

Pengaruh Jenis Pengemban Katalis pada Degradasi Limbah Detergen dengan Menggunakan Reaksi Fenton Heterogen

Effect of Catalyst Carrier Type on Degradation of Detergent Wastewater Using Heterogeneous Fenton Reaction

Shinta Amelia*, Liya Yusrina Sabila, Mila Utami W, Ida Sriyana, Dita Rahmika Anjarwati

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Bantul, Yogyakarta, 55164, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 14 Juni 2024
Diterima dalam revisi 14 Agustus 2024
Diterima 18 Agustus 2024
Online 6 September 2024

ABSTRAK: Air adalah sumber kehidupan, namun menjadi masalah ketika kualitas dan kuantitasnya tidak sesuai standar. Salah satu penyebab pencemaran air yang perlu diperhatikan adalah limbah detergen yang mengandung Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) dan Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis pengemban katalis dalam proses degradasi ABS dan LAS menggunakan reaksi Fenton heterogen. Metode ini dipilih karena menggabungkan proses adsorpsi dan reaksi kimia, sehingga lebih efektif dalam mendegradasi limbah detergen. Prosedur penelitian diawali dengan persiapan katalis melalui pencampuran larutan besi nitrat ke dalam pengemban, lalu dilakukan uji degradasi katalis dengan pengambilan sampel secara berkala. Sampel dianalisis menggunakan metode MBAS SNI 06-6989.51-2005. Hasil penelitian menunjukkan, setelah 180 menit, degradasi ABS dengan karbon aktif mencapai 90,2% dan dengan zeolit 75,5%, sementara degradasi LAS dengan karbon aktif 42,15% dan dengan zeolit 30,85%. Karbon aktif lebih efektif dibandingkan zeolit dalam degradasi ABS dan LAS.

Kata kunci : detergen; fenton heterogen; zeolit; *activated carbon*.

ABSTRACT: Water is essential for life, but its quality and quantity become problematic when they do not meet standards. One major issue is water pollution, particularly from detergent waste, which contains harmful substances like Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) and Linear Alkyl Benzene Sulfonate (LAS). This study investigates the effect of catalyst carrier variations on the degradation of ABS and LAS using a heterogeneous Fenton reaction. The method is chosen for its combination of adsorption and chemical reaction, making it highly effective for degrading detergent waste. The process begins with catalyst preparation by mixing iron nitrate into the carrier, followed by degradation tests. Samples were analyzed using the MBAS SNI 06-6989.51-2005 method. Results show that after 180 minutes, ABS degradation reached 90.2% with activated carbon and 75.5% with zeolite, while LAS degradation was 42.15% with activated carbon and 30.85% with zeolite. This confirms that activated carbon is more effective for detergent degradation than zeolite. carbon carriers is more effective than zeolite carriers for ABS and LAS compounds.

Keywords: detergent; fenton heterogen; zeolite; *activated carbon*.

1. Pendahuluan

Sumber kehidupan bagi makhluk hidup adalah air. Air jumlahnya sangat melimpah. Sekitar 71% permukaan bumi ditutupi oleh air, namun hanya 2,5% air yang layak untuk dikonsumsi oleh manusia dan makhluk hidup lainnya

(Lestari, et al., 2023). Keberadaan air menjadi persoalan ketika secara kualitas dan kuantitas tidak sesuai dengan baku mutunya. Pencemaran air merupakan permasalahan yang perlu perhatian khusus. Salah satu contohnya adalah pencemaran air akibat limbah detergen. Limbah detergen hasil pencucian dapat menurunkan baku mutu perairan

* Corresponding author

Email Address: shinta.amelia@che.uad.ac.id

karena menimbulkan banyak busa yang mengganggu difusi oksigen dari udara. Secara tidak langsung berdampak pada keseimbangan ekologi perairan dan mengganggu kehidupan organisme perombak (Septiani, et al., 2023). Limbah detergen dapat dihasilkan dari aktivitas rumah tangga maupun industri laundry. Perkembangan industri laundry saat ini berkembang pesat. Hasil dari perkembangan industri dapat memberikan dampak positif dan juga negatif. Salah satu efek positif dari perkembangan industri laundry adalah peningkatan perekonomian masyarakat sedangkan dampak negatifnya adalah semakin banyak limbah detergen masuk ke perairan. Penggunaan deterjen pada usaha laundry dapat menghasilkan air limbah yang berpotensi mencemari air dan tanah (Fadlilah et al., 2023).

Air limbah yang dihasilkan dalam industri harus diolah terlebih dahulu, untuk memenuhi standar yang ditetapkan oleh Pemerintah. Limbah industri ini berbahaya jika masuk ke badan air karena dapat mengganggu aktivitas biota sungai (Morentera et al., 2023). pH menjadi parameter penting dalam proses pengolahan air limbah (Suharti, et al., 2019). Ciri-ciri limbah detergen yakni berbusa, berbau dan berwarna putih keruh (Suastuti, et.al., 2015). pH mungkin berperan penting dalam mekanisme degradasi limbah di lingkungan (Amelia, et.al., 2023). Standar baku mutu pH yakni 7 – 8,5 (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51, 2004) sedangkan keberadaan limbah detergen akan meningkatkan pH perairan > 8,5 sehingga dapat menurunkan kualitas perairan.

Limbah detergen termasuk polutan karena mengandung zat yang disebut disebut Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) dan Linier Alkyl Benzene Sulfonate (LAS). Senyawa LAS dan ABS adalah komponen aktif yang terdapat didalam detergen. Selain kandungan tersebut limbah detergen juga memiliki 3 komponen utama yaitu surfaktan, bahan builder (senyawa fosfat) dan bahan aditif (pemutih dan pewangi). Komponen-komponen aktif detergen tersebut bersifat toksik dan sulit terurai (Hendra et al., 2016). Senyawa ABS cenderung lebih mudah terurai dibandingkan LAS. (Fernianti, 2017).

Beberapa penelitian pengolahan limbah detergen antara lain dengan metode metode fotokatalis, metode fotodegradasi, dan metode fenton heterogen. Selain metode tersebut pengolahan limbah deterjen juga dapat dilakukan dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben, salah satu contoh adsorben yang baik yaitu karbon aktif karna memiliki luas permukaan yang tinggi (Adiastuti, et al., 2018). Adsorpsi menggunakan karbon aktif masih cukup mahal sehingga banyak peneliti menggunakan biomaterial sebagai adsorben. Selain mudah ditemukan, biayanya juga tergolong murah (Septiani, et al., 2023). Metode fotokatalis merupakan Fotodegradasi limbah cair laundry dilakukan dengan cara melihat absorbansi limbah pada panjang gelombang maksimum hal ini dilakukan menggunakan instrumen Spektrofotometri UV-Vis.

Menurut (Hendra et al., 2016) terkait fotodegradasi limbah detergen dihasilkan bahwa waktu optimum degradasi komponen aktif LAS dan ABS pada waktu 120 menit dengan persentase degradasi sebesar 70,27%. Penelitian lain dari (Maryani, et al., 2010) tentang pengaruh jenis katalis

dalam proses degradasi komponen aktif detergen diperoleh hasil terbaik dengan katalis TiO_2 sebesar 84,98%. Kebaharuan penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya terdapat pada metodanya, penelitian-penelitian terdahulu lebih banyak menggunakan metode fotokatalis untuk proses degradasi detergen. Metode fotokatalis selain menggunakan katalis juga membutuhkan sinar UV dalam proses degradasi sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif proses degradasi limbah detergen. Penelitian ini menggunakan metode fenton heterogen dan bertujuan untuk membandingkan jenis pengemban dalam efektivitas degradasi komponen aktif detergen (LAS dan ABS).

2. Metode Penelitian

2.1 Preparasi Zat Pengemban

Menumbuk zat pengemban (zeolite dan karbon aktif) lalu menscreening dengan ukuran mesh <100 *micrometer*. Mengoven 50 gram zeolit dan karbon aktif yang telah homogen untuk menghilangkan pengotor selama 1 jam dengan suhu 60 °C.

2.2 Preparasi Katalis Fe_2O_3

$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan 10 ml isopropil 0,09 M, lalu dibuat campuran impregnasi katalis $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dan zat pengembannya (zeolit dan karbon aktif) dengan mencampurkan 10 ml larutan besi nitrat ke dalam 5 gram zeolite dan 5 gram karbon aktif. Kemudian diaduk dengan ultrasonikator selama 1 jam. Campuran katalis yang telah homogen dikeringkan secara alami selama 24 jam. Campuran tersebut yang sudah kering dikalsinasi untuk menghilangkan NO_3 , pada suhu 300°C selama 3 jam.

2.3 Proses Preparasi Limbah Detergen

Larutan LAS dan ABS dengan konsentrasi 20 ppm dibuat dengan menimbang LAS dan ABS sebanyak 4 mg kemudian dilarutkan dengan aquades sampai volume sebanyak 200 ml.

2.4 Proses Degradasi pada LAS dan ABS

Proses degradasi dilakukan dengan menambahkan 10 ml H_2O_2 ke dalam larutan LAS dan ABS. Setelah itu katalis ditambahkan dengan variasi pengemban sebanyak 50 mg kedalam larutan LAS dan ABS. Melakukan pengadukan dengan magnetik stirer dengan kecepatan sedang 450 rpm, kemudian mengambil sampel per waktu dengan variasi 0, 5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, dan 180 menit. Sampel dianalisis dengan menggunakan metode MBAS SNI 06-6989.51-2005 persen removal dan kapasitas penyerapan surfaktan dari limbah detergen konsentrasi, adsorbansi diukur dengan *spektrofotometri UV-vis*, dengan larutan blanko aquadest.

2.5 Uji MBAS (*Methylene Blue Active Surfactant*)

Larutan sampel diambil sebanyak 5 ml kemudian dimasukkan ke dalam corong pemisah 250 mL. Larutan metilen biru ditambahkan sebanyak 5 mL. Kemudian ditambahkan larutan kloroform, sebanyak 2 ml dan kocok kuat selama 30 detik sekali-kali buka tutup corong untuk mengeluarkan gas. Corong pemisah digoyangkan secara perlahan-lahan hingga terjadi pemisahan fasa, Lapisan bawah dipisahkan kemudian ditampung di botol vial. Setelah itu ulangi kembali Langkah tersebut sebanyak 2 kali, kemudian kloroform disatukan dan diukur dengan Panjang gelombang 652 nm.

2.6 Analisis Spektrofotometri UV-Vis

Panjang gelombang optimum ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada Panjang gelombang 652 nm sampel pada selang waktu tertentu yaitu 0, 5, 15, 30, 45, 60, 90, 120, dan 180 menit kemudian diukur absorbansinya. Setelah didapatkan absorbansi setiap titik kemudian dibuatkan kurva hubungan absorbansi dengan waktu pengambilan sampel. Setelah itu, larutan baku dibuat untuk LAS dan ABS dengan konsentrasi 2, 4, 6, 8, 10, 16, dan 20 ppm dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 652 nm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kemudian dibuat kurva standar yang menyatakan hubungan konsentrasi dan absorbansi.

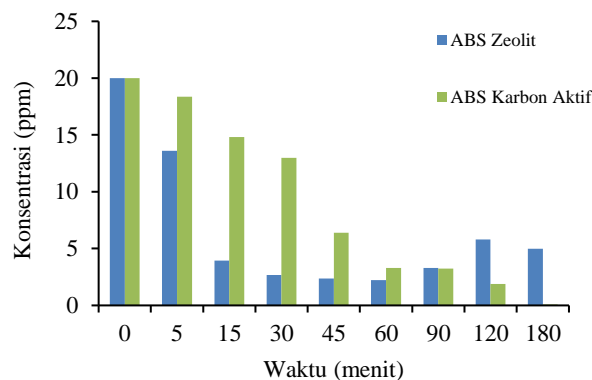
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proses Pembuatan Katalis

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Satuan Operasi Teknik Kimia Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan 2 jenis pengemban yaitu karbon aktif dan zeolit yang telah di aktivasi Fe 4% dengan penambahan H₂O₂, dan karbon aktif dan zeolit tanpa aktivasi. Ukuran karbon aktif dan zeolit yang digunakan yakni 100 mesh. Uji degradasi dilakukan dengan menambahkan katalis sebanyak 50 mg ke dalam larutan ABS atau LAS dengan konsentrasi 20 ppm. Pada interval waktu tertentu kemudian sampel diambil untuk di ujikan pada spektrofotometer UV-Vis.

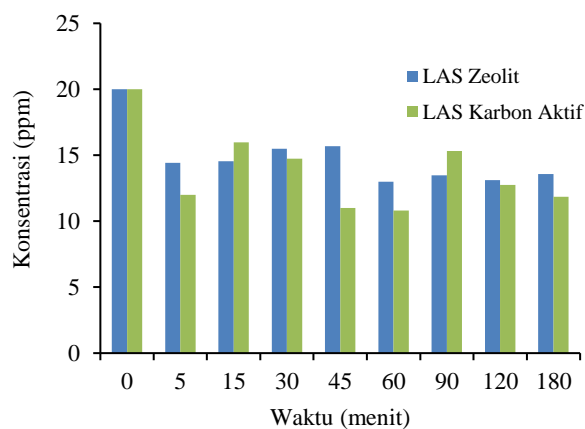
Penentuan panjang gelombang dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, kemudian untuk proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan beberapa variabel waktu. Hasil dari larutan LAS dan ABS yang diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan variasi waktu kemudian dicek nilai adsorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilainya adsorbansinya. Untuk panjang gelombang yang digunakan dalam uji spektrofotometer UV-Vis LAS dan ABS, panjang

gelombang yang digunakan yaitu 652 nm sesuai dengan metode MBAS SNI 06-6989.51-2005.



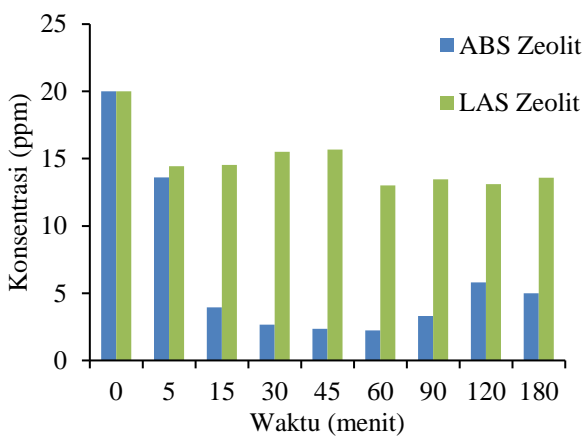
Gambar 1. Pengaruh Variasi Jenis Pengemban Katalis terhadap Degradasi ABS

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pada proses degradasi zeolit dan karbon aktif terimpregnasi Fe pada senyawa ABS menunjukkan nilai konsentrasi yang cenderung turun. Sifat oksidatif yang sangat kuat dari radikal hidroksil (*OH) yang dihasilkan dari hidrogen peroksida. Radikal hidroksil tersebut akan bereaksi dengan ion Fe untuk menguraikan senyawa ABS, sehingga kapasitas adsorpsi akan lebih besar. Karbon aktif lebih menunjukkan hasil penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan zeolit. Hal ini dapat disebabkan karena karbon aktif cenderung menjerap bahan organik, memiliki kerapatan yang rendah dan strukturnya yang lebih berpori sehingga lebih efektif dalam air limbah sintetik dibandingkan dengan zeolit yang cenderung lebih aktif untuk menjerap komponen polar dan kurang efektif untuk menjerap bahan organik (Oktavetri *et al.*, 2019).



Gambar 2. Pengaruh Variasi Jenis Pengemban Katalis terhadap Degradasi LAS

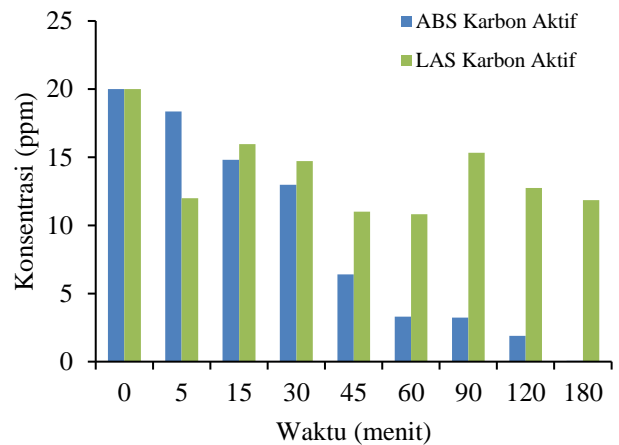
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada proses degradasi zeolit dan karbon aktif terimpregnasi Fe pada senyawa LAS menunjukkan nilai konsentrasi yang fluktuatif atau naik turun. Walaupun perbedaan konsentrasi antara zeolit/ Fe_2O_3 dan karbon aktif/ Fe_2O_3 tidak terlalu jauh, namun karbon aktif tetap menunjukkan hasil penurunan yang lebih baik dibandingkan dengan zeolit. Hal ini dapat disebabkan oleh karbon aktif cenderung menyerap bahan organik, memiliki kerapatan yang rendah dan strukturnya yang lebih berpori sehingga lebih efektif dalam air limbah sintetik dibandingkan dengan zeolit yang cenderung lebih aktif untuk menyerap komponen polar dan kurang efektif untuk menyerap bahan organik (Oktavetri *et al.*, 2019).



Gambar 3. Perbandingan proses Degradasi katalis Zeolit/ Fe_2O_3 pada ABS dan LAS

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses degradasi zeolit terimpregnasi Fe pada senyawa ABS dan LAS menunjukkan nilai konsentrasi yang cenderung menurun. Namun demikian, zeolit/ Fe_2O_3 pada ABS menunjukkan hasil penurunan yang cukup signifikan dibandingkan pada LAS. Hal ini dapat disebabkan karena struktur bercabang pada ABS yang lebih stabil dibandingkan dengan struktur linear pada LAS (Amelia *et al.*, 2020).

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada proses degradasi karbon aktif terimpregnasi Fe pada senyawa LAS menunjukkan nilai konsentrasi yaitu menurun dan naik pada variasi waktu 60 menit kemudian menurun kembali setelah variasi waktu 90 menit. Sedangkan pada senyawa ABS menunjukkan nilai konsentrasi yang menurun dari awal variasi waktu. Hal ini dapat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi Fe karena menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Amelia *et al.*, 2020) menunjukkan bahwa konsentrasi Fe 4% lebih baik diaplikasikan untuk senyawa ABS dibandingkan dengan senyawa LAS yang cenderung lebih baik di konsentrasi Fe 2%.



Gambar 4. Perbandingan proses Degradasi katalis Karbon Aktif/ Fe_2O_3 pada ABS dan LAS

Hal ini mungkin disebabkan karena pada proses degradasi dengan menggunakan Fe 2% dan 6% terjadi aglomerasi sehingga proses degradasi tidak dapat berjalan dengan sempurna, sedangkan pada konsentrasi Fe 4% katalis pada karbon aktif terdistribusi dengan sempurna sehingga lebih banyak ABS yang terdegradasi.

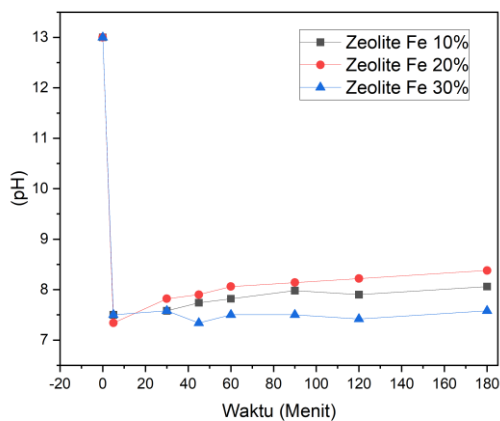
Distribusi oksida besi pada permukaan katalis merupakan aspek yang cukup penting dalam proses impregnasi oksida besi pada permukaan katalis. Distribusi logam yang merata pada permukaan katalis akan memaksimalkan proses degradasi detergen. Untuk jumlah komposisi besi yang sama, jika terjadi aglomerasi pada permukaan katalis maka jumlah detergen yang terdegradasi akan berkurang dibandingkan jika logam Fe dapat tersebar merata pada permukaan katalis. Hal ini dikarenakan permukaan aktif (*active site*) yang digunakan untuk mendegradasi detergen akan berkurang sehingga proses degradasi menjadi kurang efektif yang berakibat pada jumlah detergen yang terdegradasi menjadi lebih sedikit. Oleh karena itu distribusi logam pada permukaan katalis penting untuk diketahui. Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan katalis Karbon Aktif/ Fe_2O_3 dalam senyawa ABS ternyata lebih efektif untuk proses degradasi dibandingkan dengan karbon aktif/ Fe_2O_3 dalam senyawa LAS.

3.2 Hubungan pH LAS dan ABS dengan Zeolit Alam

Parameter kualitas air limbah detergen (limbah laundry) yang diuji antara lain pH (*power of Hydrogen*), *conductivity*, TDS (*Total Dissolved Solid*), dan surfaktan. Derajat keasaman (pH) merupakan parameter yang menunjukkan apakah larutan itu asam atau basa, melalui konsentrasi ion hidrogen. Air netral merupakan air yang layak untuk digunakan sedangkan air tercemar biasanya sudah berubah sifatnya seperti menjadi asam dan basa (Apriyanti, *et al.*,

2016). Dampak yang ditimbulkan dari penggunaan air bersifat asam bagi kesehatan yakni dapat menimbulkan gatal-gatal, diare, serta kulit bersisik (Suhendra, et al., 2012).

Berdasarkan hasil pengujian dan perbandingan diketahui bahwa nilai pH awal sebelum dilakukan treatment melebihi batas baku mutu yang ditetapkan. Namun terjadi perubahan yang signifikan setelah dilakukan perlakuan menggunakan katalis zeolite dan karbon aktif. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

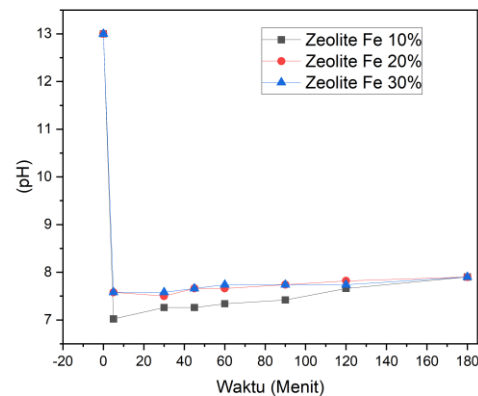


Gambar 5. Pengaruh pH LAS dengan Zeolit Alam

Berdasarkan gambar 5 penggunaan Zeolit pada LAS dengan konsentrasi Fe_2O_3 10%, 20% dan 30% relatif menunjukkan reaksi yang sama, dimana penurunan kadar pH yang paling optimum terjadi pada masa waktu kontak 5 menit. Penurunan kadar pH paling tinggi terjadi pada konsentrasi 20% sebesar 7,34. Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan semakin lama waktu kontak maka limbah LAS akan semakin basa, hal ini dibuktikan dengan adanya kenaikan kadar pH pada waktu kontak 30 menit.

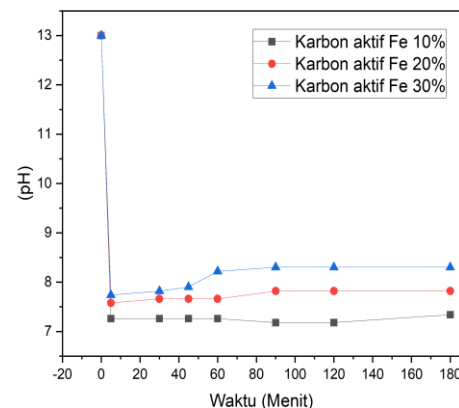
Sedangkan pada gambar 6 terjadi penurunan pH, pada pengukuran nilai pH menggunakan katalis Fe_2O_3 /Zeolit Alam dengan konsentrasi 10%, 20% dan 30% diketahui kadar pH sebelum dilakukan treatment yaitu 13,0 namun setelah dilakukan treatment menggunakan Katalis zeolite alam terjadi penurunan yang cukup drastis. dapat dilihat pada gambar penurunan paling optimum terjadi pada waktu kontak (waktu pengadukan) 30 menit, penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi Fe 10% sebesar 7,26. Hal ini dikarenakan senyawa LAS dan ABS yang merupakan komponen aktif detergen teradsorpsi dan bereaksi di permukaan zeolite yang membuat kondisi limbah menjadi netral (Sumarli, 2016). Hal ini juga terjadi pada penelitian (Rahayu, 2015) dimana zeolite dapat menetralkan pH air

limbah.



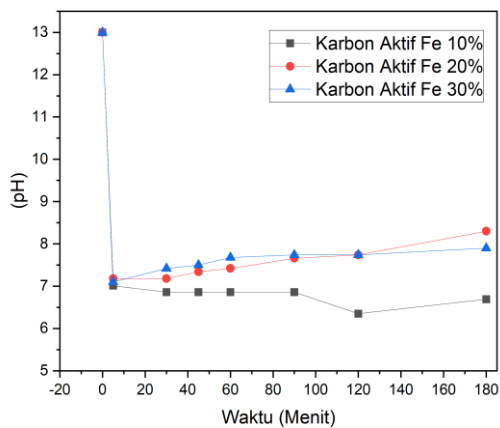
Gambar 6. Pengaruh pH ABS dengan Zeolit Alam

3.3 Hubungan pH LAS dan ABS dengan Karbon Aktif
Keberadaan detergen dan pewangi yang bersifat basa dapat meningkatkan nilai pH diperairan. Hal tersebut dapat dilihat pada pH awal di titik 0 menit.



Gambar 7. Pengaruh pH LAS dengan Karbon Aktif

Berdasarkan Gambar 7 dan 8 dapat diketahui bahwa penggunaan katalis karbon aktif pada limbah LAS dan ABS presentase penurunan tertinggi terjadi pada konsentrasi 10% dengan waktu kontak 120 menit yaitu sebesar 7,18 (LAS) dan 6,35 (ABS). Nilai pH yang turun terjadi karena adanya zat organik yang teradsorpsi dan bereaksi didalam pori-pori pada karbon aktif yang sudah teraktivasi akan mendegradasi senyawa tersebut sehingga akan mempengaruhi jumlah ion hidrogen didalam air yang ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai pH.



Gambar 8. Pengaruh pH ABS dengan Karbon Aktif

Karbon aktif mampu menurunkan nilai pH karena dapat menyerap anion yang terdapat pada limbah LAS dan ABS tersebut sehingga kandungan OH⁻ yang berasal dari kandungan detergen berkurang. Menurut riset terdahulu tingginya nilai pH diakibatkan oleh muatan hidroksida (OH⁻) yang berasal dari komponen pembuat detergen. (Pisceselia, 2016).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dibahas diatas, maka dapat disimpulkan bahwa degradasi menggunakan karbon aktif pada senyawa ABS maupun LAS dalam 20 ppm mencapai penurunan konsentrasi yang lebih efektif dibandingkan dengan zeolit dalam senyawa ABS maupun LAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Fe sangat berpengaruh dalam proses degradasi limbah baik LAS maupun ABS dalam zeolit ataupun karbon aktif. Saran pengembangan penelitian kedepan adalah perlu dilakukan uji *performance* katalis untuk mengetahui umur katalis dalam proses degradasi limbah detergen dengan proses fenton heterogen.

Daftar Pustaka

Adiastuti, Fany Eka., & Afany, M.R. (2018). Kajian Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Metode Adsorpsi Karbon Aktif serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Azolla. 15(1), 1-10. ISSN: 1411-5719.

Amelia, S., Rahmadani, W., Amalia, L.R., & Mufrodi, Z. (2020). Degradation of surfactant waste of leather tanning using Fe₂O₃/activated carbon catalyst. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 32(2), 49-58. doi: 10.20543/mkcp.v35i2.5607.

Amelia, S., Jamilatun, S., Shitopyta, L. M., Maryudi, M., W, M. U., & Sriyana, I. (2023). Degradasi Limbah Detergen dengan Metode Fotokatalis Menggunakan TiO₂ / Silica Gel. *Eksergi*, 20(3), 131.

Apriyanti, E, Ihwan, A., & Ishak, M. (2016). Analisis Kualitas Air di Parit Besar Sungai Jawi Kota Pontianak. *Prisma Fisika*, 4(2), 101-108. ISSN : 2337-8204.

Badan Pusat Statistik. (2021). Jumlah Pencemaran Perairan di Indonesia. Retrieved from Badan Pusat Statistik.

Fadlilah, I., Triwuri, N.A., & Pramita, A. (2023). Pemanfaatan Karbon Aktif Kulit Pisang Kepok dan Karbon Aktif Tempurung Nipal sebagai Biosorben untuk Pengolahan Limbah Cair Laundry. *Jurnal Eksergi*, 20(2), 118-123.

Fernianti, Dewi. (2017). Pengaruh Jenis Detergen dan Rasio Pegenceran Terhadap Proses Penyerapan Surfaktan dalam Limbah Detergen Menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Teh. *Jurnal Distilasi*, 2(2), September 2017, 10-14.

Hendra, H., Barlian, E., Razak, A., & Sanjaya, H. (2016). Photo-Degradation of Surfactant Compounds Using Uv Rays With Addition of Tio₂ Catalysts in Laundry Waste. *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), 59. doi: 10.31958/js.v7i1.126.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (KLH). (2004). Baku mutu air laut untuk biota laut. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. KLH. Jakarta.

Lestari, I., Ristianingsih, Y., Istiani, A., & Anasstasia, T.T. (2023). Studi Isoterm Adsorpsi dan Termodinamika Pada Proses Penyisihan Ion Fe (III) Menggunakan Pektin dari Kulit Pisang. *Jurnal Eksergi*, 20(3), 184-180.

Maryani, Y., Kustiningsih, I., & Nufus, H. (2010). Uji Aktivitas Beberapa Katalis pada Proses Degradasi Senyawa Aktif Deterejen Secara Fotokatalisis. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 15(1), 4-5.

Morentera, B.G., Wahyuningsih, S., & Sudarni, A. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Kontak dan Dosis Adsorben Fly ash Teraktivasi NaOH Terhadap Adsorpsi Metilen Biru. *Jurnal Eksergi*, 19(3), 104-109.

Oktavetri, N. I., Kuncoro, E., Hayati, M., Purnobasuki, H. (2019). Enhance Biogas Production From Anaerobic Reactor Using Combination Activated carbon and zeolite as media for ammonia removal. *Journal Ecology, Environment and Conservation*, 25(4).

Pisceselia, D.F. 2016. Pengolahan Limbah Laundry dengan Proses Elektrokoagulasi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya. Thesis.

Rahayu, A., Masturi, & Yulianti, I. (2015). Pengaruh Perubahan Massa Zeolit terhadap Kadar pH Limbah Pabrik Gula melalui Media Filtrasi. *Jurnal MIPA Universitas Negeri Semarang*, pp. 123-127 Carbon And Zeolite as Media For Ammonia Removal', 25, 24–31.

Sanjaya, H. (2013). Fotodegradasi Surfaktan Linear Alkyl Sulfonat (LAS) Menggunakan Sinar UV 254 nm dengan bantuan ZnO Sebagai Katalis. *Jurnal Sainstek Universitas Gorontalo*, 3(2), 23–29.

Septiani, M., Darajat, Z., Arham Yunus, M., Assumpta Nogo Ole, M., Fikri Ilma Jurusan Teknik Kimia, Z., Negeri Ujung Pandang, P., Selatan, S., Jurusan Teknik Kimia, I., Tinggi Teknologi Industri Bontang, S., & Timur, K. (2023). Kajian Isoterm Adsorpsi Linear Alkilbenzena Sulfonate (LAS) dalam Limbah Cair Detergen

- Menggunakan Biosorben Ampas Kopi dan Ampas Kelapa Study of Linear Alkylbenzena Sulfonate (LAS) Adsorption Isotherms in Detergent Wastewater Using Coffee Grounds and Coc. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 20(2), 2460–8203.
- Suastuti, Ni G. A. M Dwi Adhi., Suarsa, I. W., & Putra, D.K. (2015). Pengolahan Larutan Deterjen dengan Biofilter Tanaman Kangkungan (*Ipomoea Crassicaulis*) dalam Sistem Batch (curah) Teraerasi. *Jurnal Kimia* 9 (1) ISSN, 1907-9850.
- Suharti, P. H., & Sa'diyah, K. (2019). Aplikasi Tuning Metode Cohen-Coon pada Pengendali pH di Tangki Netralisasi, *Unit Pengolahan Limbah. Eksergi*, 16(2), 35.
- Suhendra, D.S., I. Marsaulina dan D.N. Santi. (2012). Analisis Kualitas air Gambut dan Keluhan Kesehatan pada masyarakat di Dusun Pulo Gambut Tahun 2012. Departemen Kesehatan Lingkungan Fakultas Kesehatan Masyarakat. Universitas Sumatra Utara.
- Sumarli, Yulianti, I., Masturi, & Munawaroh, R. (2016). Pengaruh Variasi Massa Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Pabrik Pakan ternak Melalui Filtrasi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*.