



## Pengolahan Limbah Warna DYA Industri Pencelupan Tekstil dengan Teknologi UV / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> / TiO<sub>2</sub>

Tedi Hudaya<sup>1\*</sup>, Stephen Reinaldo Tunardi<sup>1</sup> dan Octaviany<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan,  
Jl. Ciumbuleuit No.94, Bandung 40141

\*E-mail: t.hudaya@unpar.ac.id

### Abstract

Textile wastewater often contains non-biodegradable as well as toxic dyes, for example Dianix Yellow Ace (DYA). One possible destructive method of treating such waste treatment is the Advance Oxidation Processes (AOPs), in which the oxidation of organic compounds by potent hydroxyl radicals ( $\bullet OH$ ) occurs. This research had a novelty of combining UV / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with UV / TiO<sub>2</sub> to study the effect of treatment process' variables, i.e. [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>], [TiO<sub>2</sub>] and initial pH on the rate of degradation as well as the ratio of BOD / COD until biodegradability threshold was reached. This research employed a Central Composite Design (CCD) experimental design technique that used factorial design and included center points as well as axial points for better accuracy and understanding of the process. CCD helped create a response surface model for optimization and prediction. The variations were the concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> between 0.01 - 1.00 %w, TiO<sub>2</sub> concentrations ranging from 0.80 to 3.00 g.L<sup>-1</sup> and initial pH between 1 - 11. The order and reaction rate constants were also determined by measuring the DYA concentrations using a spectrophotometer. The optimum condition for DYA degradation was found at pH 3, 0.2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and [TiO<sub>2</sub>] 3 g.L<sup>-1</sup> with a pseudo first-order rate constant of 0.0524 min<sup>-1</sup>. UV irradiation around 75 minutes resulted in DYA removal of 99%. The wastewater fell into the biodegradable limit after 60 minutes treatment, with a value of BOD / COD ratio was 0.1029 so that the wastewater became biodegradable to be further treated by much cheaper biological method.

**Keywords:** wastewater; non-biodegradable; AOPs; UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>; DYA

### Pendahuluan

Beberapa jenis limbah cair industri memiliki karakter yang sulit diolah/diuraikan, selain mengandung zat kimia yang berbahaya dan membutuhkan penanganan yang tepat yaitu bila limbah tersebut merupakan limbah *non-biodegradable* sehingga proses pengolahannya menjadi lebih kompleks. Di Indonesia, penanggulangan terhadap limbah cair industri masih kurang diperhatikan sehingga sering kali langsung dibuang ke sungai, lahan, dan sebagainya sehingga menimbulkan ancaman bagi lingkungan dan memberikan dampak buruk kepada kelangsungan makhluk hidup. Contoh limbah yang tergolong ke dalam limbah cair demikian adalah limbah cair warna dari industri pencelupan tekstil. Limbah cair tersebut umumnya tergolong ke dalam limbah *non-biodegradable* karena memiliki rasio BOD/COD kurang dari 0,01.

Berdasarkan urutannya pengelolaan limbah dapat di bagi ke dalam 3 bagian yaitu pengelolaan limbah primer, sekunder dan tersier (Perry & Green, 2008). Pengolahan limbah secara primer seringkali dilakukan dengan metode penyaringan atau pengendapan (secara fisika). Untuk pengolahan limbah secara sekunder yakni dengan melibatkan beberapa mikroorganisme agar dapat mengurai senyawa organik secara biologis. Sedangkan untuk pengolahan limbah secara tersier yakni dengan menghilangkan partikel yang tidak mudah mengendap, logam berat, fosfor, dan zat organik beracun (dengan proses kimia).

*Advanced Oxidation Process* (AOP) merupakan salah satu proses pengolahan limbah secara tersier. AOP merupakan proses pengolahan limbah yang mengolah limbah *non - biodegradable* menjadi limbah *biodegradable* dengan menghasilkan senyawa hidroksil radikal ( $\bullet OH$ ) yang dapat mengoksidasi hampir semua senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair. Dalam proses AOP sinar UV dapat digabungkan dengan ozon (O<sub>3</sub>), hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), dan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) untuk mempercepat proses penguraian senyawa organik kompleks.

Kombinasi UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> digunakan dalam penelitian ini karena hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) selain murah, aman dan mudah dalam penanganannya, juga telah terbukti secara komersil dalam proses pengolahan limbah *non-biodegradable*. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bersifat homogen sehingga tidak ada hambatan dalam perpindahan massa seperti yang terjadi pada penggunaan gas O<sub>3</sub> dan fotokatalis TiO<sub>2</sub>. Namun H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan berkurang selama proses pengolahan dan akhirnya akan habis, sehingga pada penelitian ini digabungkan dengan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang berfungsi sebagai foto



katalis yang dapat menghasilkan  $\bullet\text{OH}$  terus menerus selama disinari UV. Dalam penelitian ini pengaruh variabel penting yaitu  $[\text{H}_2\text{O}_2]$ ,  $[\text{TiO}_2]$  dan pH terhadap laju degradasi DYA akan ditelaah dengan menggunakan desain eksperimen CCD (*Central Composite Design*).

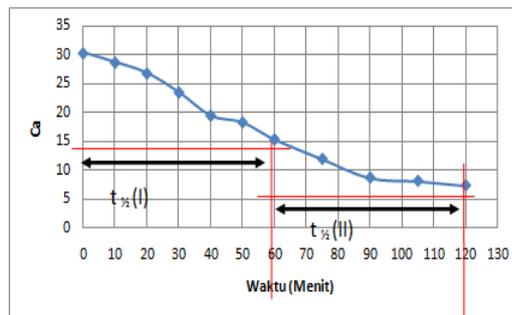
### Metode Penelitian

Pada penelitian limbah cair warna tekstil yang mengandung Dianic Yellow Ace (DYA) akan diolah dengan metode UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ / $\text{TiO}_2$ . Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mencari kondisi operasi yang paling baik / optimum agar pengolahan air limbah dapat berlangsung seefektif mungkin. Konsentrasi DYA yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 120 ppm berdasarkan hasil survei limbah pabrik.

Limbah DYA dengan pH awal disesuaikan berdasarkan variasi yang diinginkan sebelum padatan  $\text{TiO}_2$  dimasukkan ke dalam reaktor dengan konsentrasi sesuai variasi.  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengan konsentrasi tertentu dimasukkan bersamaan dengan larutan umpan sebanyak 3 L masuk ke dalam reaktor, kemudian temperatur dan pH dicatat dan lampu UV dinyalakan. Reaksi degradasi DYA dilangsungkan selama 2 jam. Pengambilan sampel (10 ml/sampling) dilakukan setiap 10 menit pada 1 jam pertama dan kemudian setiap 15 menit pada 1 jam berikutnya. Analisa kandungan DYA dalam sampel dilakukan spektrofotometer. Pengukuran %T dilakukan duplo untuk mendapatkan data yang lebih terjamin validitasnya.

### Hasil dan Pembahasan

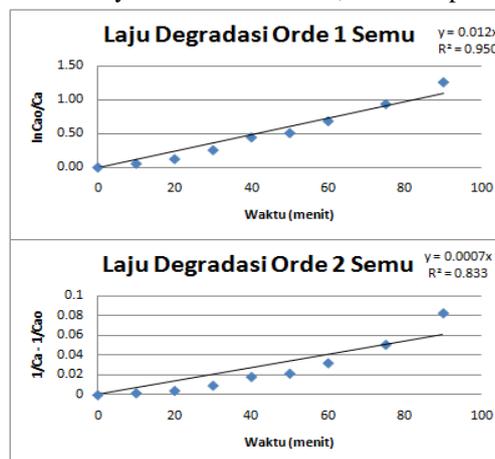
Dari data percobaan (Gambar 1) dapat disimpulkan reaksi mengikuti kinetika orde 1 semu karena waktu paruh yang konstan. Pada menit 90 kurva konsentrasi mulai mendatar sehingga penentuan konstanta laju degradasi hanya berdasarkan data hingga menit ke 90.



Gambar 1 Grafik konstentrasi DYA terhadap waktu

Selain itu untuk memastikan bahwa kinetika reaksi memang berorde 1 semu, dilakukan perhitungan perbandingan dengan menggunakan orde 2 semu (Gambar 2). Hasil yang didapat memberikan nilai  $R^2$  yang lebih baik untuk orde 1. Dengan demikian, degradasi DYA dengan UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ / $\text{TiO}_2$  lebih mengikuti model kinetika orde 1 semu dibandingkan dengan orde 2 semu. Temperatur yang terukur berada pada rentang  $\pm 25$  °C. Temperatur dapat dijaga relatif konstan karena pada bagian luar reaktor diberikan *cooling jacket* yang berisi air.

Berdasarkan integrasi model orde 1 semu yakni  $-dC_a/dt = k.C_a$ , hasil run percobaan yang didapat di plot pada gra-



Gambar 2 Grafik perbandingan pseudo orde 1 semu dan orde 2 semu

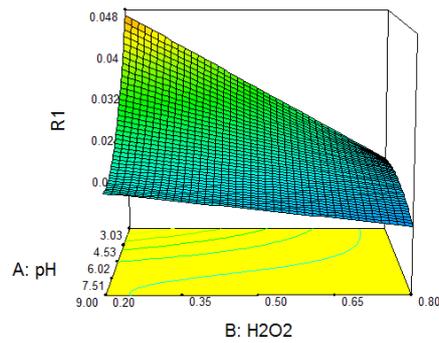
- $\ln$  Cao/Ca terhadap waktu (t). Grafik tersebut akan menghasilkan persamaan  $y = mx$  di mana gradien  $m$  merupakan konstanta laju reaksi orde 1 semu. Seluruh hasil percobaan dirangkum dalam Tabel 1. pH larutan akan semakin asam disebabkan oleh struktur DYA yang terdegradasi menjadi asam – asam organik seperti asam oksalat, propanoat, dan palmitat (Hudaya dkk., 2011). Konduktivitas yang terukur juga semakin besar karena dengan munculnya asam-asam organik membuat konsentrasi ion-ion semakin besar.

**Tabel 1** Hasil RUN percobaan

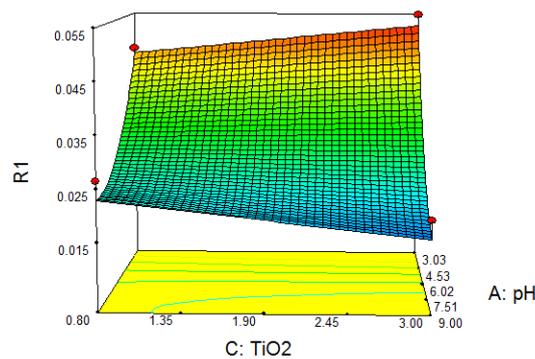
No	pH	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] % w/w	[TiO <sub>2</sub> ] gr/L	Konstanta Laju Degradasi (min <sup>-1</sup> )	%-removal DYA (60 menit)
1	9	0,80	0,80	0,0194	91,89
<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,0261	95,32
3	9	0,20	0,80	0,0266	95,1
<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,0261	95,47
5	6	0,01	2,00	0,022	86,69
6	11	0,50	2,00	0,0104	76,42
7	9	0,20	3,00	0,0196	93,91
8	6	1,00	2,00	0,0157	93,67
9	6	0,50	0,05	0,0209	93,62
10	9	0,80	3,00	0,0235	93,12
11	3	0,80	3,00	0,0347	97,56
12	3	0,20	3,00	0,0567	99,17
<b>13</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,0266	95,9
14	6	0,50	3,75	0,0274	96,65
15	1	0,50	2,00	0,0477	99,25
<b>16</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,0263	95,75
<b>17</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,026	95,62
18	3	0,80	0,80	0,0194	94,82
<b>19</b>	<b>6</b>	<b>0,50</b>	<b>2,00</b>	0,0267	95,73
20	3	0,20	0,80	0,0474	98,16

Berdasarkan hasil percobaan, dari kecenderungan data yang ada pada pH terlalu besar (pH 11) proses pengolahan limbah menjadi kurang efektif. Hal tersebut menunjukkan degradasi DYA lebih mudah terdegradasi dalam kondisi asam. Pada kondisi asam, permukaan TiO<sub>2</sub> bersifat positif dan dapat bereaksi dengan H<sub>2</sub>O ataupun sedikit OH<sup>-</sup> yang terkandung di dalam air serta kondisi asam cocok untuk degradasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sehingga •OH yang dihasilkan lebih banyak. Tetapi pada kondisi basa, permukaan TiO<sub>2</sub> akan bersifat negatif sehingga meskipun banyak OH<sup>-</sup> yang dihasilkan pada kondisi basa, •OH yang dihasilkan lebih sedikit karena permukaan TiO<sub>2</sub> yang bersifat negatif cenderung menolak anion OH<sup>-</sup>. Selain itu •OH yang dihasilkan oleh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada kondisi yang terlalu basa dapat bereaksi dengan HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (sebagai •OH scavenger) yang merupakan impurities dalam air (Halmann, 1996). Terlihat pada kondisi asam run 12 dan 15 %-removal DYA dapat mencapai 99%.

Semakin besar % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang digunakan akan memberikan laju degradasi yang semakin tinggi, namun bila terlalu besar maka justru akan menurunkan efektivitas degradasi. Pada % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang rendah maka •OH yang dihasilkan terlampaui sedikit sehingga degradasi DYA kurang efektif. Namun, pada konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang terlampaui besar dapat dihasilkan •HO<sub>2</sub> yang merupakan radikal yang jauh lebih lemah daya oksidasinya dibandingkan dengan •OH. (Halmann, 1996). Tetapi terdapat tiga variasi interaksi yang memberikan pengaruh satu dengan yang lain, sehingga harus dilakukan optimasi, agar diperoleh kondisi terbaik dalam proses pengolahan. Hal tersebut dapat diperjelas pada grafik 3D surface yang disajikan pada gambar 3 dan 4.

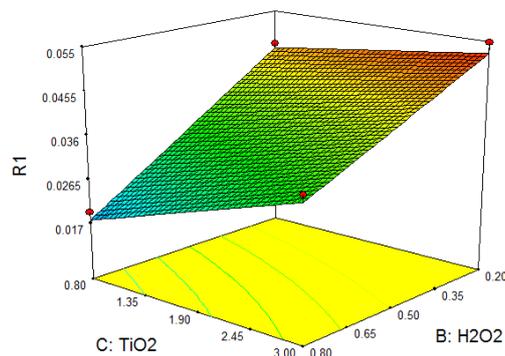


**Gambar 3** Pengaruh pH dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap konstanta laju degradasi (R1)



**Gambar 4** pengaruh pH dengan [TiO<sub>2</sub>] terhadap konstanta laju degradasi (R1)

Dari gambar 3 - 5 terlihat pada pH yang semakin basa konstanta laju degradasi akan semakin menurun ditandai dengan menurunnya permukaan respon. Penggunaan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang terlalu besar atau konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> > 0,2% membuat konstanta laju degradasi menurun, begitu pula dengan penggunaan konsentrasi TiO<sub>2</sub> semakin sedikit atau < dari 3 g/L. Akan tetapi variasi dari TiO<sub>2</sub> pada kondisi pH yang sama tidak memberikan dampak yang signifikan, berbeda dengan kondisi variasi konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada kondisi asam profil perubahan konstanta laju degradasi terlihat jauh lebih curam.



**Gambar 5** Pengaruh H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan [TiO<sub>2</sub>] terhadap konstanta laju degradasi (R1)

Pada gambar 5 terlihat penggunaan konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> berbanding terbalik. Profil konstanta laju degradasi memberikan hasil yang semakin baik ketika konsentrasi H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang digunakan semakin sedikit dan TiO<sub>2</sub> semakin banyak.

#### **Penentuan Kondisi Optimum**

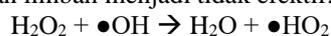
Berdasarkan data yang telah di dapatkan terlihat bahwa kondisi terbaik dalam proses pengolahan berada pada run 12 (pH 3, % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,2%, dan 3 g/L [TiO<sub>2</sub>]) dan run 15 (pH 1, % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,5%, dan 2 g/L [TiO<sub>2</sub>]) dimana % removal mencapai 99%. Akan tetapi, bila dilihat dari konstanta laju degradasi, run 12 memberikan konstanta laju degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan run 15. Selain itu, penggunaan asam HNO<sub>3</sub> saat proses pengasaman, membutuhkan volume yang 5-7x lebih sedikit, serta volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang digunakan juga lebih hemat 2,5x dibandingkan

run 15. Selain itu, katalis  $\text{TiO}_2$  yang berfasa padatan dapat dengan mudah dipisahkan setelah reaksi untuk digunakan kembali (recycle & reuse).

Dalam penelitian ini digunakan software Design Expert 7.0 untuk menentukan kondisi optimum proses pengolahan. Pertama-tama digunakan nilai dari R1 yang merupakan konstanta laju degradasi tiap run dimasukkan ke dalam tabel respon, lalu dilakukan response model analysis yang bertujuan untuk menentukan model yang cocok untuk menggambarkan respon laju degradasi berubah dengan variabel pH, %  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan konsentrasi  $\text{TiO}_2$ . Perbandingan data konstanta laju degradasi hasil prediksi model dari design expert dengan hasil run percobaan memberikan %-error sebesar 1,962%.

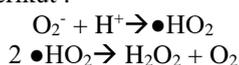
Analisis Anova juga telah dilakukan untuk mengetahui variabel yang berpengaruh dengan kriteria nilai Fvalue > Ftabel, di mana F tabel sebesar 6,61. Variabel yang berpengaruh juga dapat dilihat berdasarkan nilai p-value dibawah 5% (0,05). Berdasarkan hasil tabel variabel yang berpengaruh adalah A (pH), AB (interaksi antara pH dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Hal tersebut telah sesuai dengan data percobaan maupun data literatur yang diketahui, bahwa kondisi pH sangat mempengaruhi karakteristik dari limbah dan juga sangat mempengaruhi kondisi  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Namun untuk variasi  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\text{TiO}_2$  serta interaksinya berdasarkan hasil tabel diketahui tidak memberikan pengaruh secara signifikan terhadap variabel respon. Tetapi berdasarkan data literatur dan hasil percobaan yang didapat, variabel lainnya memberikan pengaruh meskipun tidak terlalu signifikan (Riga dkk., 2007). Dari hasil design expert didapat kondisi optimum berada pada pH 3, %  $\text{H}_2\text{O}_2$  0,2%, dan 3 g/L [ $\text{TiO}_2$ ].

Pada kondisi optimum, banyaknya  $\text{H}_2\text{O}_2$  adalah 0,2%-w.  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang di gunakan tidak boleh terlalu banyak ataupun terlalu sedikit. Tujuan di tambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yakni untuk menghasilkan  $\bullet\text{OH}$  ( $E^\circ = +2,80\text{V}$ ) yang merupakan oksidator yang kedua paling kuat untuk mendegradasi polutan. Jika  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang di gunakan jumlahnya berlebihan maka akan mengakibatkan adanya reaksi antara  $\text{H}_2\text{O}_2$  dan  $\bullet\text{OH}$  yang menghasilkan  $\bullet\text{HO}_2$  ( $E^\circ = +1,70\text{V}$ ). Dengan demikian, penggunaan  $\text{H}_2\text{O}_2$  yang berlebih pengolahan limbah menjadi tidak efektif. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut



Di sisi lain, penggunaan  $\text{TiO}_2$  yang berlebihan dapat membuat kondisi sampel menjadi keruh sehingga sinar UV akan sulit menembus larutan limbah. Sedangkan penggunaan yang terlalu sedikit, akan menyebabkan  $\bullet\text{OH}$  yang dihasilkan hanya sedikit / terbatas (tidak mencukupi).

Dari variasi pH, di dapatkan hasil bahwa pH yang paling optimum ada pada pH asam (pH = 3). Semakin asam, banyaknya DYAs yang terkonversi juga semakin besar. Namun, pada kondisi pH yang terlalu asam dapat menyebabkan DYAs yang terkonversi lebih sedikit. Hal ini terjadi karena pada pH yang semakin asam, ion  $\text{H}^+$  yang terlampaui banyak akan bisa berikatan dengan  $\text{O}_2^-$  (hasil interaksi oksigen dari aerasi dengan  $\text{TiO}_2$ ) sehingga membentuk  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Reaksinya adalah sebagai berikut :



Seperti yang telah di jelaskan sebelumnya, jika  $\text{H}_2\text{O}_2$  terlalu banyak di dalam larutan degradasi terhadap DYAs menjadi tidak efektif karena  $\text{H}_2\text{O}_2$  berlebihan akan bersifat sebagai  $\bullet\text{OH}$  scavenger.

#### Analisa BOD & COD

Analisa BOD dan COD dilakukan pada run terbaik yang dirangkum dalam Tabel 2 dan Tabel 3 berikut ini. Setelah pengolahan, nilai BOD mengalami kenaikan yang signifikan secara berangsur. Hal ini dapat dipahami karena limbah warna DYAs awalnya bersifat non-biodegradable yang dicirikan dengan nilai COD yang tinggi (Tabel 3). Namun berangsur-angsur COD limbah akan terus menurun menghasilkan senyawa-senyawa antara yang lebih sederhana hasil degradasi / oksidasi yang lebih bersifat biodegradable. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan lingkungan Hidup No. KEP - 51/MENLH/ 10/1995 kadar BOD yang diijinkan untuk dibuang ke lingkungan sebesar 50 – 100 mg/L. Dan dari hasil yang diberikan kadar BOD sampai dengan menit ke 75 masih memenuhi standar.

Tabel 2 Hasil analisa BOD

Waktu (menit)	DO <sub>0</sub> [mg/L]	DO <sub>5</sub> [mg/L]	BOD
0	7,60	5,40	1,80
10	290,00	268,00	21,60
20	287,00	256,00	30,60
30	305,00	264,00	40,60
45	326,00	273,00	52,60
60	328,00	258,00	69,60
75	321,00	227,00	93,60

**Tabel 3** Hasil analisa COD

COD (Spektroquan) [mg/L]	COD (Titiasi) [mg/L]
1980	2304
846	844,8
750	780,8
776	742,4
704	716,8
688	665,6
674	652,8

Analisa COD dilakukan dengan analisa spektroquan dan titrasi oleh *ferrous ammonium sulphate* (FAS). Bila dibandingkan COD metode spektroquan dengan metode titrasi tidak memberikan hasil yang sangat berbeda. Sehingga dapat dikatakan kedua metode tersebut dapat digunakan.

Analisa BOD dan COD dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah setelah pengolahan apakah telah tergolong kedalam limbah *non-biodegradable* atau *biodegradable* berdasarkan rasio BOD/COD.

**Tabel 4** Tabel BOD/COD

Waktu (menit)	BOD/COD
0	0,00085
10	0,0256
20	0,0400
30	0,0535
45	0,0741
60	0,1029
75	0,1411

Berdasarkan Tabel 4 diatas limbah telah tergolong kedalam limbah biodegradable (BOD/COD > 0,1) pada menit ke 60. Nilai BOD/COD yang digunakan merupakan rata-rata dari hasil BOD/COD dengan metode spektroquant dan metode titrasi.

Hasil penelitian ini bila dibandingkan pengolahan limbah DYA dengan metode UV/Fenton/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, (Kumar dkk., 2011) maka pengolahan yang paling efektif sampai limbah dapat tergolong ke dalam limbah *biodegradable* secara berturut-turut adalah UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> > UV/Fenton > UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (60 menit > 180 menit > 600 menit). Hal tersebut didasari oleh jumlah •OH yang dihasilkan selama proses degradasi berlangsung. Pada metode Fenton •OH semakin lama akan semakin habis karena reagen Fenton sebagai penghasil •OH yang digunakan akan bereaksi dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dimana H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> juga semakin lama akan habis. Sedangkan dalam metode kombinasi penggunaan TiO<sub>2</sub> yang merupakan fotokatalis memiliki kelebihan dapat secara terus menerus menghasilkan h<sup>+</sup> untuk menciptakan •OH. Dengan demikian, metode UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan lebih efektif dan lebih banyak dalam menghasilkan •OH.

## Kesimpulan

Berdasarkan percobaan yang telah di lakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Limbah warna industri yang bersifat *non-biodegradable* dapat diolah lebih efektif menjadi *biodegradable* dengan metode UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> selama 1 jam sedangkan metode UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memerlukan waktu 10 jam.
2. Kondisi optimum degradasi DYA adalah :

$$\text{pH} = 3$$

$$\text{H}_2\text{O}_2 = 0,2 \%$$



**TiO<sub>2</sub> = 3 g/L**

3. Konstanta laju degradasi mengikuti pseudo orde 1 semu.
4. Penggunaan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tidak boleh berlebihan karena akan menurunkan keefektifan penguraian limbah.
5. Penggunaan TiO<sub>2</sub> tidak boleh berlebihan karena akan membuat kondisi larutan limbah menjadi keruh sehingga sinar UV akan sulit menembus sampel.
6. Pada kondisi optimum, persen *removal* konsentrasi pewarna DYA selama 1 jam sebesar 99%.

#### Daftar Pustaka

- Halmann MM. Photodegradation of Water Pollutan. CRC Press Inc. 1996.
- Hudaya T, Andriany W, dan Hariyanto G. Pengolahan Limbah Warna DYA Pabrik Pencelupan Tekstil dengan Process UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, UPN Yogyakarta, 2011.
- Kumar BN, Anjaneyulu Y, and Himabindu V. Comparative studies of degradation of dye intermediate (H-acid) using TiO<sub>2</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Photo-Fenton process. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 2011; 3 (2): 718-731.
- Perry RH. and Green DW. Perry's Chemical Engineers Handbook 8<sup>th</sup> Ed. McGraw-Hill. 2008.
- Riga A, Soutsas K, Ntampeglitis K, Karayannis V, Papapolymerou G. Effect of System parameters and inorganics salts on the decolorization and degradation of Procion H-exl dyes. Comparison of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, Fenton, UV/Fenton, TiO<sub>2</sub>/UV and TiO<sub>2</sub>/UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. Desalination 2007; 211 (1-3): 72-86.

