

STUDI PENURUNAN KONSENTRASI SURFAKTAN DENGAN OKSIDASI UV – H₂O₂

STUDY OF SURFAKTAN REMOVAL WITH UV – H₂O₂ OXIDATION

Setyo Wahyu Hariawan¹⁾ dan Susi Agustina¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS

Abstrak

Surfaktan terdapat dalam deterjen berfungsi sebagai pengikat kotoran. Oksidasi tingkat lanjut yang mengkombinasikan antara sinar ultraviolet (UV) dan Hidrogen peroksida (H₂O₂) dapat menghasilkan Hidroksil radikal (OH•). Penelitian ini dilakukan secara batch dengan variasi daya lampu UV yaitu 15 watt, 30 watt dan 36 watt, dan variasi penambahan H₂O₂ sebesar 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya lampu makin besar, penurunan konsentrasi surfaktan akan semakin besar. Semakin besar dosis hidrogen peroksida (H₂O₂) yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan konsentrasi surfaktan. Akan tetapi proses oksidasi dengan menggunakan kombinasi antara UV dan H₂O₂ lebih efektif.

Kata kunci : hidrogen peroksida, hidroksil radikal, sinar ultraviolet, surfaktan

Abstract

Surfaktan there are in detergent function as dirt fastener. Advanced oxidation combining between ray ultraviolet (UV) and peroxide Hydrogen (H₂O₂) can yield the radical Hydroxyl (OH•). This Research conducted in batch with the variation energy of lamp UV that is 15 watt, 30 watt and 36 watt, and variation of addition H₂O₂ equal to 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L. Result of this research indicate that when the the lamp energy increaser, the degradation of concentration surfaktan will be ever greater. And more dose of peroxide hydrogen (H₂O₂), degradation of concentration surfaktan also greater too. However process oxidize by using combination between UV and H₂O₂ more effective.

Keywords : peroxide hydrogen, radical hydroxyl, ultraviolet ray, surfactant

1. PENDAHULUAN

Secara fisik air yang mengandung unsur deterjen yang melebihi 0.3 mg/L akan menghasilkan buih yang stabil, mempunyai rasa yang tidak enak. Disamping itu keberadaan deterjen dalam air dapat menyebabkan gangguan proses pelarutan oksigen Dan juga surfaktan dalam kadar melebihi ambang batas dapat menimbulkan gangguan kesehatan pada manusia. Selain itu juga dapat menimbulkan terhambatnya transfer oksigen kedalam air dan dapat menimbulkan eutrofikasi (Cullum, 1994). Metode pengolahan yang umum digunakan untuk menurunkan konsentrasi surfaktan dalam deterjen adalah *trickling filter*, adsorpsi, pengendapan menggunakan kalsium sulfat (Cahyadi,1999) dan pengendapan menggunakan Kalium dioksida (Susanto, 1999).

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kombinasi sinar ultraviolet dan hidrogen perok-

sida dapat menurunkan konsentrasi pewarna tekstil reaktif pada limbah industri pencelupan (Wahyudi, 2002). Dan penelitian penurunan surfaktan dengan menggunakan fotokatalis titanium dioksida dapat menurunkan konsentrasi surfaktan

Dalam pengolahan air minum ataupun air limbah proses oksidasi lanjut (*Advanced Oxidation Process-AO_xP*) merupakan teknologi yang relatif masih baru. Teknologi ini merupakan alternatif dari proses pengolahan limbah konvensional yang berfungsi untuk mengolah kontaminan yang sulit dihilangkan dengan pengolahan biasa. Penghilangan kontaminan yang sifatnya sulit terurai maupun toksik dengan teknologi *AO_xP* ini dapat dengan hilang relatif permanen.

Radiasi cahaya tergantung dari cahaya yang memancarkannya dalam dua karakteristik yang berpengaruh yaitu jenis sumber listriknya seperti volta-se, arus dan daya listrik. Dan juga dari jenis dari

optisnya seperti sumber spektra, warna, suhu, intensitas dan distribusi, pancarannya.

Besarnya energi suatu radiasi cahaya merupakan fungsi dari jumlah foton dan panjang gelombang dimana tiap foton membawa energi tertentu sesuai dengan persamaan Planck, pada persamaan berikut.

$$Q = hc / \lambda \tag{1}$$

Dimana :

- h = Konstanta Planck (6.623×10^{-34} Jdetik)
- c = Kecepatan cahaya (2.998×10^8 m/detik)
- λ = Panjang gelombang radiasi (meter)

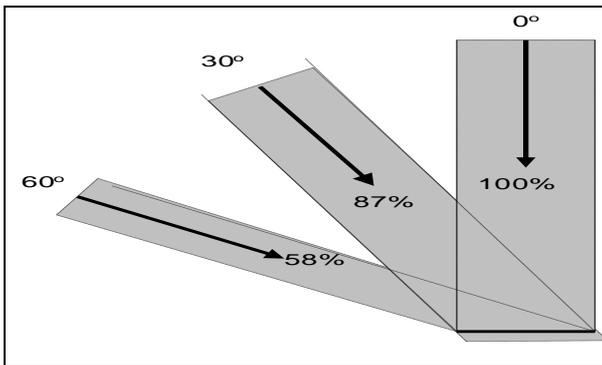
Nilai energi sinar yang jatuh pada permukaan bergantung pada cosinus sudut datang sinar tersebut. Besarnya energi sinar ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$E_0 = E \times \cos \theta \tag{2}$$

Di mana :

- E_0 = Energi pada sudut θ
- E = Energi pada sudut 0°
- θ = Sudut sinar datang

Pengukuran energi pada permukaan akan semakin kecil bila sudut sinar datang semakin besar (Lambert's Cosine Law) seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Hukum Lambert's Cosine

Sudut datang suatu sinar mempengaruhi jumlah energi yang diterima suatu objek. Semakin besar sudut yang datang, semakin kecil jumlah energi yang akan diterima. Saat sinar melewati medium yang berbeda, maka sinar tersebut akan dibiaskan. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan indeks bias medium yang dilewati dan sudut datang sinar.

Besarnya sudut bias dapat ditentukan dengan persamaan 3 berikut .

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \tag{3}$$

Di mana :

- n_1 = Indeks bias medium pertama
- n_2 = Indeks bias medium kedua
- i = Sudut sinar datang
- r = Sudut bias

Jika daya yang dipancarkan akan mengenai suatu luas area tertentu maka daya tersebut memiliki kepadatan daya per satuan luas yang disebut *flux density* dan dalam pengukuran pada detektor kerapatan ini disebut *irradiance* atau pancaran. Besarnya *flux density* ini akan turun dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi, yang besarnya dapat ditentukan dengan Persamaan 4.

$$H_e = \frac{\Phi_e}{4\pi R^2} \tag{4}$$

Di mana :

- H_e = Radiometric flux density (w/cm^2)
- Φ_e = Daya radiasi (watt)
- R = Jarak dari sumber radiasi (cm)

Intensitas radiasi adalah besarnya kerapatan flux (*flux density*) per satuan *solid angle*. *Solid angle* (ω) merupakan persentase atau rasio permukaan area batas dalam luasan tertentu dengan luas imajiner, yang diukur dalam steradian (sr). Secara umum persamaan untuk intensitas seperti pada Persamaan 5 dan Persamaan 6.

$$I_e = \frac{\Phi_{ei}}{\omega} \tag{5}$$

Di mana :

- I_e = Intensitas radiasi (watt/steradian, w/sr)
- Φ_{ei} = Daya yang dipancarkan (watt)
- ω = *Solid angle* (steradian, sr)

$$\omega = \frac{A}{R^2} \tag{6}$$

- A = Luas section
- R = jari-jari *sphere*

Dari dua persamaan diatas dapat dicari hubungan antara *irradiance* dengan intensitas radiasi, pada Persamaan 7.

$$H_e = \frac{I_e}{R^2} \tag{7}$$

Proses oksidasi lanjut dalam penelitian ini menggunakan kombinasi sinar Ultraviolet (UV) dengan Hidrogen peroksida (H₂O₂) yang menghasilkan hidroksi radikal (OH•). Hidroksi radikal inilah yang berperan penting untuk penguraian senyawa organik menjadi karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O) dengan cara radiasi UV memecah ikatan peroksida menjadi 2 hidroksil radikal. Hidroksil radikal adalah salah satu spesimen kimia yang paling reaktif dibawah fluorin.

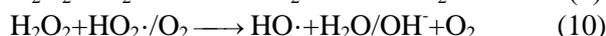
Hidroksil radikal adalah bentuk spesimen yang dibangkitkan karena kehilangan satu elektronnya sehingga sangat tidak stabil. Ketidakstabilan spesimen ini akan langsung bereaksi dengan senyawa kimia yang kontak dengan hidroksil radikal ini dan akan mengoksidasi dengan sempurna senyawa organik yang terlarut (Kito,1998).

Meskipun hidroksil radikal tidak bermuatan positif ataupun negatif, radikal ini sangat reaktif karena adanya elektron yang tidak berpasangan. Radikal bebas termasuk hidroksil radikal mempunyai usia yang singkat, sangat reaktif dan berenergi tinggi. Mekanisme reaksi dari AO_xP ini terdiri dari 2 tahap yaitu pembentukan hidroksil radikal sebagai oksidator. Tahap kedua adalah reaksi antara hidroksil radikal dengan senyawa organik. Berikut reaksi dasar dari fotolysis dari hidrogen peroksida (Crittenden, 1999):

Tahap Inisiasi : (fotolysis primer dari H₂O₂ atau HO₂⁻) pembentukan awal radikal-radikal bebas.

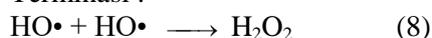


Propagasi :

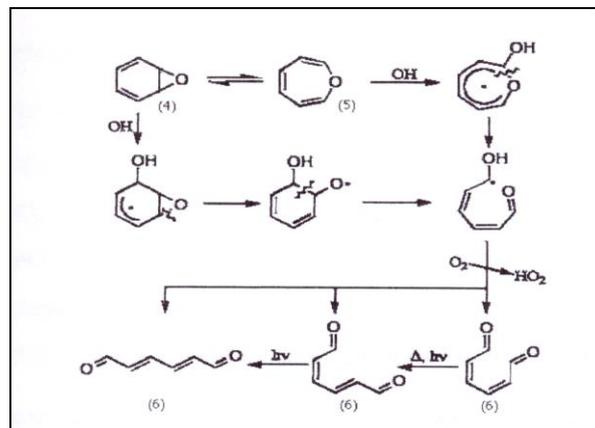


Tahap propagasi adalah tahap setelah inisiasi yang membentuk radikal bebas baru akibat radikal bebas pada tahap inisiasi bereaksi dengan hidrogen peroksida. Tahap ini menghasilkan reaksi berantai dimana hidroksi radikal sebagian bereaksi dengan kontaminan dan sebagian dalam tahap propagasi, seperti pada Reaksi 8 sampai 10.

Terminasi :

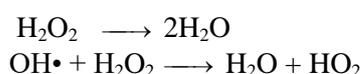


Tahap terminasi adalah tahap berakhirnya daur pada tahap propagasi.



Gambar 3. Mekanisme Penguraian Senyawa Organik Dengan Hidroksil Bebas

Penambahan hidrogen peroksida melebihi dari perhitungan stoikiometri tidak berpengaruh terhadap penguraian maksimum senyawa organik. Hal ini disebabkan oleh autodekomposisi dari hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air dan reaksi yang disebabkan oleh OH• radikal:



Dikarenakan hidroksil radikal bereaksi dengan hidrogen peroksida, maka keberadaan hidrogen peroksida mempengaruhi hidroksil radikal dalam proses penguraian. Dengan kata lain keberadaan hidrogen peroksida dapat dikatakan sebagai senyawa pengganggu. Oleh karena itu hidrogen peroksida harus ditambahkan pada konsentrasi yang optimal untuk mendapatkan penguraian yang maksimum.

Surfaktan bertanggung jawab atas keseluruhan fungsi deterjen yaitu antara lain pembersihan (*cleaning*), pembusaan (*foaming*), pembasahan (*wetting*), pelarutan (*Solubizing*) dan lain lain. Bila surfaktan berada dalam air, maka sifat dan struktur molekul surfaktan dapat dibedakan menjadi dua macam gugus yaitu gugus hidrofobik dan gugus hidrofilik. Gugus hidrofobik merupakan rantai panjang hidrokarbon yang memiliki sifat non polar biasa disebut gugus R (*alkyl*),serta larut dalam minyak dan lemak. Gugus hidrofobik merupakan bagian dari surfaktan yang mempunyai fungsi untuk mengikat zat pengotor dalam proses pembersihan, sedangkan gugus hidrofilik berfungsi sebagai ba-

han pembasah. Adapun gugus dari surfaktan yang larut dalam air antara lain gugus carboxyl (CO_2), hydroxyl (OH), sulfona (SO_2^-) dll (Porter, 1994).

Dengan hadirnya unsur surfaktan dalam air dapat menimbulkan turunnya tegangan permukaan, yaitu akibat patahnya ikatan hidrogen pada lapisan permukaan air. Hal ini terjadi sebagai akibat adanya perbedaan sifat antara dua macam gugus penyusun surfaktan, yaitu gugus hidrofobik dan gugus hidrofilik, berada pada permukaan air sehingga terjadi gaya tarik antara molekul air dan gugus gidrofilik surfaktan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan sinar Ultraviolet dan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) dalam penurunan konsentrasi surfaktan.

2. METODOLOGI

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *Dodecyl Benzene Sulphonate* (DBS) sebagai bahan kimia utama. Bahan oksidator digunakan hidrogen peroksida H_2O_2 teknis dengan konsentrasi dosis yang digunakan adalah 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L. Limbah yang digunakan adalah limbah sintesis.

Reaktor oksidasi yang digunakan terdiri dari satu set lampu UV dan kotak kaca yang berfungsi sebagai tempat oksidasi. Reaktor oksidasi dilengkapi dengan penutup. Lampu UV yang digunakan yaitu *Low pressure* (lampu gas merkuri). Panjang gelombang (λ) \pm 100 – 280 nm dengan daya 15 watt, 30 watt, 36 watt. Reaktor yang digunakan berukuran: panjang 120 cm, lebar 15 cm tinggi 10 cm terbuat dari kaca 5 mm, sedangkan penutup reaktor terbuat dari lembaran aluminium.

Analisa konsentrasi surfaktan berdasarkan pada standart metode analisa yang mengacu pada buku *Standart Method for The Eximination of Water and Wastewater*. Analisa konsentrasi surfaktan menggunakan metode *Methylen Blue Active Substances* (MBAS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Ryer (1998) disebutkan bahwa nilai intensitas radiasi (I_e) pada sumber isotropic adalah: 1 watt/steradian (I_e) = 12,566 watt. Dalam penelitian ini digunakan sumber UV dari lampu mer-

kuri Philip UV 15 watt, 30 watt dan 36 watt yang dipancarkan dalam jarak yang sama, yaitu 10 cm maka didapatkan flux densitas lampu merkuri dalam unit radiasi yaitu :

Untuk lampu 15 watt

$$He = \frac{(15/12,566)}{10^2} = 0,012 \text{ W / cm}^2$$

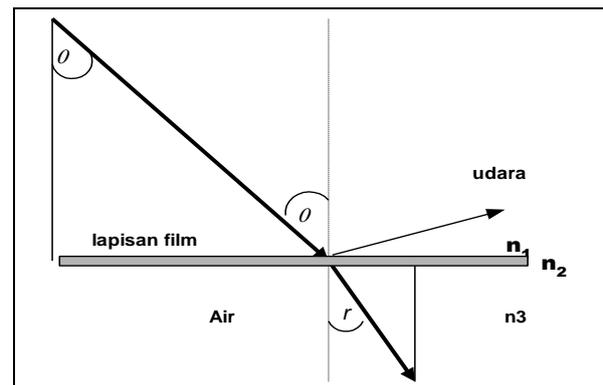
Untuk lampu 30 watt

$$He = \frac{(30/12,566)}{10^2} = 0,023 \text{ W/cm}^2$$

Untuk lampu 36 watt

$$He = \frac{(36/12,566)}{10^2} = 0,028 \text{ W/cm}^2$$

Pada pengoperasian reaktor, dimungkinkan terbentuknya film akibat keberadaan dari surfaktan. Lapisan film ini terbentuk dikarenakan penurunan tegangan permukaan. Lapisan film ini dapat mengurangi banyaknya sinar yang diterima oleh limbah dalam reaktor seperti yang terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Arah Sinar Akibat Lapisan Film

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa sinar yang masuk dalam air (limbah) sebagian kecil akan dipantulkan kembali. Hal ini disebabkan lapisan film ini bersifat seperti kaca yang akan memantulkan kembali sinar yang datang. Akan tetapi sinar yang diteruskan menembus lapisan film ini jauh lebih banyak daripada yang dipantulkan, sehingga tidak berpengaruh banyak terhadap jumlah sinar yang diterima oleh limbah

Dalam Ryer (1998), intensitas sinar sebanding dengan energi foton. Terbentuknya hidroksil radikal bergantung pada besarnya energi foton yang diterima dimana hidroksil radikal dalam proses fotokimia ini mempunyai peran yang sangat penting dalam menguraikan senyawa organik.

Pengujian radiasi Ultraviolet (UV) terhadap penguraian surfaktan dilakukan sebelum proses oksidasi kombinasi UV dan H₂O₂. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh UV terhadap penurunan konsentrasi surfaktan. Konsentrasi awal surfaktan adalah 10 mg/L dengan lama penyinaran selama 3 jam. Pengaruh sinar ultraviolet terhadap penurunan konsentrasi surfaktan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Pengaruh Ultraviolet Terhadap Penurunan Konsentrasi Surfaktan

Waktu (Jam)	Removal 15 watt	Removal 30 watt	Removal 36 watt
0	0.00	0.00	0.00
0.5	3.75	7.05	10.00
1	7.05	10.00	12,68
1.5	10.00	15.12	17,36
2	12.68	17.36	19,44
2.5	15.12	19.44	21,38
3	17.36	23.19	24,89

Kemampuan radiasi sinar ultraviolet untuk menurunkan konsentrasi surfaktan sangatlah kecil. Sehingga diperlukan waktu yang lebih lama meradiasikan sinar ultraviolet untuk memperoleh penurunan konsentrasi surfaktan yang lebih tinggi.

Untuk mengetahui pengaruh H₂O₂ terhadap surfaktan dilakukan percobaan dengan menambahkan beberapa dosis H₂O₂ dan tanpa melakukan radiasi sinar ultraviolet pada limbah surfaktan. Dosis yang diberikan adalah 10 mg/L, 15 mg/L dan 20 mg/L yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Persentase Penurunan Konsentrasi Surfaktan

Waktu (jam)	Penambahan Dosis H ₂ O ₂		
	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
0	0.00	0.00	0.00
0.5	3.75	7.05	25.86
1	7.05	15.12	34.46
1.5	10.00	17.36	35.83
2	15.12	19.44	37.12
2.5	19.44	21.38	38.33
3	23.19	24.89	40.57

Penurunan konsentrasi surfaktan disebabkan oleh jumlah oksigen yang cukup untuk menguraikan surfaktan. Oksigen tersebut diperoleh dari disosiasi H₂O₂ yang menjadi H₂O dan oksigen seperti pada Persamaan 11.



Penambahan H₂O₂ berlebih akan membuat proses penguraian berlangsung dengan cepat dan persen

penurunan yang dihasilkan menjadi besar. Akan tetapi penambahan H₂O₂ berlebih akan menimbulkan dampak yang lain pula, disamping bersifat toksik, H₂O₂ dapat menambah kandungan bahan organik dalam air. sehingga diperlukan pengolahan lanjutan untuk mengolah H₂O₂. Oleh karena itu diperlukan penambahan H₂O₂ secara optimum untuk mencegah hal tersebut. Penurunan konsentrasi surfaktan dengan penambahan H₂O₂ dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Persentase Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dengan Daya Lampu 15 watt

Waktu (jam)	Dosis H ₂ O ₂			
	0 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	3.75	29.45	36.81	51.56
1	7.05	62.07	44.33	62.94
1.5	10.00	76.49	55.15	69.70
2	12.68	78.99	62.94	76.22
2.5	15.12	81.51	80.62	83.62
3	17.36	82.80	84.03	85.96

Penurunan konsentrasi surfaktan diakibatkan adanya reaksi dengan hidroksil radikal (OH•) yang terbentuk akibat adanya radiasi sinar ultraviolet, seperti pada Persamaan 12.



OH• radikal mempunyai potensial oksidasi yang tinggi. Sehingga dapat menurunkan konsentrasi polutan. Variasi pemberian dosis H₂O₂ memberikan gambaran bahwa pembentukan OH• akan semakin besar jika jumlah atau konsentrasi H₂O₂ yang ditambahkan semakin besar.

Meskipun penambahan dosis H₂O₂ yang lebih besar akan mempercepat pembentukan hidroksil radikal, namun perlu dipertimbangkan sisa H₂O₂ pada akhir dari proses oksidasi, sebab tidak semua H₂O₂ dapat berubah menjadi hidroksil radikal dalam waktu radiasi yang pendek.

Laju penguraian suatu senyawa akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dan/atau fotolisis, yaitu banyaknya sinar UV yang terserap oleh H₂O₂. Namun tidak berarti bahwa dengan menaikkan konsentrasi H₂O₂ akan menambah laju penguraian suatu senyawa. Hal ini dikarenakan jika jumlah H₂O₂ lebih besar dari kondisi optimum (*most effective level*) akan menghambat hidroksil radikal dalam menguraikan suatu senyawa organik.

Sedangkan pada variasi intensitas sumber lampu ultraviolet menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas sumber ultraviolet, akan memberikan penurunan konsentrasi surfaktan, meskipun laju penurunan konsentrasi tidaklah besar. Akan tetapi hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar energi foton yang diterima oleh polutan, akan memberikan penurunan konsentrasi surfaktan yang lebih besar seperti terlihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut ini.

Tabel 4. Persentase Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dengan Lampu 30 watt

Waktu (jam)	Dosis H ₂ O ₂			
	0 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	7.05	69.70	50.26	66.14
1	10.00	75.15	64.59	71.63
1.5	15.12	78.75	84.82	80.17
2	17.36	81.51	85.96	82.38
2.5	19.44	84.43	87.42	84.03
3	23.19	88.47	89.47	90.76

Tabel 5. Persentase Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dengan Lampu 36 Watt

Waktu (jam)	Dosis H ₂ O ₂			
	0 mg/L	10 mg/L	15 mg/L	20 mg/L
0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	3.75	67.62	56.25	64.59
1	12.68	77.77	65.38	71.63
1.5	17.36	78.27	83.21	82.38
2	19.44	84.43	85.96	87.06
2.5	21.38	87.42	89.14	89.80
3	24.89	88.81	91.08	92.30

Proses oksidasi dengan menggunakan kombinasi antara Ultraviolet dan H₂O₂ lebih efektif. Kemampuan kedua komponen ini tidak memberikan penurunan konsentrasi yang signifikan jika berdiri sendiri-sendiri. Penguraian surfaktan dengan proses oksidasi Ultraviolet - H₂O₂ sangat dipengaruhi oleh banyaknya dosis H₂O₂ yang diberikan dan besarnya intensitas yang diradiasikan. Sehingga OH• radikal dapat dihasilkan dengan jumlah banyak, yang berasal dari pemecahan H₂O₂ oleh Ultraviolet.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain pada penggunaan daya lampu 15 watt, 30 watt, 36 watt, penurunan konsentrasi surfaktan akan semakin besar seiring bertambahnya daya lampu yang digunakan. Se-

makin besar dosis hidrogen peroksida (H₂O₂) yang ditambahkan, semakin besar pula penurunan konsentrasi surfaktan. Kemampuan komponen dalam proses oksidasi yang menggunakan ultraviolet dan hidrogen peroksida tidak memberikan penurunan konsentrasi surfaktan yang signifikan jika berdiri sendiri-sendiri

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi. (1999). **Studi Penggunaan Kalsium Sulfat Sebagai Penurun Kadar Surfaktan Jenis DBS (Dodecyl Benzene Sulfo-nate) Dalam Air Buangan.** Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. Surabaya
- Cullum, D.C. (1994). **Introduction To Surfactant Analysis.** Chapman & Hall. New Zealand
- Crittenden, C.J., Shumin H., David W.H. dan Green S.A. (1999). **A Kinetic Model for H₂O₂/UV Process In A completely Mixed Batch Reactor.** *Water Science And Technology. Volume 33 No. 33.* Elsevier Science Ltd
- Kito, M., Nguyen H. dan Tran J. (1998). **Hydrogen Peroxide And UV Treatment.** California.
- Porter, M.R. (1994). **Handbook Of Surfactans.** 2nd edition. Chapman & Hall, New Zealand.
- Ryer, A. (1998). **Light Measurement Handbook.** International Light Inc.
- Susanto, A., (1999). **Studi Penurunan Konsentrasi Surfaktan Dengan Metode Pengendapan Menggunakan Ca(OH)₂.** Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. Surabaya.
- Wahyudi, T.2002. **Studi Penghilangan Pewarna Tekstil Reaktif (Reactive Dye) Dan COD Pada Limbah Industri Pencelupan Dengan Proses Oksidasi UV/ H₂O₂.** Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITS. Surabaya.