

**KOMBINASI AOPS (ADVANCED OXIDATION PROCESSES)
FOTOKATALIS – FOTOFENTON DALAM MENDEGRADASI
SURFAKTAN LAS (LINIER ALKYL BENZENE SULFONATE)
PADA LIMBAH LAUNDRY**

Mochamad Nur Rizki dan Tuhu Agung R

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: tuhu.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Detergen pada industri laundry memiliki fungsi sebagai bahan efektif untuk membersihkan kotoran pakaian. Kandungan detergen terdiri dari bahan non biodegradable seperti surfaktan LAS (Linear Alkyl benzene Sulfonate) berfungsi untuk melepaskan kotoran yang menempel permukaan pakaian. Metode yang potensial dan telah dilakukan untuk mengurangi kadar surfaktan LAS adalah menggunakan metode AOPs fotokatalis - fotofenton. Penelitian ini mempunyai tahapan yakni penelitian pendahuluan pretreatment dan selanjutnya ke penelitian utama secara batch. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui proses optimum dari pengolahan limbah laundry dengan metode kombinasi fotokatalis – fotofenton yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti semikonduktor TiO_2 , reagen fenton, pH, dan waktu kontak reaksi dalam menghasilkan produk radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi bahan organik surfaktan LAS menjadi produk bahan yang biodegradable. Penelitian ini menggunakan peubah variasi dosis ratio molar reagen fenton $FeSO_4 : H_2O_2$ (1:1 ; 1:10 ; 1:20 ; 1:30 ; 1:40) dan kondisi limbah pengaturan pH (3 dan pH asli). Berdasarkan penelitian didapatkan hasil terbaik dosis ratio molar optimum ($FeSO_4 : H_2O_2$) 1:40 untuk parameter LAS sebesar 97 - 99 % pada pH 3 dan 94 - 99 % pada pH Asli (8,3).

Kata kunci: Surfaktan Deterjen, TiO_2 , $FeSO_4 : H_2O_2$, pH

ABSTRACT

Detergent in the laundry industry has a function as an effective ingredient for cleaning clothes dirt. The detergent content consists of non-biodegradable materials such as LAS (Linear Alkyl benzene Sulfonate) surfactant which functions to release impurities that stick to the surface of clothes. A potential method that has been carried out to reduce levels of LAS surfactants is to use the photocatalyst AOPs - photo fenton methods. This research has stages, namely pretreatment preliminary research and then to the main research by batch. The purpose of this research was to determine the optimum process of laundry wastewater treatment using the photocatalyst - photofenton combination method which is influenced by several factors such as TiO_2 semiconductor, fenton reagent, pH, and reaction contact time in producing hydroxyl radical products that can oxidize LAS surfactant organic matter into products materials that are biodegradable. The research used a variable dose variation of the molar ratio of reagent fenton $FeSO_4 : H_2O_2$ (1:1 ; 1:10 ; 1:20 ; 1:30 ; 1:40) and pH adjustment waste conditions (3 and original pH). Based on the research, the best results obtained the optimum molar ratio dose ($FeSO_4 : H_2O_2$) 1:40 for LAS parameters of 97 - 99% at pH 3 and 94 - 99% at the original pH (8.3).

Keywords: Detergent surfactant, TiO_2 , $FeSO_4 : H_2O_2$, pH

PENDAHULUAN

Industri *laundry* merupakan salah satu jasa yang telah berkembang dan didorong masyarakat menginginkan hal yang dilakukan praktis dan cepat seperti dalam pencucian pakaian. Bahan baku dari proses *laundry* adalah bahan detergen yang memiliki fungsi sebagai bahan efektif untuk membersihkan kotoran pakaian. Kandungan detergen terdiri dari *surfaktan* seperti LAS (*Linear Alkyl benzene Sulfonate*) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan air sehingga dapat melepaskan kotoran yang menempel permukaan bahan.

Keberadaan limbah detergen di perairan terdegradasi secara aerobik membutuhkan waktu lama secara alami sekitar 9 hari dan hanya mencapai 50% (Purnamasari, 2014). Metode yang potensial dan telah dilakukan untuk mengurangi kadar surfaktan LAS adalah menggunakan metode AOPs (*Advanced Oxidation Process*). AOPs adalah metode pengolahan air dengan melibatkan pembangkitan radikal hidroksil yang dapat mengubah polutan menjadi substansi yang biodegradable (Deng et al., 2015; Palwaguna, 2017). Salah satu metode AOPs adalah metode fotokatalis. Pada penelitian (Darmawan, 2019) telah membuktikan bahwa proses degradasi limbah *laundry* dengan fotokatalis dapat mendegradasi sebesar 85 % LAS. AOPs dapat dikombinasikan seperti metode AOPs fotokatalis dengan fotofenton (Palwaguna, 2017). Hal ini bertujuan meningkatkan laju dari oksidasi senyawa organik sehingga kombinasi tersebut menghasilkan efisiensi proses yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah dari efisiensi AOPs fotokatalis saja. Menurut (Saharan et al., 2014), intensitas cahaya, jenis semikonduktor, rasio molar reagent fenton yang sesuai dan penyesuaian pH merupakan variabel faktor penting dalam mencapai kinerja optimal dari kombinasi fotokatalis – foto fenton.

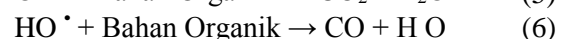
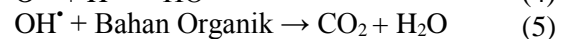
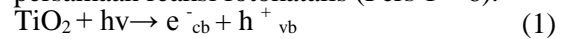
Karakteristik Limbah Laundry

Limbah hasil industri *laundry* berasal dari pemakaian detergen. Limbah detergen mengandung surfaktan *nonbiodegradable*. Limbah detergen termasuk polutan bagi lingkungan dikarenakan mengandung surfaktan. Surfaktan merupakan komponen utama dalam detergen memiliki rantai kimia yang sulit didegradasi oleh alam (Apriyani, 2017). Jenis surfaktan yang sering dipakai adalah *Linear Alkylbenzene Sulfate*

(LAS). Peningkatan surfaktan LAS dapat meningkatkan beban COD di perairan. Hal ini dikarenakan LAS termasuk bahan organik dan keberadaan surfaktan deterjen LAS yang tidak diolah di perairan sangat berbahaya, seperti bersifat karsinogen, menimbulkan bau dan menyebabkan proses eutrofikasi yang berupa pertumbuhan tidak terkendali bagi enceng gondok. Dampak lain yang disebabkan limbah detergen adalah pendangkalan sungai akibat proses eutrofikasi (Maryani et al., 2010) dan munculnya buih di permukaan perairan sehingga dapat mengganggu pelarutan oksigen dalam air.

AOPs Metode Fotokatalis

AOPs fotokatalis merupakan ketika semikonduktor (TiO_2) diiradiasi dengan energi cahaya ($h\nu$) sehingga terbentuk radikal hidroksil yang mampu mendegradasi bahan organik dan anorganik (Loddo et al., 2018). Proses mekanisme fotokatalis adalah semikonduktor (TiO_2) memiliki pita valensi (vb) dan pita konduksi (cb) dipisahkan oleh celah energi yang disebut celah pita (Eg). Saat cahaya cukup energi diiradiasi pada permukaan semikonduktor, maka elektron (e^-) pada pita valensi akan memiliki energi yang cukup besar untuk dapat berpindah atau tereksitasi ke pita konduksi dan meninggalkan lubang positif (h^+) pada pita valensi (Pers 1) (Agustina et al., 2016; Mishra et al., 2020). Berikut adalah persamaan reaksi fotokatalis (Pers 1 – 6).



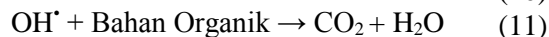
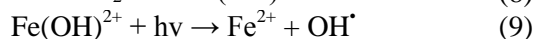
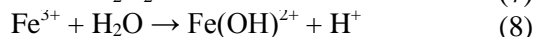
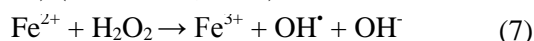
Pasangan hole (h^+) dan elektron (e^-) dapat bergabung kembali atau bereaksi (*recombination*). Ketika ada molekul yang bias bertindak sebagai akseptor elektron seperti oksigen, dapat bereaksi dengan elektron menjadi produk ion superoksida ($\text{O}_2^{\cdot -}$) dan menyebabkan reaksi redoks. Proses tersebut bertujuan untuk menghindari proses *recombination* (Pers 2) (Mishra et al., 2020; Ortiz et al., 2019). Sifat oksidator kuat yang dimiliki oleh semikonduktor akan memiliki sejumlah besar *hole* (h^+) yang akan menyerang air (H_2O) yang melekat pada permukaan semikonduktor sehingga mengarah pada pembentukan radikal hidroksil (OH^{\cdot}) (Pers 3) (Agustina et al., 2016; Ortiz et al., 2019). Pada (Pers 4) ion superoksida ($\text{O}_2^{\cdot -}$) bereaksi dengan

hidrogen (H^+) membentuk produk oksidasi radikal hidroperoksil (HO_2^*). (Saharan et al., 2014).

Radikal hidroksil (OH^*) dan radikal hidroperoksil (HO_2^*) merupakan pengoksidasi kuat yang dapat mengoksidasi zat organik menjadi air, asam mineral, dan karbon dioksida (Khan et al., 2020; Ortiz et al., 2019; Saharan et al., 2014). Penggunaan semikonduktor titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu katalis yang sering digunakan pada proses fotokatalis karena TiO_2 bersifat tidak beracun, harga TiO_2 yang murah dan mudah untuk didapatkan, selain itu TiO_2 juga bisa digunakan kembali dikarenakan tidak larut dengan air (*reuse*) (Agustina et al., 2016; Mishra et al., 2020).

AOPs Metode Foto Fenton

AOPs metode foto fenton adalah reaksi antara 3 elemen secara bersamaan antara fotolisis dengan reaksi fenton yaitu hidrogen peroksida dengan ion besi Fe^{2+} menghasilkan radikal hidoksil yang dapat mengoksidasi senyawa organik maupun anorganik (Babuponnusami et al., 2014; Ortiz et al., 2019). Proses fotofenton, radiasi UV akan meningkatkan produksi radikal hidroksil OH^* melalui beberapa tahap siklus reaksi katalitis dari ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} dengan hidrogen peroksida (Palwaguna, 2017). Berikut adalah mekanisme proses foto fenton (Pers 9 – 13) (Khan et al., 2020).



Reaksi fotofenton efisien ketika pH sekitar 3,0 ketika ion $Fe(OH)^{2+}$ terbentuk adalah bentuk dominan ion Fe^{3+} . $Fe(OH)^{2+}$ akan bereaksi pada cahaya membentuk sebuah reaksi yang *circle* menghasilkan radikal hidroksil dan regenerasi Fe^{2+} yang memainkan peran penting dalam proses foto fenton (Khan et al., 2020). Radikal hidroksil tambahan dihasilkan pada reaksi fotolisis H_2O_2 . Radikal hidroksil akan mengoksidasi bahan organik menjadikan produk sampingan CO_2 , air, dan asam mineral (Saharan et al., 2014).

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Air limbah *laundry*, TiO_2 (Merck), H_2O_2 60%, $FeSO_4$, H_2SO_4 , PAC (*Poly Aluminium Chloride*).

Alat Penelitian :

Lampu Submersible UV C 11 Watt x 2 merek Takari, Pompa Submersible Merek Kiyosaki sp 1200, Aluminium Foil, Kasa aluminium, Reaktor fotokatalis dari kaca (tebal 0,5 cm), Dimensi Reaktor 30 x 25 x 25 cm^3 (P x L x T), pH meter, Timbangan Digital.

Variabel Tetap

- Berat Katalis TiO_2 = 3 gram/100 ml
- Lampu UV C = lampu UV C 11 W merek Takari x 2 buah
- Dimensi Reaktor = (30 x 25 x 25) cm^3
- Volume Sampel = 12 liter
- Jarak Paparan UV = 10 cm
- Luas Kasa Total = 16 x 30 cm^2
- Pompa submersible = sp 1200 (2 buah)
- Konsentrasi H_2O_2 = 30 %

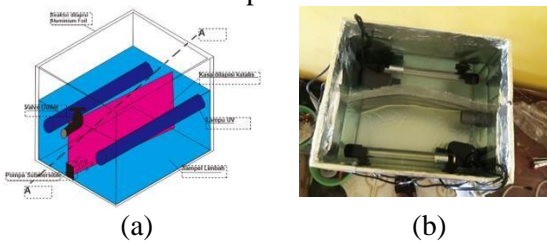
Variabel Bebas

- Waktu Pemaparan (Menit) = (10 ; 30 ; 60 ; 120 ; 240)
- Rasio Molar $FeSO_4 : H_2O_2$ = (1:1 ; 1:10 ; 1:20 ; 1:30 ; 1:40)
- pH = pH Asli Limbah dan pH 3

Prosedur Kerja

- Pengambilan sampel limbah *laundry* dari effluent proses pencucian *laundry*.
- Pembuatan Reagent Fenton
Reagen Fenton berasal dari larutan H_2O_2 60% yang diencerkan 30% dan $FeSO_4$ sesuai variabel tetap. Selanjutnya dalam, memvariasikan rasio $FeSO_4 : H_2O_2$ dosis H_2O_2 jumlahnya diketahui dari kebutuhan H_2O_2 berdasarkan karakteristik COD dari sampel limbah *laundry*. Menurut (Kang et al., 2000) dalam (Arya, 2019; Tamas, 2017) H_2O_2 secara teoritis berkisar 2,12 mg/l untuk mengoksidasi 1 mg/l BOD/COD.
- Persiapan Reaktor
Persiapan reaktor berbahan kaca bentuk balok terbuka dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 25 cm dan tinggi 25 cm terbuat yang memiliki ketebalan 0,5 cm. Penutup terbuat aluminium foil sesuai dengan panjang dan lebar reaktor. Reaktor dilapisi aluminium foil pada bagian sisi reaktor. Pemasangan lampu UV C sebagai pengganti foton dan pompa submersible 2 buah terpasang bagian dalam reaktor berlawanan arah agar didapatkan aliran di dalam reaktor.
- Proses Pelapisan Katalis TiO_2
Persiapan kasa aluminium dipasangkan di tengah reaktor, kasa aluminium terlapisi dengan katalis semikonduktor TiO_2 yang

- dilarutkan 100 mL ,sehingga terbentuk lapisan film pada kasa aluminium.
- Penyesuaian pH Asam limbah sesuai dengan variabel bebas menggunakan penambahan H₂SO₄.
 - Pengambilan Sampel
Running reaktor sesuai perlakuan variabel. Kemudian, untuk mengambil titik sampel sebesar 500 mL pada effluent reaktor dan diendapkan selama 2 jam yang selanjutnya, diambil 200 mL sampel ke dalam wadah botol plastik dengan disimpan pada suhu 4°C untuk dianalisis parameter LAS



Gambar -1: Desain (a) dan Reaktor (b) Kombinasi Fotokatalis – Fotofenton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Pendahuluan (Pretreatment)

Proses *pretreatment* dilakukan untuk menyisihkan beban pencemar TSS dalam limbah *laundry*. Bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja proses fotokatalis – fotofenton yang membutuhkan bantuan paparan energi cahaya. Partikel tersuspensi dapat mempengaruhi paparan cahaya UV C yang dapat menghambat paparan energi ke reaksi fotokatalis–fotofenton. Sehingga, menyebabkan pengaruh proses pembentukan radikal hidroksil. proses *pretreatment* menggunakan metode koagulasi - flokulasi. Pada proses ini hal pertama dilakukan membuat dosis koagulan yang optimum pada limbah *laundry* dengan menggunakan metode uji jar test serta menganalisis parameter TSS yang bertujuan untuk melihat dosis koagulan yang paling optimum dari penurunan TSS.

Dosis optimum akan dipakai untuk proses penelitian pendahuluan dengan proses *pretreatment*. Koagulan yang dipakai adalah PAC (*Poly Alluminium Chloride*). Berikut adalah tabel penurunan TSS untuk melihat dosis koagulan yang optimum.

Tabel -1: Penurunan TSS Berdasarkan Dosis Koagulan

Dosis Koagulan	Hasil TSS (mg/L)
0 ppm	240

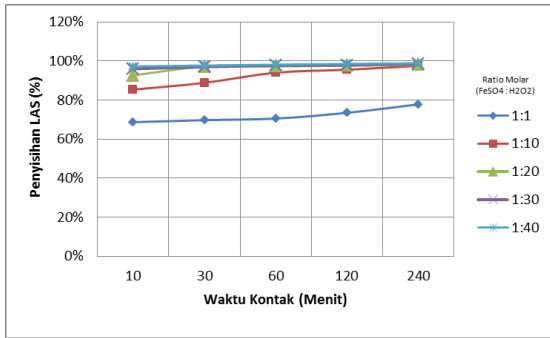
50 ppm	180
100 ppm	140
150 ppm	100
200 ppm	40
250 ppm	20

Berdasarkan tabel 1 bahwa dosis koagulan optimum dalam penurunan senyawa TSS adalah 250 ppm dengan hasil TSS 20 mg/l. Dosis koagulan semakin tinggi maka partikel tersuspensi banyak terikat dengan koagulan yang akan membentuk endapan flok yang akan turun secara gravitasi (sedimentasi). Dengan demikian dosis koagulan yang digunakan untuk proses pre treatment adalah 250 ppm.

Penelitian Utama

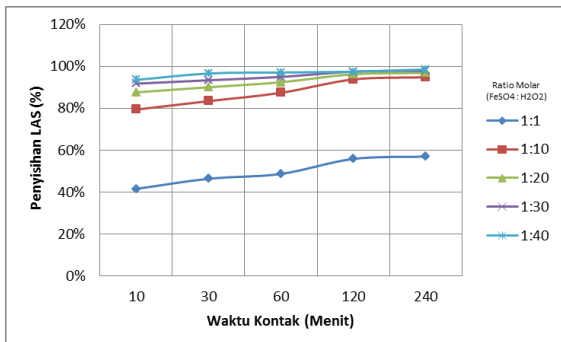
Penelitian utama dimulai dengan menghitung kebutuhan H₂O₂ dan FeSO₄ sebagai reagen fenton. Penentuan kebutuhan reagen fenton H₂O₂ dan FeSO₄ dihitung dengan menentukan kebutuhan H₂O₂ terlebih dahulu. Reagen fenton pada prosesnya dipengaruhi jumlah penambahan konsentrasi H₂O₂ dan Konsentrasi Fe²⁺ (Saharan et al., 2014). Perhitungan dosis menggunakan rumusan dari (Kang et al., 2000) dalam (Arya, 2019; Tamas, 2017) untuk menentukan perbandingan H₂O₂ mengoksidasi 1 mg/L COD dibutuhkan 2,12 mg/L H₂O₂. Penentuan rasio molar H₂O₂ didapat dengan cara mendapatkan molaritas H₂O₂ yang sesuai dengan kondisi kadar COD limbah *laundry*. Hasil analisa awal didapatkan hasil kadar COD sebesar 935,67 mg/l dan LAS sebesar 36,29 mg/l. Perbandingan rasio molar H₂O₂ ditetapkan untuk mengetahui jumlah penambahan FeSO₄.

Hasil penelitian utama pada kondisi pH 3 menjelaskan bahwa penambahan ratio molar 1:1 didapatkan hasil terendah yaitu dengan hasil 10 menit awal sebesar 69% dan berjalan naik secara konstan sampai penyisihan LAS sebesar 78% pada menit 240. Hasil penyisihan puncaknya sebesar 85 % pada ratio molar 1:10 yang memiliki selisih efisiensi sebesar 16% dan diikuti penambahan dosis 1:20 ; 1:30 ; 1:40 sampai dengan 93%, 96% , 97% pada 10 menit awal yang menunjukkan kenaikan grafik yang konstan sampai 4% (**Grafik -1**).



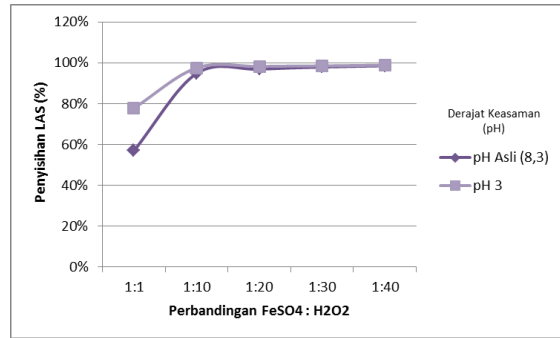
Grafik -1: Hubungan Antara Penyisihan LAS (%) dengan Waktu Kontak (Menit) Pada Ratio Molar Dosis Reagen Fenton ($\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$) Kondisi Limbah pH 3

Hasil penelitian utama pada kondisi pH Asli 8,3 menjelaskan bahwa penambahan ratio molar 1:1 didapatkan hasil terendah yaitu dengan hasil waktu kontak 10 menit awal sebesar 42% dan berjalan naik secara konstan sampai penyisihan LAS sebesar 57% pada waktu kontak menit 240. Hasil penyisihan mengalami puncaknya sebesar 79% pada ratio molar 1:10 yang memiliki selisih efisiensi sebesar 22 % dan diikuti penambahan dosis 1:20 ; 1:30 ; 1:40 sampai dengan 88%, 92% , 94% pada 10 menit awal menunjukkan kenaikan grafik yang konstan sampai 6% (**Grafik -2**).



Grafik -2: Hubungan Antara Penyisihan LAS (%) dengan Waktu Kontak (Menit) Pada Ratio Molar Dosis Reagen Fenton ($\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$) Kondisi Limbah pH 3

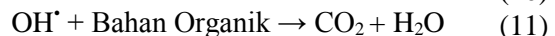
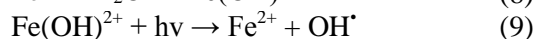
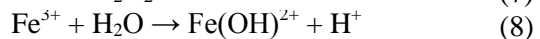
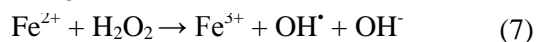
Hasil penyisihan LAS pada kondisi limbah pH 3 memiliki persentase yang tinggi dibandingkan pH asli (8,3) pada setiap penambahan dosis ratio molar ($\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$) (**Grafik -3**). Kondisi pH 3 merupakan kondisi optimal terhadap penambahan garam besi Fe^{2+} mempercepat dekomposisi H_2O_2 . Sehingga terbentuk radikal hidroksil yang mengoksidasi surfaktan LAS. Surfaktan LAS memiliki struktur benzene akan dipecah struktur rantainya oleh radikal hidroksil sehingga menjadi hasil produk akhir sampingan air, CO_2 dan asam mineral Na^+ (**Gambar -2**).



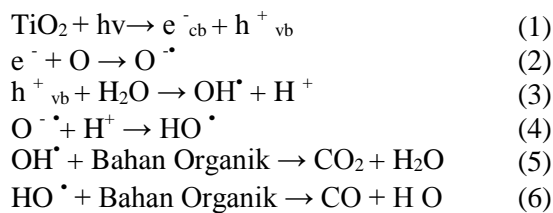
Grafik -3: Hubungan Antara Hasil Penyisihan LAS (%) Pada Variasi ratio Molar ($\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$) Saat Kondisi pH 3 dan pH Asli (8,3) dengan Waktu Kontak 240 Menit

Penambahan dosis ratio molar H_2O_2 mempengaruhi peningkatan pada grafik persentase penyisihan LAS secara konsisten pada setiap penambahan dosis ratio molar. Hal ini dikarenakan konsentrasi hidrogen peroksida H_2O_2 mempengaruhi pembentukan radikal hidroksil yang semakin banyak sehingga dapat dengan cepat dan memiliki pengaruh besar dalam mengurangi parameter surfaktan LAS secara signifikan.

Kondisi basa pada limbah asli *laundry* pH 8,3 menunjukkan bahwa penyisihan lebih rendah dari pada kondisi limbah *laundry* pH 3 saat penambahan dosis ratio 1:1 dengan waktu kontak menit 240 (57% : 78%). Hal ini dikarenakan pada proses reaksi foto fenton ketika pH sekitar 3,0 terjadinya ion $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ terbentuk adalah bentuk dominan ion Fe^{3+} . $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ bentuk dominan dari Fe^{3+} akan bereaksi dengan bantuan energi foton / cahaya dari lampu UV C membentuk sebuah reaksi yang *circle* menghasilkan radikal hidroksil dan regenerasi Fe^{2+} yang memainkan peran penting dalam proses foto fenton (Khan et al., 2020). Kondisi pH yang basa (Saharan et al., 2014) berpendapat bahwa penyebab menurunkan laju dekomposisi H_2O_2 dalam larutan adalah kondisi basa dapat membuat pembentukan Fe^{2+} terhambat dengan buffer yang menghambat pembentukan radikal hidroksil dan terjadinya percepatan pembentukan endapan flok *ferric oxyhydroxides* ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), yang menghambat regenerasi ion ferrous Fe^{2+} . Proses mekanisme proses fotofenton persamaan adalah sebagai berikut (Khan et al., 2020) :



Pada pembentukan radikal hidroksil OH[•] pada kombinasi juga dipengaruhi proses dari tahapan proses fotokatalis. Pada tahapan ini mekanisme proses fotokatalis terbentuk ketika semikonduktor TiO₂ diiradiasi dengan energi cahaya UV (*hν*) maka spesies radikal yang sangat reaktif, dihasilkan dengan adanya O₂ dan H₂O, dapat menginduksikan berbagai macam reaksi oksidasi foto kimia yang mampu mendegradasi bahan organik dan anorganik (Loddo et al., 2018). Proses mekanisme fotokatalis dalam pembentukan radikal hidroksil adalah persamaan sebagai berikut :



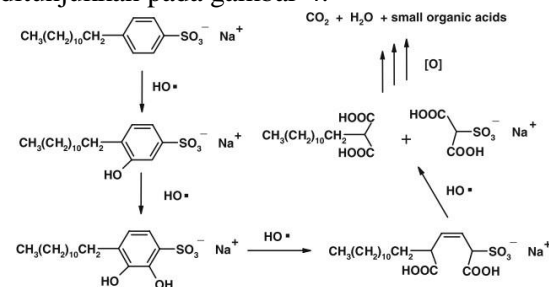
Proses pembentukan radikal hidroksil OH[•] berawal dari cahaya/foton (*hν*) mengiridiasi pada permukaan semikonduktor yang memiliki energi celah pita kosong (*E_g*) pita valensi (*vb*) dan pita konduksi (*vc*) yang dapat mengeksitasi elektron (*e⁻*) ke pita konduksi (*vc*) sehingga membentuk *hole* (*h⁺*) pada pita konduksi (*vb*) (Pers 1) (Mishra et al., 2020).

Sifat oksidator kuat yang dimiliki oleh semikonduktor akan memiliki sejumlah besar *hole* (*h⁺*) yang akan menyerang air (H₂O) yang melekat pada permukaan semikonduktor sehingga mengarah pada pembentukan radikal hidroksil (OH[•]) (Pers 3) (Agustina et al., 2016; Ortiz et al., 2019). Pada (Pers 2) ion superoksida (O₂^{•-}) bereaksi dengan hidrogen (H⁺) membentuk produk oksidasi radikal hidroperoksil (HO₂[•]). (Saharan et al., 2014)

Radikal hidroksil (OH[•]) dan radikal hidroperoksil (HO₂[•]) ini merupakan pengoksidasi kuat yang dapat mengoksidasi bahan pencemar seperti surfaktan LAS yang memiliki menjadi air, asam mineral, dan karbon dioksida.

Pada reaksi kombinasi fotokatalis – fotofenton telah terbentuk hasil sampingan radikal hidroksil. Radikal hidroksil (OH[•]) adalah oksidan yang sangat kuat, dan mekanisme oksidasi berlangsung dengan serangan *electrophilic* pada cincin aromatik substrat. Dalam senyawa LAS, diharapkan cincin aromatik terhidroksilasi oleh radikal hidroksil (OH[•]) beberapa kali sebelum pembukaan cincin, dan kemudian oksidasi lebih lanjut oleh radikal hidroksil akan menghasilkan asam β

dicarboksilat yang akan mendekarboksilat untuk menghasilkan air, CO₂, dan asam organik (Naldoni et al., 2011). Proses mekanisme reaksi radikal hidroksil (OH[•]) ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar -2: Mekanisme reaksi radikal hidroksil (OH[•]) dalam memecah struktur rantai LAS (Naldoni et al., 2011)

KESIMPULAN

1. Hasil pengolahan limbah *laundry* menggunakan kombinasi AOPs fotokatalis - fotofenton dapat menyisihkan parameter surfaktan LAS pada dosis ratio molar optimum (FeSO₄ : H₂O₂) 1:40 sebesar 97 - 99 % pada pH 3 dan 94 - 99 % pada pH Asli (8,3).
2. Hasil penelitian dengan menggunakan kombinasi AOPs fotokatalis – fotofenton menunjukkan bahwa penyisihan parameter LAS terbaik pada pH 3

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E., Bustomi, A., & Manalaoon, J. (2016). Pengaruh Konsentrasi TiO₂ dan Konsentrasi Limbah Pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red Dengan Metode UV/Fenton/TiO₂. *Teknik Kimia*, 22(1), 65–72.
- Apriyani, N. (2017). Penurunan Kadar Surfaktan dan Sulfat dalam Limbah Laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. <https://doi.org/10.33084/mitl.v2i1.132>
- Arya, G. (2019). *Pengolahan Limbah Batik dengan Fenton Fotokatalis dalam Plug Flow Reactor (Skripsi)*. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557–572

- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3), 167–176.
- Kang, Y. W., & Hwang, K. Y. (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34(10), 2786–2790.
- Khan, J. A., Sayed, M., Khan, S., Shah, N. S., Dionysiou, D. D., & Boczkaj, G. (2020). Advanced oxidation processes for the treatment of contaminants of emerging concern. In *Contaminants of Emerging Concern in Water and Wastewater*. Elsevier Inc.
- Loddo, V., Bellardita, M., Camera-Roda, G., Parrino, F., & Palmisano, L. (2018). Heterogeneous Photocatalysis: A Promising Advanced Oxidation Process. In *Current Trends and Future Developments on (Bio-) Membranes: Photocatalytic Membranes and Photocatalytic Membrane Reactors*. Elsevier Inc.
- Maryani, Y., Kustiningsih, I., Rakhma, M. Y., & Nufus, H. (2010). Uji Aktivitas Beberapa Katalis Pada Proses Degradasi Senyawa Aktif Deterjen Secara Fotokatalisis. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–8.
- Mishra, D., & Srivastava, M. (2020). Chapter 2 - Low-dimensional nanomaterials for the photocatalytic degradation of organic pollutants. In *Nano-Materials as Photocatalysts for Degradation of Environmental Pollutants*. Elsevier Inc.
- Naldoni, A., Schiboula, A., Bianchi, C. L., & Bremner, D. H. (2011). *Mineralisation of Surfactants Using Ultrasound and the Advanced Fenton Process*. 487–495.
- Ortiz, I., Rivero, M. J., & Margallo, M. (2019). Advanced oxidative and catalytic processes. In *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier Inc.
- Palwaguna, G. (2017). *Proses fotokatalisis TiO₂ dan foto-fenton untuk penyisihan patogen dan polutan kimiawi pada pengolahan air*.
- Purnamasari, E. N. (2014). Karakteristik Kandungan Linear Alkyl Benzene Sulfonat (Las) pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Media Teknik*, 11(1), 32–36.
- Saharan, V. K., Pinjari, D. V., Gogate, P. R., & Pandit, A. B. (2014). Advanced Oxidation Technologies for Wastewater Treatment: An Overview. In *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Elsevier Ltd.
- Tamas, I. N. (2017). *Proses Fenton Pada Pengolahan Lindi TPA Ngipik, Gresik (Skripsi)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.