikel terlarut melalui mekanisme koagulasi dan flokulasi.

3.3.4 Asam Asetat



Gambar 3.4 Hasil Analisa Asam Asetat

Berdasarkan 3.4 di atas, kadar asam asetat dalam larutan menurun seiring waktu perendaman. Pada 30 menit perendaman, kadar asam asetat masih tinggi 708 mg/L setelah 60 menit, turun menjadi 606 mg/L dan pada 90 menit perendaman, kadarnya turun drastis menjadi 138 mg/L. Penurunan ini terjadi karena kitosan membutuhkan waktu lebih lama untuk menangkap atau mengikat asam asetat yang ada di dalam larutan selama proses perendaman. Semakin lama direndam, semakin banyak asam asetat yang dapat diserap, yang menghasilkan produk yang lebih bersih. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan pada waktu 90 menit yang mungkin adalah waktu terbaik untuk proses. Selain itu, grafik menunjukkan penurunan yang teratur dan bertahap, menunjukkan bahwa waktu perendaman memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pengurangan kadar asam asetat. Studi ini menunjukkan bahwa waktu perendaman sangat memengaruhi laju adsorpsi, karena penyerapan asam asetat mengikuti *isoterma freundlich* dan model *kinetika pseudo*-turunan kedua, penelitian ini

menunjukkan bahwa lebih lama waktu perendaman, lebih banyak asam asetat yang diserap (Njewa *et al.*, 2022).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian sintesis kitosan dari cangkang kepiting sebagai bio-adsorben pada proses pengolahan limbah cair tahu dengan menggunakan parameter *Potential Hydrogen* (pH), *Total Suspended Solid* (TSS), *Total Dissolved Solids* (TDS) dan Asam Asetat yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Proses pembuatan kitosan dari cangkang kepiting dimulai dari penjemuran cangkang kepiting kemudian dihaluskan menjadi bubuk / serbuk cangkang kepiting dengan ukuran 100 mesh, lalu dilakukan proses demineralisasi, deproteinasi dan deasetilasi. Proses sintesis menghasilkan kitosan dengan rendemen sebesar 25%, kadar air 2%, dan kelarutan dalam asam asetat sebesar 91%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa kitosan yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian dan efisiensi proses yang tinggi. Rendemen yang melebihi batas minimum SNI (>20%) menandakan proses ekstraksi kitin menjadi kitosan berlangsung optimal, sementara kadar air yang rendah memperpanjang masa simpan dan stabilitas produk. Kelarutan yang tinggi menunjukkan bahwa struktur kimia kitosan memiliki gugus amina bebas yang cukup untuk berfungsi efektif sebagai bio-adsorben.
2. Kitosan yang dibuat dari cangkang kepiting telah terbukti berguna sebagai bio-adsorben dalam pengolahan limbah cair industri. Penelitian menunjukkan bahwa air limbah menjadi lebih baik. Selama waktu perendaman selama 90 menit, penambahan 2 gram kitosan dapat meningkatkan pH dari 4,8 menjadi 8,4 dengan kenaikan 42 persen, mengurangi kadar *total suspended solid* (TSS) dari 589 mg/l menjadi 35 mg/l dengan penurunan 94%, mengurangi *total dissolved solid* (TDS) dari 1076 mg/L menjadi 671 mg/l dengan penurunan 37 persen, dan mengurangi kadar asam asetat dari 2430 mg/l menjadi 138 mg/l dengan penurunan 94%. Keberadaan gugus aktif NH_2 dan OH pada struktur kitosan membuatnya efektif. Gugus-gugus ini memiliki kemampuan untuk berikatan dengan polutan organik dan anorganik melalui mekanisme adsorpsi dan flokulasi. Akibatnya, kitosan dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah yang efektif dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik Akamigas Palembang, Kepala Laboratorium Dasar Politeknik Akamigas Palembang, Produsen Tahu yang telah bersedia digunakan limbahnya sebagai objek penelitian, mahasiswa dan analis laboratorium yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarizal, K. 2017. Menggunakan Kitosan Dari Limbah Cangkang Sumpil (Faunus Aster) Sebagai Nano Biokoagulan Dalam Pengolahan Limbah Cair PT. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6(1), 1–7.
- Asni, N., Saadilah, M. A., & Saleh, D. 2014. Optimalisasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting sebagai Adsorben Logam Berat Pb (II). *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 15(1), 18–25.
- Haifa, Hana. A., Octaviana, Amalia. Y., Kamal Ubaidilah 2024. Tantangan dan Solusi Pengelolaan Limbah Industri: Upaya Menuju Lingkungan Yang Bersih dan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*. 10(23), 1133–1139.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 65 Tahun 2014 tentang Pedoman dan Standar Operasional Prosedur Penanganan Pengaduan Dugaan Pencemaran dan/atau Perusakan Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Njewa, J. B., Biswick, T. T., Vunain, E., Lagat, C. S., & Lugasi, S. O. 2022. Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Agrowastes for the Removal of Acetic Acid from an Aqueous Solution. *Jurnal Adsorption Science & Technology*. 13(1) 10-11