

Reduksi Kandungan Zat Aktif Anionik dalam Limbah *Laundry* dengan Memanfaatkan Kombinasi Zeolit dari Tongkol Jagung dan *Pseudomonas aeruginosa*

[Reduction of Anionic Surfactant Content in Laundry Wastewater by Utilizing a Combination of Zeolite from Corn Cobs and *Pseudomonas aeruginosa*]

Sirah Diniati Nea[✉], Nurhaeni, Dwi Juli Puspitasari, Prismawiryanti, Nov Irmawati Inda, Ni Ketut Sumarni, Ruslan

Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Tadulako
Jl. Soekarno Hatta Km.9, Kampus Bumi Tadulako Tondo Palu, Telp. 0451-422611

Abstract. The increasing environmental pollution is one of the consequences of human activities that continue to expand. The environment has limitations in coping with pollutants generated by humans, such as waste from the laundry industry. This research aims to evaluate the combined effect of zeolite produced from corn cobs and the use of microorganisms capable of degrading anionic surfactants, with the goal of reducing the concentration of anionic surfactants in laundry wastewater. The methods used include adsorption using corn cobs as adsorbents and biodegradation using surfactant-degrading bacteria. Morphological observations using Scanning Electron Microscope (SEM) indicate that the produced zeolite has a crystal structure that stacks up like clumps of cubes. X-ray Diffraction (XRD) analysis shows that zeolite synthesized with a silica extraction ratio from corn cobs and sodium aluminate of 20:20 mL has been successfully conducted. The biodegradation process of anionic surfactants in laundry wastewater using a combination of synthesized zeolite and *Pseudomonas aeruginosa* bacteria employing the Methylene Blue Alkyl Substance (MBAS) method has shown a decrease in concentration to 1.66 mg/L and degradation of 33.55%, especially in sample 3 with variations of 7.5 grams of corn cob zeolite and 15% microorganisms, during a 5-day experiment.

Keywords: laundry waste, Zeolite, *Pseudomonas aeruginosa*, Adsorbent, Anionic Surfactant.

Abstrak. Peningkatan polusi lingkungan merupakan salah satu dampak dari aktivitas manusia yang terus berkembang. Lingkungan memiliki keterbatasan dalam mengatasi zat-zat pencemar yang dihasilkan oleh manusia, seperti limbah dari industri *laundry*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek gabungan antara zeolit yang dihasilkan dari tongkol jagung dan penggunaan mikroorganisme yang mampu mendegradasi surfaktan anionik, dengan tujuan menurunkan konsentrasi surfaktan anionik dalam air limbah *laundry*. Metode yang digunakan meliputi adsorpsi dengan menggunakan tongkol jagung sebagai penyerap serta biodegradasi dengan bakteri pendegradasi surfaktan. Hasil observasi morfologi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) menunjukkan bahwa zeolit yang dihasilkan memiliki struktur kristal yang menumpuk seperti gumpalan berbentuk kubus. Analisis X-ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa zeolit yang disintesis dengan rasio ekstraksi silika dari tongkol jagung dan natrium aluminat sebesar 20:20 mL berhasil dilakukan. Proses biodegradasi surfaktan anionik pada limbah *laundry* dengan menggunakan kombinasi zeolit sintesis dan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menggunakan metode Methylene Blue Alkyl Substance (MBAS) berhasil menunjukkan penurunan konsentrasi hingga 1,66 mg/L dan degradasi sebesar 33,55%, terutama pada sampel 3 dengan variasi jumlah zeolit tongkol jagung sebesar 7,5 gram dan mikroorganisme 15%, selama 5 hari percobaan.

Kata kunci: Limbah laundry, Zeolit, *Pseudomonas aeruginosa*, Adsorben, Surfaktan Anionik.

Diterima: 18 Januari 2024, Disetujui: 30 April 2024

Sitasi: Nea, S. D., Nurhaeni., Puspitasari, D.J., Prismawiryanti., Inda, N.I., Sumarni, N.K., dan Ruslan. (2024). Reduksi Kandungan Zat Aktif Anionik dalam Limbah Laundry dengan Memanfaatkan Kombinasi Zeolit dari Tongkol Jagung dan *Pseudomonas aeruginosa*. KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 10(1): 77-84.

[✉] Corresponding author

E-mail: siranhea20@gmail.com

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i1.16982>



LATAR BELAKANG

Pencemaran lingkungan merupakan salah satu penyebab degradasi lingkungan. Seiring dengan berkembangnya kegiatan manusia maka jumlah zat pencemar akan meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan kemampuan lingkungan dalam menetralkan zat pencemar (Pratamadina & Wikaningrum, 2022). Salah satu pencemar lingkungan yang berasal dari sektor pencucian adalah limbah *laundry*. Limbah yang dihasilkan industri *laundry* mengandung detergen yang berpotensi menimbulkan bahaya. Bahaya tersebut timbul karena adanya polifosfat dan surfaktan pada detergen yang dapat menyebabkan peningkatan kadar fosfat dalam air (Utomo, 2018). Hal tersebut disebabkan karena limbah tersebut mengandung detergen yang merupakan pembersih terbuat dari campuran bahan-bahan kimia. Tiga komposisi utama detergen yaitu surfaktan, bahan pemutih dan bahan pengharum (Kamaruddin et al., 2019).

Detergen anionik merupakan kelompok detergen yang paling umum digunakan, terutama untuk tujuan mencuci pakaian rumah tangga dan di sektor *laundry*. Penggunaan detergen yang berlebihan dapat menyebabkan penumpukan limbah surfaktan pada saat proses pencucian. Pembuangan limbah detergen akan mengakibatkan limbah tersebut masuk ke sistem pembuangan limbah, sungai, dan perairan yang lebih luas, sehingga menyebabkan kontaminasi air. Pendekatan yang layak untuk mengurangi bahaya yang terkait dengan limbah detergen adalah melalui proses biodegradasi (Maharani & Wesen, 2018) dan dengan metode adsorpsi (Agustina dkk., 2015).

Adsorpsi mengacu pada proses di mana

suatu zat padat menarik dan menahan zat lain pada permukaannya, tanpa membiarkannya menembus ke dalam zat padat tersebut. Hal ini terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar atom atau molekul pada permukaan zat padat (Agustina dkk., 2015). Adsorben yang dapat digunakan dalam proses ini berasal dari limbah tongkol jagung. Tongkol jagung merupakan bahan limbah organik yang memiliki komponen kimia yang cocok digunakan sebagai adsorben. Ini mengandung sejumlah besar silika, sekitar 66,38%, yang dapat dimanfaatkan dalam produksi zeolit (Nindi, 2018), biaya yang murah, ramah lingkungan dan lain sebagainya. Zeolit bersilika tinggi akan bersifat hidrofobik sehingga mampu untuk mengadsorpsi surfaktan anionik pada limbah *laundry*.

Biodegradasi adalah metode menguraikan surfaktan menjadi CO₂ dan air sebagai sumber karbon untuk kehidupan dan metabolisme mikroba dengan cara penguraian zat organik oleh mikroorganisme di lingkungan hidup (Zairinayati & Shatriadi, 2019). Salah satu jenis mikroorganisme yang dapat digunakan pada metode ini yaitu *Pseudomonas sp.* karena memiliki kemampuan dalam menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi surfaktan terutama jenis *Linear Alkylbenzena Sulfonate* (LAS) dengan memutus ikatan rantai akil pada struktur atau gugus fungsinya (Sulistiyawati, 2018).

Pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben dalam bentuk sintesis zeolit telah banyak dilakukan. Namun, pengaplikasian pada surfaktan anionik masih kurang dilakukan. Menurut (Kurniawan dkk, 2017; Maharani & Wesen, 2018) penyisihan surfaktan anionik LAS (*Linear Alkylbenzene Sulfonate*) sebesar 100% selama 21 hari dengan bantuan bakteri dan lumpur aktif sistem *continue* menggunakan

kombinasi bakteri *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Oleh karena itu, kombinasi metode adsorpsi dengan memanfaatkan tongkol jagung sebagai sintesis zeolit dan metode biodegradasi dengan menggunakan bakteri pendegradasi surfaktan perlu dilakukan dengan harapan dapat menurunkan kadar surfaktan anionik pada limbah air *laundry* secara signifikan sehingga dapat menjadi metode yang digunakan secara tepat guna.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan yaitu tongkol jagung, HCl, akuades, NaOH, Al_2O_3 , mikroorganisme pendegradasi surfaktan (*Pseudomonas aeruginosa*), limbah cair *laundry* mengandung surfaktan anionik (LAS (*Linear Alkyl Benzenesulfonat*)), $CHCl_3$, H_2SO_4 , indikator fenofalein, larutan pencuci, metilen biru, isopropil alkohol, *glass wool* dan kertas saring.

Alat yang digunakan adalah alat-alat penunjang yang ada di laboratorium, pisau, blender, wadah, pH meter, tanur, oven, penyaring buchner, stirrer, stainless steel, spektrofotometer UV-Vis, Scanning Electron Microscope (SEM) dan X-ray Diffraction (XRD).

Prosedur Penelitian

Persiapan dan ekstraksi silika tongkol jagung (Gunawan dkk., 2017)

Tongkol jagung dipotong dengan ukuran kurang lebih 2 cm lalu dicuci sampai bersih dan dikeringkan dibawah sinar matahari, kemudian dikalsinasi pada temperatur $700^{\circ}C$ selama 2 jam. Setelah itu, abu tongkol jagung ditimbang sebanyak 20 gram, dicuci dengan 120 mL HCl 6M dan dinetralkan dengan akuades. Abu

tongkol jagung dikeringkan dalam oven dengan suhu $120^{\circ}C$ selama 30 menit. Setelah kering, dilarutkan dalam 167 mL NaOH 4 M dan diaduk sampai mengental dengan stirrer pada suhu $90^{\circ}C$ selama 3 jam dalam stainless steel. Selanjutnya ditanur pada suhu $100^{\circ}C$ selama 30 menit kemudian ditambahkan dengan 200 mL akuades, diamkan semalaman kemudian disaring dengan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan merupakan larutan silika.

Pembuatan natrium aluminat (Putra dkk., 2014)

Natrium aluminat dibuat dengan cara melarutkan 20 gram NaOH dalam 100 mL akuades. Larutan dipanaskan pada suhu $100^{\circ}C$ selama 30 menit kemudian ditambahkan 21,6 gram Al_2O_3 sedikit demi sedikit disertai pengadukan dan diencerkan hingga 250 mL.

Sintesis zeolit tongkol jagung (Irianty, 2016)

Silika hasil ekstraksi dari tongkol jagung diambil sebanyak 20 mL dan natrium aluminat 20 mL dicampurkan kemudian diaduk dengan stirrer selama 2 jam pada suhu kamar. Larutan dipanaskan selama 5 jam pada suhu $100^{\circ}C$ dalam keadaan tertutup rapat. Selanjutnya sampel disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan akuades pada pH netral. Sampel kemudian dikeringkan pada suhu $100^{\circ}C$ selama 2 jam.

Observasi morfologi zeolit tongkol jagung

Morfologi sintesis zeolit akan diobservasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-ray Diffraction* (XRD).

Ekstraksi air limbah laundry (Sulistiyawati, 2018)

Ekstraksi air limbah *laundry* mengandung surfaktan anionik menggunakan menggunakan sintesis zeolit tongkol jagung dengan kombinasi mikroorganisme pendegradasi surfaktan

sebanyak 5; 10; 15% dan sintesis zeolit jagung sebanyak 2,5; 5; 7,5 gram masing-masing ke dalam air limbah *laundry* mengandung surfaktan anionik sebanyak 250 mL. Setelah itu, diamkan selama 5 hari pengujian.

Penentuan kadar surfaktan anionik (Sulistiyawati, 2018)

Penentuan kadar surfaktan anionik pada limbah air *laundry* dilakukan dengan metode MBAS (*Methylene Blue Alkyl Substance*) yang dilakukan sebelum dan sesudah penggunaan sintesis zeolit tongkol jagung dengan kombinasi mikroorganisme pendegradasi surfaktan. Tahapan ini meliputi pembuatan larutan surfaktan LAS standar (*Linear Alkylbenzene Sulfonat*), larutan metilen biru 0,3%, larutan pencuci dan pembuatan kurva kalibrasi (SNI 06-6989.51-2005), pembuatan kurva kalibrasi dilakukan menggunakan larutan standar detergen (surfaktan LAS) dengan konsentrasi 0; 2; 4; 6; 8 ppm. Air limbah *laundry* sebelum dan sesudah perlakuan tersebut diambil sebanyak 50 mL, dimasukkan ke dalam corong pisah kemudian ditetesi NaOH 1 N lalu tetesi indikator fenolftalein setelah itu teteskan larutan H₂SO₄ 1 N. Selanjutnya sebanyak 10 mL CHCl₃ dan 25 mL reagen metilen biru ditambahkan ke dalam corong pisah kemudian dikocok selama 30 detik, larutan ditampung dan dilakukan 2 kali pengulangan. Larutan dipindahkan ke corong pisah dan ditambahkan larutan pencuci 50 mL kemudian dikocok selama 30 detik gabungan. Pisahkan lapisan CHCl₃ melalui *glass wool* dan ditampung dalam labu ukur 50 mL, kemudian tepatkan hingga tanda tera dengan CHCl₃. Selanjutnya dilakukan pembacaan serapan

lapisan CHCl₃ dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm.

% degradasi

$$= \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\%$$

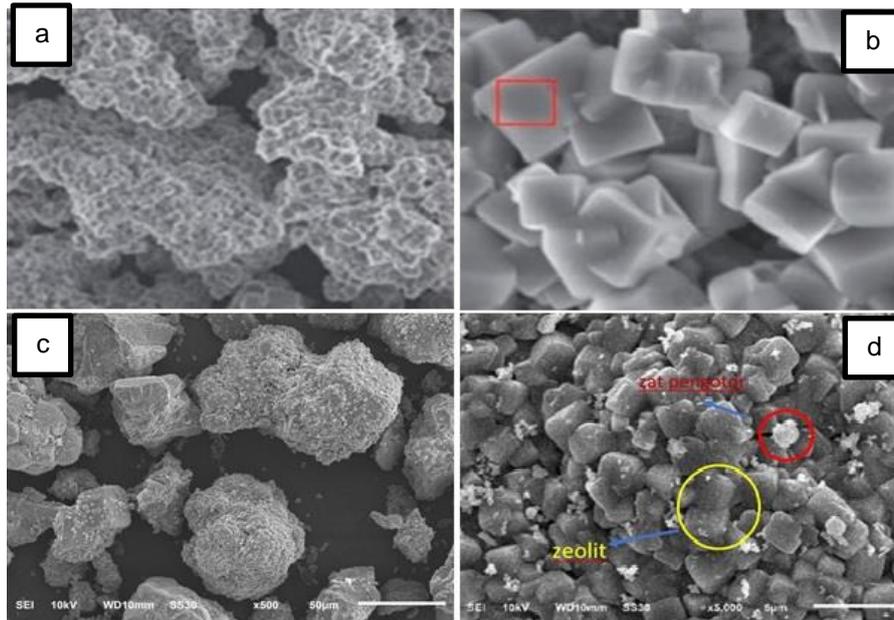
Dimana konsentrasi awal adalah air limbah *laundry* sebelum diberikan perlakuan dan konsentrasi akhir adalah air limbah yang sudah diberikan perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Morfologi Sintesis Zeolit Tongkol Jagung

Analisis morfologi pada zeolit dari tongkol jagung menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi pada sintesis zeolit tongkol jagung untuk mengetahui bentuk permukaan zeolit yang disintesis antara ekstraksi silika dari tongkol jagung dan natrium aluminat dengan perbandingan 20:20 mL. Hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 1.

Zeolit divisualisasikan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada perbesaran 3000x. Visualisasi dilakukan pada resolusi 5 µm dan tegangan 10 kV. Di bawah perbesaran 3000x, gambar memperlihatkan struktur kubik yang dibentuk oleh beberapa lapisan yang ditumpuk satu sama lain, sehingga menghasilkan tampilan menggumpal seperti yang digambarkan pada Gambar 1. Analisis ini menunjukkan gambar SEM dari sampel sintesis zeolit (Gambar 1. (c),(d)) yang memiliki morfologi mirip dengan zeolit 4A (Gambar 1. (a),(b)) (Wu et al., 2018), hal ini menunjukkan bahwa zeolit berhasil disintesis.

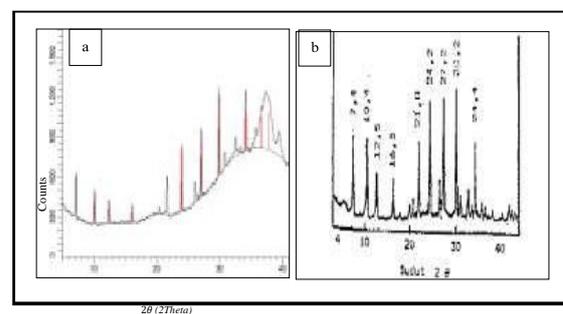


Gambar 1. Morfologi zeolit dari (a,b) zeolit 4A dan (c,d) sintesis zeolit tongkol jagung pembesaran 500x dan pembesaran 5000x.

Untuk mengetahui dan memperkuat kebenaran hasil karakterisasi dari sintesis zeolit yang dilakukan, maka dianalisis menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)*. Difraktogram akan menampilkan pola difraksi dengan adanya puncak-puncak daerah 2θ yang khusus untuk partikel tersebut. Seperti yang tergambar Gambar 2.

Berdasarkan data karakterisasi XRD yang diperoleh dengan mengukur rentang sudut difraksi (2θ) dari 4° hingga 40° ditunjukkan pada gambar 4.2. Puncak-puncak karakterisasi dari sintesis zeolit tongkol jagung terdapat pada $7,1^\circ$; $10,1^\circ$; $12,4^\circ$; $16,1^\circ$; $21,7^\circ$; $23,7^\circ$; $30,1^\circ$; $34,0^\circ$. Nilai puncak-puncak yang terbentuk pada difraktogram selanjutnya dibandingkan dengan puncak difraktogram standar untuk memastikan keberhasilan proses sintesis. Difraktogram zeolit sintesis memiliki nilai puncak yang sangat mirip dengan nilai puncak dengan difraktogram standar. Dengan demikian, sintesis zeolit menggunakan perbandingan 20:20 mL silika yang diekstraksi

dari tongkol jagung dan natrium aluminat telah berhasil dilakukan.

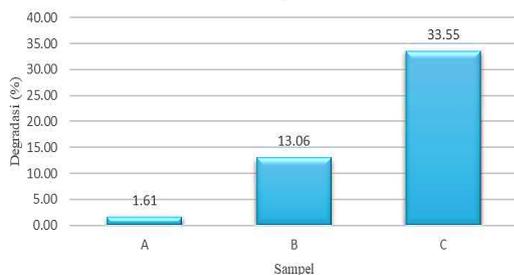


Gambar 2. Difraktogram zeolit (a) sintesis zeolit tongkol jagung dan (b) zeolit 4A standar (Murat et al., 1992).

Aplikasi Sintesis Zeolit dan Mikroorganisme pada Limbah Laundry

Proses penurunan surfaktan anionik (LAS) yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan mikroorganisme dan adsorben tongkol jagung sebagai zeolit sintesis pada limbah laundry. Dilakukan 5 hari pengujian pada limbah laundry, dengan 3 variasi berbeda pada tiap sampel. Sampel A (2,5 gram zeolit sintesis : 5% bakteri pendegradasi surfaktan), sampel B (5 gram zeolit sintesis : 10% bakteri

pendegradasi surfaktan) dan sampel C (7,5 gram zeolit sintesis : 15% bakteri pendegradasi surfaktan). Berdasarkan hubungan yang kuat antara zeolit dan mikroorganisme memberikan hasil yang baik terhadap penurunan konsentrasi dan meningkatnya persentase degradasi surfaktan anionik (LAS) pada limbah cair laundry, yang dapat dilihat dari Gambar 3.

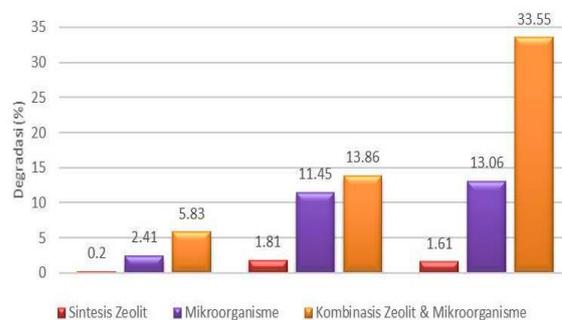


Gambar 3. Pengaruh variasi sintesis zeolit dan mikroorganisme pada limbah laundry.

Berdasarkan Gambar 3, terdapat penurunan kadar surfaktan pada limbah cair laundry hingga 33,55% yang terjadi dengan sampel 3 selama 5 hari pengujian secara signifikan berdasarkan variasi jumlah sintesis zeolit dan bakteri pendegradasi surfaktan yang digunakan. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan *pseudomonas aeruginosa*, sejenis bakteri yang memecah surfaktan, bersamaan dengan sintesis zeolit, dapat disarankan sebagai solusi yang tepat untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah cair laundry

Berdasarkan Gambar 4, kombinasi antara sintesis zeolit dan mikroorganisme memiliki hasil yang terbaik dalam menurunkan surfaktan anionik. Namun dapat dilihat yang memiliki kekuatan lebih tinggi yaitu mikroorganisme, hal ini terjadi karena bakteri pendegradasi surfaktan yang merupakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* memiliki aspek penting dalam beradaptasi terhadap

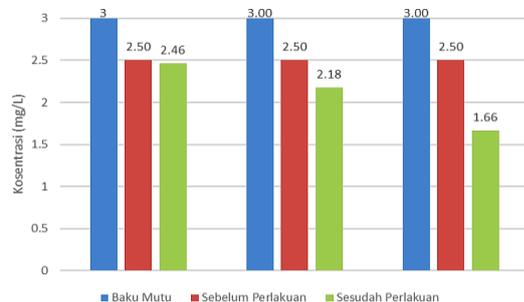
lingkungan yang kaya surfaktan. *P. aeruginosa* menghasilkan berbagai enzim lipase, protease dan sulfatase yang dapat memecah dan memutuskan komponen surfaktan, seperti ikatan sulfat (SO_4^-), lipid dan protein. Hal ini menunjukkan bahwa LAS mempunyai potensi untuk diubah menjadi biomassa. Pemasukan substrat (nutrisi) yang mudah diserap dan substrat penting untuk pertumbuhan bakteri sangatlah penting, khususnya untuk produksi biomassa dan sintesis enzim yang diperlukan untuk degradasi senyawa detergen. Adanya kandungan lemak, karbohidrat, dan protein yang tinggi dalam biomassa memberikan keuntungan yang signifikan bagi keberlangsungan berbagai proses dan kelangsungan hidup organisme lain (Sudiana, 2004). Maka dari itu, memungkinkan bakteri ini untuk menggunakan komponen surfaktan sebagai sumber karbon dan energi.



Gambar 4. Perbandingan degradasi penggunaan sintesis zeolit : mikroorganisme : kombinasi keduanya pada limbah laundry.

Berdasarkan hasil analisis data pada Gambar 5, menunjukkan penurunan konsentrasi pada limbah laundry yang dimana sebelum perlakuan sebesar 2,89 ppm dan setelah perlakuan mencapai sebesar 1,66 ppm dengan terdegradasinya surfaktan 33,55%. Menurut kriteria keunggulan yang ditetapkan standar baku mutu PERMEN LH No. 5 Tahun 2014, kadar surfaktan yang dapat diterima dalam air

limbah usaha atau industri adalah 3 mg/L. Hal ini memastikan bahwa kandungan surfaktan dalam air limbah memenuhi kriteria kualitas yang disyaratkan.



Gambar 5. Perbandingan konsentrasi penurunan surfaktan anionik (LAS) pada baku mutu: sebelum perlakuan: sesudah perlakuan

Dengan mengombinasikan bakteri pendegradasi surfaktan dan sintesis zeolit dapat menghasilkan metode yang efektif untuk mereduksi pencemaran yang disebabkan oleh surfaktan (LAS). Zeolit yang dapat digunakan sebagai penyerapan surfaktan dari limbah laundry serta dapat digunakan sebagai penyangga atau media yang menyediakan nutrisi dan perlindungan bagi bakteri pendegradasi surfaktan. Karena bakteri ini nanti akan dapat hidup dalam lubang-lubang mikropori zeolit dan mendegradasi surfaktan yang terserap dalam media zeolit.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan morfologi zeolit dari tongkol jagung menunjukkan bentuk menyerupai kubus yang dimana setiap bentuk yang satu dengan yang lainnya saling bertumpuk sehingga terlihat seperti gumpalan. Serta analisis menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) menunjukkan difraktogram zeolit hasil sintesis memiliki kemiripan nilai puncak dengan difraktogram standar sehingga sintesis zeolit telah berhasil

dilakukan. Pada kondisi perlakuan dengan variasi jumlah sintesis zeolit 7,5 gram dan mikroorganisme (bakteri pendegradasi) 15% yang dilakukan selama 5 hari pengujian adalah hasil yang terbaik dengan menurunkan hingga 1,66 mg/L dan degradasi sebesar 33,55%.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T.E., Luigi, C. and Lorenza, T. (2015). Zeolit Terhadap Penurunan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry Sintetik. *Jurnal Teknik Kimia*. 21(1), 47–52.
- Gunawan, G. M., Suhendar, D., Sundari, C. D. D., Ivansyah, A. L., Setiadi, S., & Rohmatulloh, Y. (2017). Sintesis Zeolit Silikalit-1 Menggunakan Limbah Tongkol Jagung sebagai Sumber Silika. *a-Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 4(2), 91-99.
- Irianty, R. S. (2016). Sintesis Zeolit 4A Dari Abu Limbah Sawit Dengan Variasi Suhu Pembentukan Gel Dan Variasi Volume Natrium Silikat Dengan Natrium Aluminat (*Doctoral dissertation*, Riau University).
- Kamaruddin, M. H. Ibrahim, L. M. Thung, M. I. Emmanuel, N. M. Niza, A. M. H. Shadi. F. A. Norashiddin. (2019). Sustainable synthesis of pectinolytic enzymes from citrus and *Musa acuminata* peels for biochemical oxygen demand and grease removal by batch protocol. *Appl. Water Sci.* 9(4), pp. 1–10, doi: 10.1007/s13201-019-0948-2
- Kurniawan, A., S. Pratamaningtyas dan U. Sugiarti. (2017). Biodegradasi Surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) Oleh *Pseudomonas sp.* dari Ekosistem Irigasi Sekunder Tercemar Detergen di Kota Batu. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 11(1), 52-65.
- Maharani, M. dan Wesen, P. (2018). Degradasi Las dan Bod Dengan Proses Lumpur Aktif Menggunakan Kombinasi Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* Dan *Pseudomonas Putida*. *Jurnal Envirotek*. 9(2). doi:10.33005/envirotek.v9i2.1023.
- Murat, M., Anokrane, A., Bastide, J.P., and Montanaro L. (1992). *Synthesis of Zeolite from Thermally Activated*

- kaolinite*. Some Observations on Nucleation and Growth, *Clay Mineral*, 27.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang *Baku Mutu Air Limbah*, Kementerian LH, Jakarta.
- Pratamadina, E. dan Wikaningrum, T. (2022). Potensi Penggunaan Eco Enzyme pada Degradasi Detergen dalam Air Limbah Domestik. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(1), pp. 2722–2728. doi:10.32672/jse.v7i1.3881.
- Putra, R. P., Akbar, F., & Zultiniar, Z. (2014). Sintesa Zeolit 4A Dari Kaolin Menggunakan Proses Peleburan Dengan Variasi Perbandingan Volume Reaktan (*Doctoral dissertation*, Riau University).
- Sudiana, I. M. (2004). Peran Komunitas Mikroba Lumpur Aktif dalam merombakkan Detergen Alkilbenzena Sulfonat Linier Benzena Alkil Sulfonat. Jakarta: *Pusat Penelitian Biologi LIPI*
- Sulistiyawati, I. (2018). Potensi Isolat Bakteri Tanah Sawah Tercemar Limbah Detergen Dalam Mendegradasi Surfaktan Las. *Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers*. 14-15 November 2018, Purwokerto. pp. 32–41.
- Utomo, W.P. (2018). Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat dalam Air Limbah Laundry di Kawasan Keputih, Surabaya Menggunakan Karbon Aktif. *Akta Kimia Indonesia* 3(1), pp. 127–140.
- Wu, Z., Xie, J., Liu, H., Chen, T., Cheng, P., Wang, C., and Kong, D. (2018). Preparation, characterization, and performance of 4A zeolite based on opal waste rock for removal of ammonium ion. *Adsorption Science & Technology*, 36(9-10), 1700-1715.
- Zairinayati, Z. R., dan Shatriadi, H. (2019). Biodegradasi fosfat pada limbah laundry menggunakan bakteri konsorsium pelarut fosfat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(1), 57-61.