

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

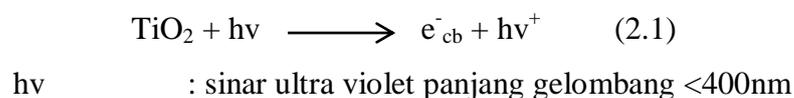
2.1. Deterjen

Deterjen merupakan salah satu produk yang banyak digunakan dalam komposisi air sabun cucian. Deterjen sendiri memiliki sifat aktif permukaan (surfaktan) (Santi,2009). Surfaktan digunakan untuk proses pembasahan dan pengikat kotoran, sehingga sifat dari deterjen dapat berbeda tergantung jenis surfaktannya. Secara garis besar, terdapat empat kategori bahan dasar surfaktan yaitu, surfaktan berbahan dasar anionik yang terdiri dari *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS), *Linier Alkyl Sulfonate* (LAS), dan *Alpha Olein Sulfonate*, kemudian ada surfaktan berbahan dasar kationik, non ionik, dan *amphoteric* (Nugroho, 2008). Deterjen yang pada umumnya dijual secara komersil mengandung 20-40% ABS, dan 60% LAS dan campuran bahan kimia yang biasanya disebut dengan *additivies* atau deterjen *builders* yang berfungsi untuk meningkatkan daya bersih deterjen. Bahan surfaktan yang biasa digunakan berjenis *Alkyl Benzene Sulphonate* (ABS). Senyawa ini termasuk *non biodegradable* yaitu tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme, dan juga banyak menimbulkan busa pada air. Sedangkan deterjen dengan bahan dasar LAS memiliki sifat yang lebih baik daripada ABS dikarenakan ikatan kimia yang *linier* dan tidak kompleks. LAS relatif mudah terdegradasi oleh mikroorganisme, akan tetapi membutuhkan proses yang lambat, sekitar sembilan hari untuk mengurai LAS, dengan kemungkinan persentase 50% (Prawati, 2009). Efek yang ditimbulkan deterjen dalam air antara lain, terbentuknya lapisan lapisan pada permukaan air sehingga akan menyebabkan terhalangnya sinar matahari ke dalam air, yang kemudian menghambat proses fotosintesis. Kombinasi dengan polifosfat akan menaikkan kandungan fosfat dalam air yang kemudian akan terjadi eutrofikasi. Eutrofikasi akan memicu pertumbuhan tak terkendali bagi eceng gondok dan menyebabkan pendangkalan sungai, sebaliknya deterjen dengan rendah fosfat beresiko menyebabkan iritasi pada

tangan dan kaustik (Nugroho, 2008). Bila surfaktan berada dalam air, maka sifat dan struktur molekul surfaktan dapat dibedakan menjadi dua macam gugus yaitu gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik. Gugus hidrofobik adalah suatu hidrokarbon yang berisi 8 sampai 18 atom karbon di dalam suatu rantai yang sedikit bercabang atau lurus. Sedangkan gugus hidrofilik merupakan gugus yang berfungsi sebagai bahan pembasah (Santi, 2009).

2.2. Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium dioksida (TiO₂) atau titania merupakan material nanopartikel yang telah banyak diaplikasikan menjadi material alternatif dalam berbagai aspek. Pada 10 tahun terakhir ini, titanium dioksida telah digunakan sebagai material anti bakteri dengan proses sterilisasi. Karakter fisik dan kimia dari titanium dioksida ini dapat dikontrol dari ukuran partikel, morfologi, dan fase kristal. Material ini diketahui terdiri dari tiga bentuk struktur kristal, yaitu anatase, rutil, dan brokitie. Titanium dioksida anatase merupakan bentuk TiO₂ yang dijual secara bebas untuk digunakan sebagai katalis pada proses fotokatalis karena mempunyai aktifitas fotokatalis yang tinggi. TiO₂ anatase dapat bekerja baik dengan bantuan sinar UV-C dengan menyerap cahaya yang diberikan sinar UV-C dimana akan diubah dalam bentuk energi untuk mendegradasi pencemar. Titanium dioksida menjadi sangat sering digunakan dalam proses fotokatalis karena TiO₂ bersifat semikonduktor yang baik. Semikonduktor adalah material yang memiliki konduktivitas listrik antara logam dan isolator yang baik (Santi, 2009). Pada reaksinya, semikonduktor berperan sebagai pengaktivasi dan katalis. Reaksi redoks cahaya dikarenakan pita valensi yang penuh berisi elektron dan pita konduksi yang kosong, dengan energi celah diantara kedua pita tidak terlalu besar, maka ketika sebuah foton dengan energi $h\nu$ yang sama atau lebih besar dari energi celah pitanya, elektron pada pita valensi akan memiliki energi yang cukup besar untuk dapat berpindah ke pita konduksi dan meninggalkan lubang positif ($h\nu^+$) pada pita valensi.



h_{vb}^+ : pita valensi

e_{cb}^- : elektron pada pita konduksi

Lubang pada pita valensi jika bereaksi dengan H_2O akan menghasilkan radikal hidroksil.



reaksi ini merupakan salah satu jenis teknik oksidasi lanjutan dan merupakan awal dari reaksi fotokatalik lanjutan (zhao, 2015). Sedangkan pita konduksi akan mengalami reaksi.



titanium dioksida merupakan salah satu katalis yang sering digunakan pada proses fotokatalis karena bersifat ramah lingkungan, harga yang tidak terlalu mahal, dan juga mudah untuk didapatkan, selain itu TiO_2 juga bisa digunakan kembali (Agustina dkk, 2016).

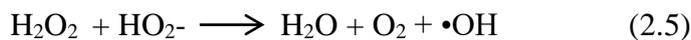
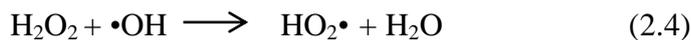
Penggunaan TiO_2 sebagai senyawa desinfektan alternatif atas karena TiO_2 bersifat ramah lingkungan, stabil, non toksik, dan dapat meminimalkan efek karsinogen.

Salah satu penelitian yang menggunakan TiO_2 dilakukan pada penelitian “Penurunan Konsentrasi Surfaktan pada Limbah Detergen Dengan Proses Photokatalik Sinar UV” yang dilakukan oleh Jurusan Teknik Kimia UPN Jawa Timur berhasil menurunkan dengan presentase terbaiknya 95,61% dengan menggunakan sinar UV-C 36 watt, lama waktu penyinaran 2,5 jam, penambahan TiO_2 sebesar 2,2 gr, dan dilakukan pada reaktor batch.

2.3. Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Hidrogen peroksida merupakan senyawa kimia berfasa *liquid* dengan salah satu keunggulan dalam pengolahan air limbah digunakan sebagai oksidator kuat untuk mengurai polutan dengan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$). H_2O_2 sebagai oksidator kuat yang kekuatannya lebih dari klor, dan kalium permanganat, hal ini disebabkan karena H_2O_2 menghasilkan lebih banyak radikal hidroksil ketika bereaksi dengan sinar UV-C. Walaupun H_2O_2 merupakan oksidator kuat, akan tetapi H_2O_2 merupakan senyawa yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme

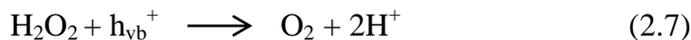
menjadi oksigen dan air (Wulandari, 2017). Dalam proses penguraiannya H_2O_2 dapat menurunkan kandungan BOD dan COD dalam limbah dengan mekanisme secara oksidasi langsung yaitu H_2O_2 menurunkan kandungan BOD dan COD dengan oksidasi langsung (Elfiana, 2008). Radikal hidroksil yang dihasilkan pada proses H_2O_2 + sinar UV-C lebih tinggi daripada H_2O_2 ozon secara sendiri. Besaran oksidasi potensial H_2O_2 + sinar UV-C adalah 2,8 V, dengan nilai seperti itu H_2O_2 + sinar UV-C dapat dengan mudah mengoksidasi senyawa organik maupun non organik. Kinerja H_2O_2 pada pH basa akan menghasilkan anion hidroperoksi (HO_2^-), yang mana HO_2^- akan beraksi dengan sisa H_2O_2 yang akan menghasilkan H_2O dan O_2 , serta menghasilkan radikal hidroksil dalam jumlah banyak sehingga radikal hidroksil semakin bertambah dalam prosesnya. Berikut reaksi yang terjadi pada proses tersebut :



$\bullet OH$ yang terbentuk akan mengoksidasi senyawa organik yang kemudian menyebabkan fotodegradasi. Lalu untuk sistem H_2O_2 + sinar UV-C akan menghasilkan $\bullet OH$, dengan persamaan reaksi seperti berikut :

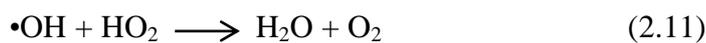


Secara teori, bila konsentrasi H_2O_2 semakin tinggi akan berbanding lurus dengan radikal hidroksil yang dihasilkan, namun jika konsentrasi H_2O_2 terlalu tinggi akan menyebabkan bereaksi dengan $h\nu^+$ dan $\bullet OH$, karena peran H_2O_2 juga sebagai elektron aseptor. Berikut persamaan reaksinya :



Pengikatan $h\nu^+$ dan radikal hidroksil oleh hidrogen peroksida yang berlebihan akan menurunkan jumlah radikal hidroksil dalam prosesnya sehingga proses fotodegradasi berjalan lambat (Wulandari, 2017).

Menurut (Darmadi, 2014) kondisi berlebihannya H_2O_2 dalam sistem akan memasuki pembentukan radikal hidroksil tahap kedua yang berpengaruh terhadap kemampuan degradasi polutan karena adanya pola $\bullet\text{OH}$ yang akan bereaksi dengan H_2O_2 . HO_2^- memiliki sifat kurang reaktif kemampuannya dibandingkan $\bullet\text{OH}$. Berikut persamaan proses nya :



2.4. Fotokatalis

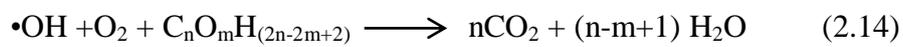
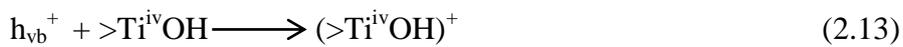
Fotokatalis merupakan suatu proses reaksi kimia yang dibantu oleh radiasi sinar UV-C ($\lambda < 400\text{nm}$) dan katalis semikonduktor seperti TiO_2 . Katalis merupakan suatu substansi yang mampu mempercepat laju reaksi sehingga mencapai keadaan kesetimbangan bila ditambahkan dalam sistem reaksi kimia (Agustin et al, 2016).

Katalis yang digunakan dalam suatu sistem reaksi fotokimia disebut fotokatalis yang mana memiliki kemampuan mengadsorpsi foton. Adanya proses adsorpsi energi foton akan mengaktifkan proses katalis sehingga substansi radikal hidroksil akan cepat terbentuk dan mendegradasi polutan organik menjadi produk akhir yang lebih ramah lingkungan (Hoffmann *et al*, 1995). Kemudian reaksi oksidasi fotokatalis akan menghasilkan gas CO_2 dan ion mineral (Tan, 1999). Fotokatalis bisa digunakan dan diterapkan dengan efektif untuk mengolah polutan dalam air ataupun air limbah (Agustin *et al*, 2016).

Fotokatalis TiO_2 merupakan zat pengoksidasi yang sangat kuat bila disinari dengan cahaya UV-C dengan panjang gelombang λ (100-280) nm. Fotokatalis TiO_2 yang disinari dengan UV-C akan mengalami generasi elektron pada pita konduksi dan membentuk lubang (h^+) pada pita valensi. Interaksi lubang dengan molekul air akan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$). Radikal ($\bullet\text{OH}$) merupakan zat pengoksidasi dari senyawa organik.

Keunggulan fotokatalis merupakan salah satu metode pengolahan limbah tingkat tinggi dan tangguh, karena menghasilkan radikal hidroksil sebagai proses awal oksidasi, proses tersebut dapat mendegradasi berbagai limbah seperti limbah batik, limbah deterjen, limbah industri tahu, bahkan limbah lindi.

Penggabungan kedua katalis dan oksidator kuat tersebut dapat meningkatkan proses pendegradasian. Proses pendegradasian tersebut dapat dilihat pada reaksi kimia dibawah ini :



Ketika TiO_2 menyerap energi cahaya dari sinar UV-C akan mengakibatkan terbentuknya lubang positif pada pita valensi (h_{vb}^+) kemudian akan melepaskan elektron pada pita konduksi (e_{cb^-}) seperti pada persamaan reaksi 2.12. Selanjutnya akan terjadi penjebakan lubang positif pada pita valensi pada permukaan katalis dan membentuk radikal $\bullet\text{OH}$, yang dapat dilihat pada persamaan 2.13. Besaran radikal $\bullet\text{OH}$ yang terbentuk memiliki energi potensial sebesar 2,8 eV yang akan dapat melakukan reaksi oksidasi senyawa organik. Hasil dari reaksi oksidasi tersebut akan menghasilkan gas CO_2 , uap air, dan zat zat organik lain yang lebih sederhana. Zat zat organik tersebut disimbolkan oleh simbol n dan m yang dijelaskan pada persamaan reaksi 2.14. Menurut sifat alamiah antara e_{cb^-} dan $(>\text{Ti}^{\text{iv}}\text{OH})^+$ dapat rekombinasi sehingga akan menurunkan jumlah radikal $\bullet\text{OH}$, namun salah satu fungsi dari H_2O_2 yaitu untuk mencegah reaksi rekombinasi tersebut dengan cara mengikat e_{cb^-} , sehingga jumlah radikal $\bullet\text{OH}$ dalam sistem tetap terjaga. Selain diikat oleh H_2O_2 , pengikatan e_{cb^-} juga dilakukan oleh O_2 , persamaan reaksi dapat dilihat pada nomer 2.15 dan 2.16. Serta fungsi dari H_2O_2 dapat mengoksidasi deterjen yang mengandung beberapa zat organik, lalu

menyederhanakan ikatan kimianya seperti pada persamaan reaksi 2.16 (Elfiana, 2008).

2.5. Baku Mutu

Baku mutu merupakan nilai atau kualitas standar yang harus dicapai atau berada pada angka yang sudah ditetapkan sesuai peraturan yang berlaku. Peraturan yang mengatur baku mutu deterjen tertulis pada Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Adapun perincian baku mutu seperti tabel di bawah ini :

Tabel 2. 1 baku mutu air limbah industri *laundry*

parameter	kadar paling banyak (mg/L)	beban pencemaran paling banyak (kg/ton)
BOD ₅	75	1,5
COD	150	3
TSS	100	2
TDS	2000	40
Deterjen	5	0,1
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara	
pH	6,0 - 9,0	
Debit limbah paling banyak (L/kg)	20	

(sumber : Perda D.I. Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016)

2.6. Laundry Filter 1.0

Laundry filter 1.0 merupakan sebuah reaktor unit pengolahan air *laundry* yang memadukan prinsip pengolahan fisik dan kimia. Reaktor ini merupakan inovasi dari reaktor pengolahan limbah *laundry* yang sudah ada sebelumnya dengan menambahkan prinsip kimia dalam pengolahan dan membaginya dalam tiga tahap pengolahan, tahap *post-treatment*, tahap *main-treatment*, tahap *pre-treatment*.

2.7. Main Treatment

Main treatment merupakan sebuah tahapan pada pengolahan di reaktor *laundry filter 1.0* yang berada setelah pengolahan *pre treatment* dan sebelum *post treatment*. Pada tahapan ini pengolahan dilakukan menggunakan prinsip kerja kimia, dengan menggunakan zat kimia TiO_2 yang berfungsi sebagai katalis dan H_2O_2 sebagai oksidator kuat yang kemudian dibantu oleh sinar ultra violet dalam penyinaran. Perpaduan antara TiO_2 dengan sinar ultra violet terbukti berhasil dalam mendegradasi polutan di air limbah *laundry*, terbukti melalui penelitian yang dilakukan oleh saudara Santi dari Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri UPN “veteran” Jawa Timur dengan judul penelitian “Penurunan Konsentrasi Surfaktan Pada Limbah Detergen Dengan Proses Photokatalitik Sinar UV” dengan hasil penelitian terbaik sebesar 95,61% persentase

keberhasilan dengan menggunakan sinar UV-C 36 watt, lama penyinaran 2,5 jam serta menggunakan TiO_2 sebanyak 2,2 gr (Santi, 2009). Dengan merujuk pada penelitian tersebut bisa diasumsikan bahwa TiO_2 dengan bantuan sinar UV-C efektif mendegradasi polutan. Fokus utama dari pengolahan *main treatment* untuk mendegradasi surfaktan.

2.8. Permasalahan Limbah Air Laundry

Limbah air *laundry* merupakan permasalahan yang sudah lama dan hingga sekarang masih terus berlanjut. Maraknya usaha *laundry* makin memperparah buruknya ke lingkungan terdampak. Menurut BLH dari berita tanggal 15 juni 2016 empat sungai di Jogja yaitu sungai Winongo, sungai Code, Sungai Manunggal, dan Sungai Gajah Wong masuk dalam kategori pencemaran C atau pencemaran berat yang salah satunya disebabkan oleh aktivitas *laundry* (WargaJogja, diakses tanggal 16 Februari 2019). Permasalahan tersebut akan terus meningkat ke arah negatif sejalan dengan pertumbuhan penduduk maka akan meningkatkan produksi limbah air *laundry*.

2.9. Pengolahan Limbah Laundry Yang Telah Diterapkan

Dari sekian banyak usaha *laundry* di Indonesia masih jarang ditemukan adanya kesadaran pihak industri *laundry* untuk mengolah limbahnya agar ramah lingkungan. Akan tetapi salah satu industri *laundry* yang berada di daerah Jakarta, tepatnya di Kelapa Gading, yaitu *beehave laundry* telah mengolah limbahnya dengan baik. Prinsip pengolahan yang dilakukan *beehave laundry* yaitu dengan prinsip pengolahan *biosand filter*, dengan susunan seperti *bioball*, zeolite, arang aktif, pasir, kerikil, ijuk, batu bata, semua disusun secara vertikal dalam bak yang telah digali sedalam 50 cm pada kolam 1 dan 2, sedangkan kolam 3 disusun ijuk, arang aktif dan *bioball*. Rangkaian reaktor disusun secara *horizontal*. Pada akhir dibuat kolam kontrol yang berisi ikan sebagai pengontrol hasil limbah.

2.10. Penelitian Yang Terdahulu

Untuk teknologi pengolahan atau filter air *laundry* ini sudah berkembang cukup lama tetapi masih dalam skala penelitian ataupun universitas, tidak untuk dikomersilkan menjadi suatu unit alat pengolahan. Untuk penelitian sebelumnya sudah menggunakan *biosand filter* dan dipadukan menggunakan karbon aktif. Pengolahan secara biologi pun sudah ada sebelumnya seperti menggunakan tanaman tertentu untuk mendegradasi polutan. Bahkan pengolahan secara kimia sudah diteliti, tetapi untuk menggabungkan pengolahan secara fisik atau kimia belum ada yang menggabungkannya untuk dijadikan satu unit pengolahan. Berikut beberapa Pengolahan terdahulu yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu mengenai pengolahan air limbah *laundry*

Tahun	Peneliti	Metode	Persentase keberhasilan
2008	Yudhistira Andika Nugroho	Penggunaan reaktor <i>biosand filter</i> dengan kombinasi reaktor <i>activated carbon</i> untuk menurunkan kadar fosfat pada limbah <i>laundry</i>	Persentase keberhasilan dalam menurunkan kadar fosfat dengan menggunakan <i>biosand filter</i> untuk variasi

			BSF1 53,23% dan BSF 2 45,86%. Sedangkan penggunaan <i>activated carbon</i> sebesar 8,41%, 6,69%, dan 2,35%
2008	Tri Ana Sukawati	Penggunaan <i>biosand filter</i> diikuti dengan reaktor <i>activated carbon</i> untuk menurunkan kadar COD pada limbah air <i>laundry</i>	Tingkat persentase keberhasilan reaktor ini dengan keberhasilan <i>biosand filter</i> menurunkan COD sebesar 59,91 dan 63,41% sedangkan untuk variasi <i>activated carbon</i> persentase terbaik sebesar 87,50%
2009	Narita Endah Prawati	Kombinasi reaktor <i>fixed bed</i> anaerob dan aerob secara kontinyu untuk menurunkan konsentrasi COD pada limbah <i>laundry</i>	Persentase keberhasilan yang didapat pada reaktor ini memiliki persentase 53%
2007	Mei Rani Nuringtyas	Penggunaan reaktor aerokarbonfilter untuk menurunkan konsentrasi BOD dan deterjen pada limbah proses pencucian kendaraan bermotor	Persentase keberhasilan tertinggi menurunkan kadar BOD sebesar 80% pada hari ke 3 dan 6, sedangkan persentase penurunan deterjen dengan hasil tertinggi sebesar 65% pada hari ke 4 dan 6. Proses reaktor dilakukan secara kontinyu
2010	Fardiansyah	Kombinasi reaktor <i>fixed bed</i> anaerob dan aerob secara	Berdasarkan hasil uji didapatkan persentase

		kontinyu untuk menurunkan kadar fosfat pada limbah air <i>laundry</i>	keberhasilan menurunkan fosfat pada kadar deterjen sebesar 74,24%
--	--	---	---

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, menunjukkan *trend* dari pengolahan limbah *laundry* yaitu menggunakan teknik pengolahan fisik. Hal tersebut yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan proses pengolahan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini dilakukan suatu inovasi yaitu menggabungkan beberapa pengolahan yang dirangkum dalam satu reaktor dengan gabungan pengolahan fisik (filtrasi dan adsorpsi) dan kimia (fotokatalis). Diperlukan inovasi pengolahan dengan menambahkan pengolahan secara kimia untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.