

# Penggunaan Metode *Response Surface Methodology Box Behnken* Untuk Pemodelan dan Optimasi Proses Fenton pada Pengolahan Limbah Cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik

Ok Setiawan\* dan Alfian Trisna Pradipta

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik  
Jalan Sumatera No. 101 GKB Gresik, Jawa Timur, Indonesia, 61121  
Email: oksetiawan@umg.ac.id

## Abstrak

Seiring dengan semakin meningkatnya industri tekstil di Indonesia, akan berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Limbah pewarna ini mengandung berbagai macam polutan organik, anorganik, dan senyawa kimia berbahaya lainnya yang, jika dibuang ke sumber air bersih tanpa pengolahan terlebih dahulu, dapat mencemari lingkungan perairan. Salah satu kandungan yang harus memenuhi baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Tekstil adalah kadar *Chemical Oxygen Demand* maksimal 150 mg/L. Dari penelitian ini bertujuan untuk melihat efektivitas metode Fenton untuk mengurai polutan dalam air limbah dengan melihat kadar penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah sehingga nantinya akan memberikan solusi terhadap pengolahan limbah cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik. Limbah industri sarung akan dilakukan karakterisasi awal untuk mengetahui kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) awal limbah, kemudian dilakukan proses Fenton dengan mereaksikan reagen Fenton, serta melihat pengaruh rasio  $H_2O_2/COD$ ,  $H_2O_2/Fe^{2+}$ , dan pH dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat hasil optimum pada kondisi rasio  $H_2O_2/COD$  6,6 (g/g),  $H_2O_2/Fe^{2+}$  0,6 (g/g), dan pH 3,5 dengan waktu reaksi selama 30 menit, serta efisiensi pengolahan mencapai 83,35%. *Analysis of Variance* (ANOVA) hasil pengolahan data dengan *Design Expert* 13 untuk penelitian ini didapat nilai  $Adj-R^2$  0,7034 di tingkat kepercayaan 95 %, serta nilai *p-value* lebih rendah dari 0,05 yang menunjukkan bahwa model yang diberikan sangat signifikan secara statistik. Dari hasil Analisa *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang dilakukan menunjukkan penurunan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang signifikan sehingga metode ini layak untuk diterapkan untuk pengolahan limbah cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik.

Kata kunci: *Advance Oxidation Process*, Fenton, Limbah industri sarung

## Abstract

### ***Application of Box-Behnken Response Surface Methodology for Modeling and Optimization of Fenton Process in Treating Wastewater from Traditional Sarong Weaving Home Industry in Medangan, Gresik***

*As the textile industry in Indonesia continues to grow, so too does the amount of waste generate from its production processes. Dye wastewater contains various organic, inorganic, and hazardous chemical pollutants that, if discharged into water sources without prior treatment, can contaminate the aquatic environment. According to the Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014 on Wastewater Quality Standards for the Textile Industry, a maximum Chemical Oxygen Demand (COD) level of 150 mg/L is one of the parameters that must meet the wastewater quality standards. This research aims to investigate the effectiveness of the Fenton method in degrading pollutants in wastewater by examining the reduction in Chemical Oxygen Demand (COD) levels of the wastewater, thus providing a solution for the treatment of liquid waste from the Traditional Sarong Weaving Home Industry in Medangan, Gresik. The industrial sarong waste will be initially characterized to*

determine the initial Chemical Oxygen Demand (COD) level of the waste, followed by the Fenton process by reacting the Fenton reagent, and observing the effects of the  $H_2O_2/COD$  ratio,  $H_2O_2/Fe^{2+}$  ratio, and pH using the Response Surface Methodology (RSM). Based on the research conducted, the optimal conditions were obtained at an  $H_2O_2/COD$  ratio of 6.6 (g/g),  $H_2O_2/Fe^{2+}$  ratio of 0.6 (g/g), and pH of 3.5 with a reaction time of 30 minutes, and a treatment efficiency of 83.35%. Analysis of Variance (ANOVA) of the data processing using Design Expert 13 for this study obtained an  $Adj-R^2$  value of 0.7034 at a 95% confidence level, and a p-value of less than 0.05, indicating that the given model is very statistically significant. The results of the Chemical Oxygen Demand (COD) analysis showed a significant decrease in the Chemical Oxygen Demand (COD) value, so this method is suitable for application to the treatment of liquid waste from the Traditional Sarong Weaving Home Industry in Medangan, Gresik.

**Keywords:** Advance Oxidation Process, Fenton, Sarong industry waste

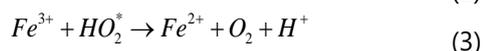
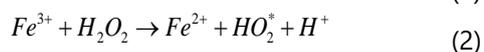
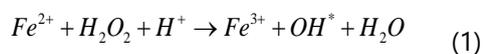
## PENDAHULUAN

Industri tekstil dalam pembuatan sarung menghasilkan limbah cair yang berbahaya. Limbah cair ini berasal dari proses pewarnaan, pelunturan, dan pencucian sarung. Pada proses pewarnaan dan pelunturan sarung, air limbah yang dihasilkan akan berwarna dengan kadar 15%. Zat warna ini dibuat dari senyawa azo dengan gugus benzena yang sulit didegradasi. Selain itu, akan mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan kadar sulfat yang tinggi. Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) ini berkisar antara 250-280 ppm dan kadar sulfat >70 ppm. Zat warna yang digunakan pada kebanyakan industri sarung adalah zat warna sintetik. Zat warna sintesis terbentuk dari gabungan molekul zat organik tidak jenuh, kromofor, dan ausokrom. Kromofor berfungsi sebagai zat yang memberikan warna, sedangkan ausokrom berfungsi untuk mengikat warna pada serat kain. Selain itu terdapat, Zat organik tidak jenuh yang berperan dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik, seperti senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya, serta senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Fidiastuti and Lathifah 2018). Hal ini disebabkan karena zat-zat beracun yang ada pada limbah sarung akan mengurangi kadar oksigen didalam air, meningkatnya suhu serta mengandung gas karbondioksida yang berbahaya bagi lingkungan. Menurut PP No. 1 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah B3, maka air limbah sarung harus dikelola agar kandungan didalamnya tidak melebihi kadar maksimum. Hal ini diatur dalam Peraturan

Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Tekstil. Baku mutu ini menjadi acuan terkait kadar maksimum parameter-parameter dalam air limbah. Parameter tersebut yaitu *Biological Oxygen Demand* (BODs), *Chemical Oxygen Demand* (COD). Metode pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan berbagai macam metode seperti aerob – anaerob, adsorpsi, elektrokimia, koagulasi flokulasi membran, dan *Advanced Oxidation Process* (AOP). Metode *Advanced Oxidation Process* (AOP) memiliki banyak jenis, beberapa jenis *Advanced Oxidation Process* (AOP) yang banyak digunakan yaitu Fenton klasik, Elektro Fenton, Photo Fenton, Ozon dan ultrasonic irradiation (Deng and Zhao 2015). Metode *Advanced Oxidation Process* (AOP) ini dinilai sangat efektif untuk mendegradasi polutan yang ada didalam air limbah, namun pada penelitian ini digunakan metode Fenton klasik karena penerapan yang lebih mudah serta biaya yang lebih ekonomis dibandingkan jenis *Advanced Oxidation Process* (AOP) yang lain sehingga sangat baik jika diterapkan pada pengolahan limbah cair industri sarung ini.

Proses oksidasi fenton dilakukann dengan merekasikan katalis besi Fe (II/III) dengan Hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) reaksi inilah yang nantinya akan menghasilkan senyawa radikal hidroksil ( $OH^*$ ), yang selanjutnya digunakan untuk mengoksidasi polutan yang ada didalam air limbah (Bremner *et al.*, 2006). Proses proses fenton klasik memiliki keuntungan utama dimana pada proses ini tidak dibutuhkannya energi input karena sifat hydrogen peroksida

yang reaktif serta dapat bereaksi pada suhu dan tekanan atmosfer. Selain ini, waktu reaksi yang singkat dan mudah dalam pengoperasiannya. Mekanisme reaksi fenton dapat dilihat pada persamaan 1-3.



Radikal hidroksil (OH\*) yang terbentuk dari persamaan 1 adalah oksidan yang sangat kuat dimana oksidan ini dapat mendegradasi polutan organik yang ada didalam air limbah menjadi air, karbon dioksida dan senyawa inorganik (Ertugay and Acar 2017). Radikal hidroksil dalam reaksi fenton juga memiliki potensi oksidan yang tinggi sekitar 2,73 V (Walling *et al.*, 2021). Parameter yang harus diperhatikan untuk menghasilkan efisiensi pengolahan yang baik pada Reaksi fenton antara lain pH, Rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD, dan rasio Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Jumlah hydrogen peroksida yang dibutuhkan pada reaksi fenton perlu ditentukan dengan baik karena rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD yang kurang tepat, kurangnya volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat mengakibatkan penurunan efisiensi pengolahan limbah sebaliknya kelebihan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat meningkatkan reaktivitas mikroorganisme dan meningkatkan biaya pengolahan limbah terlebih jika volume limbah yang diolah cukup besar (Liu *et al.*, 2018). Oleh karena itu volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bergantung dari konsentrasi awal kontaminan dalam air limbah sehingga karkaterisasi awal limbah perlu dilakukan. Secara teoritis jika jumlah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang diberikan lebih rendah dari seharusnya maka degradasi pengolahan limbah tidak akan mencapai efisiensi pengolahan limbah terbaik, tetapi untuk kebutuhan sebenarnya perlu dilakukan dengan eksperimen. Selain volume H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jumlah katalis besi yang digunakan juga harus diketahui, penggunaan katalis besi yang tidak tepat tidak hanya menaikkan biaya pengolahan limbah namun juga residu besi yang dihasilkan membutuhkan proses pemisahan lebih lanjut.

Polutan yang terdapat pada air limbah akan dengan cepat terdekomposisi oleh reaksi fenton, serta efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dapat dicapai dengan baik pada waktu 60 menit pertama setelah itu efisiensi akan

melambat hal ini dikarenakan proses degradasi telah mencapai titik maksimal. Misalkan efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan oksidasi pada 60 menit pertama 62,8% dan pada 60 menit berikutnya hanya menghasilkan peningkatan 3,2% (A. Zhang *et al.*, 2012)

*Response Surface Methodology* (RSM) merupakan Teknik optimasi empiris untuk mengevaluasi hubungan antara eksperimen output dan factor – factor yang disebut X1, X2, X3 dst. Metode ini biasanya digunakan dalam kombinasi dengan desain factorial seperti desain box-bhenken dan *Central Composite Design* (CCD). Desain percobaan RSM *Box-Behnken* dilakukan dengan menggunakan *Design Expert* 13 untuk mendapatkan hasil optimasi persen penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan menentukan pengaruh rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD, rasio Fe<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, dan pH. Dengan menggunakan desain ini dapat mengurangi jumlah set eksperimen tanpa mengurangi akurasi optimasi dibandingkan dengan metode desain faktorial biasa (Qiu *et al.*, 2014).

Tujuan dari metode ini adalah untuk mengarahkan eksperimen dengan cepat dan tepat menuju ke sekitar kondisi optimum. Setelah sekitar kondisi optimum ditemukan model yang lebih model yang lebih rumit seperti model orde kedua dapat digunakan dan analisis dapat dilakukan untuk menemukan yang optimal (Montgomery n.d.). Desain *Box-Behnken* ini memungkinkan estimasi yang efisien dari koefisien orde pertama dan kedua. Selain itu desain *Box-Behnken* memiliki titik desain yang lebih sedikit, sehingga lebih mudah untuk dilakukan dari pada desain komposit pusat dengan jumlah faktor yang sama. *Box-bahnken* juga terbukti bermanfaat jika telah diketahui zona pengoperasian yang aman untuk suatu proses. Desain komposit pusat biasanya memiliki titik aksial diluar "Kubus". Poin-poin ini mungkin tidak berada pada wilayah yang diinginkan, atau mungkin berada diluar batas operasi. Desain *Box-Bahnken* tidak memiliki titik aksial, dengan demikian semua titik dimungkinkan berada pada zona operasi yang diinginkan. Desain *Box-Bahnken* juga memastikan bahwa semua faktor tidak ditetapkan pada level yang tinggi pada saat yang sama (minitab 18 support). Jadi tujuan akhir dari RSM adalah untuk menentukan wilayah ruang faktor dimana sistem operasi optimal

berada.

Hakika *et al* (2019) meneliti tentang pengolahan limbah vinase dengan metode fenton menunjukkan penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 48,10% kondisi optimum pada pH 3,8, rasio  $H_2O_2/COD$  0,62 (g/g), dan Rasio  $H_2O_2/Fe^{3+}$  50 (g/g), penelitian lain yang dilakukan oleh H. Zhang, Wu, and Li (2012) yang meneliti efek oksidasi dan koagulasi penurunan COD limbah landfill leachate dengan proses fenton menunjukkan efisiensi penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 86,4%. Kondisi optimum pada pH 3, Kosentrasi  $H_2O_2$  0,17 mol/L, dan rasio  $H_2O_2/Fe^{2+}$  12 (g/g). Pada penelitian ini dilakukan proses fenton untuk mengolah limbah cair industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik serta digunakan optimasi *Response Surface Methodology* (RSM) agar lebih mudah mendapatkan kondisi optimum dengan jumlah set eksperimen yang sedikit serta kebaruaran dari segi jenis limbah yang digunakan. Diharapkan nantinya penelitian ini bisa menjadi solusi dalam pengolahan limbah industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik khususnya dan industri tekstil pada umumnya.

**METODOLOGI**

Penelitian ini menggunakan bahan baku dari sampel air limbah industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik, Asam Sulfat 95-97% ( $H_2SO_4$ ) diproduksi oleh Merck, aquades,  $FeSO_4$  diproduksi oleh merck,  $H_2O_2$  50% diproduksi oleh Sundopex, ferro ammonium sulfat (FAS) diproduksi oleh Pudak, kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) diproduksi oleh Merck, indikator ferroin diproduksi oleh merck, dan  $HNO_3$  diproduksi oleh merck.

Proses penelitian ini dimulai dengan melakukan karakterisasi awal *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan pH limbah, karakterisasi limbah cair sarung untuk mengetahui parameter awal limbah cair sarung yang digunakan sebagai sampel penelitian. Melakukan Analisa *Chemical Oxygen*

*Demand* (COD) awal mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-6968.73.2009. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan dengan metode *closed reflux* dengan Kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) sebagai sumber oksigennya. Sampel limbah yang telah dikarakterisasi diambil sebanyak 500 ml kemudian dimasukkan kedalam gelas beaker dan dilakukan variasi pengambilan data sesuai dengan desain eksperimental.

Dari Tabel 1 diatas ditentukan level maksimum dan minimum dari variabel independen seperti pH, rasio  $H_2O_2/COD$ , dan rasio  $Fe^{2+}/H_2O_2$ . Penentuan level minimum dan maksimum dari variabel bertujuan agar set eksperimen yang akan diajukan oleh *software* nantinya berada dalam rentang yang diinginkan. Setelah ditentukan level maksimum dan minimum dari setiap variabel tersebut maka *software Design Expert* 13 akan menentukan set eksperimen yang akan dilakukan dengan variabel respon yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini, berdasarkan dari hasil input variable kedalam *software design expert* dihasilkan 15 kali running sera dilakukan penerapan desain *Box-Behnken* dengan RSM yang bertujuan agar memberikan jumlah *running* yang lebih efektif dan efisien sehingga mempersingkat waktu penelitian. Dari hasil analisis statistik yang dikeluarkan oleh *software Design Expert* 13 dari hasil pengolahan data yang dilakukan didapatkan hasil penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) terbaik. Penentuan model yang sesuai untuk menggambarkan proses degradasi polutan dalam air limbah sarung tenun medangan Gresik dapat dilihat dari nilai  $R^2$  nilai  $R^2$  yang mendekati 1 atau lebih besar dari 0,88 menunjukkan kesesuaian anatara hasil eksperimen dengan hasil prediksi. Selain itu menurut (Kusuma *et al.*, 2017)

**Tabel 1.** Level Minimum dan Maksimum dari Tiga Faktor Desain RSM *Box-Behnken*

Variabel	Level		
	Rendah (-1)	Tengah (0)	Tinggi (+1)
pH (X <sub>1</sub> )	2,5	3,5	4,5
Rasio $H_2O_2/COD(X_2)$	4,4	6,6	8,8

Rasio $Fe^{2+}/H_2O_2$ ( $X_3$ )	0,45	0,6	0,75
----------------------------------	------	-----	------

mengatakan bahwa nilai  $R^2$  menjelaskan perbandingan suatu variasi rasio terhadap variasi keseluruhan serta menggambarkan tingkat kesesuaian dengan model yang digunakan.

Tabel 2 menunjukkan model yang sesuai, penentuan model terbaik berdasarkan dari nilai  $R^2$  yang diperoleh untuk melihat kesesuaian model. Dari Hasil pengolahan data dengan *Design Expert* 13 untuk penelitian ini didapat nilai  $Adj-R^2$  0,7034 di tingkat kepercayaan 95 %. Selain itu model yang di berikan sangat signifikan hal ini ditunjukkan dengan adanya nilai F-model sebesar 7,25 dan nilai probabilitas sangat rendah yaitu sebesar 0,05. nilai p yang lebih rendah dari 0,05 menunjukkan bahwa model yang diberikan sangat signifikan secara statistik, sedangkan nilai p lebih tinggi dari 0,1000 menunjukkan bahwa model ini tidak signifikan (Qiu

et al., 2014).

Tabel 3 menunjukkan hasil *Analysis of Variance* (ANOVA) dari model yang dipilih, *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi kesesuaian model dan variabel respons. Kualitas kesesuaian model persamaan dapat dilihat dari nilai  $R^2$  yang mendekati 1, sedangkan kesesuaian statistiknya dilihat dengan menggunakan *Fisher's F-test* dan *Student's t-test* dengan tingkat kepercayaan 95 %. *Student's t-test* digunakan untuk menentukan signifikansi koefisien regresi menggunakan standar p-value. Dimana nilai F yang lebih besar dan nilai P yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan koefisien tersebut signifikan (Qiu et al., 2014).

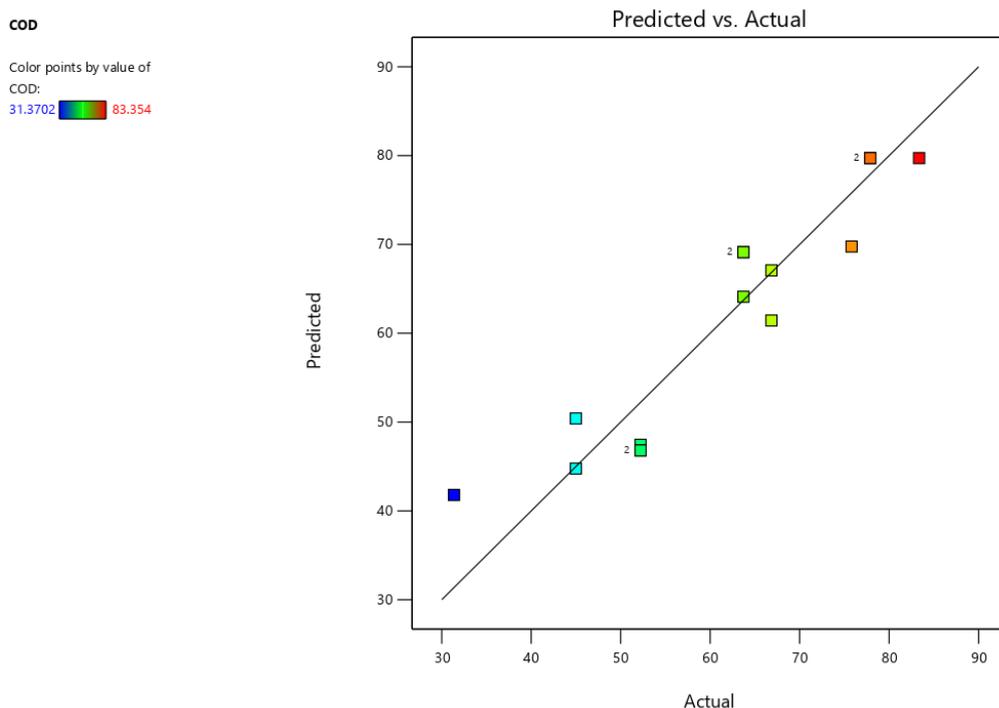
**Tabel 2.** Ringkasan Model Statistik % Efisiensi Penurunan COD

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted $R^2$	Predicted $R^2$	
Linear	0.1685	0.0454	0.1804	-0.0316	
2FI	0.6699	0.0366	0.0620	-0.3935	
Quadratic	0.0328	0.0922	0.7034	-0.6039	Suggested
Cubic	0.0922		0.9537		Aliased

**Tabel 3.** ANOVA Hasil Pengolahan Limbah Cair Sarung Medangan Gresik dengan Metode Fenton

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	Keterangan
Model	2637.71	7	376.82	7.25	0.0090	significant
A- $H_2O_2$ /COD	63.79	1	63.79	1.23	0.3046	insignificant
B- $H_2O_2/Fe^{2+}$	996.62	1	996.62	19.17	0.0032	significant
C-pH	8.37	1	8.37	0.1610	0.7002	insignificant
AC	278.07	1	278.07	5.35	0.0540	significant
$A^2$	528.87	1	528.87	10.17	0.0153	significant
$B^2$	528.87	1	528.87	10.17	0.0153	significant
$C^2$	430.88	1	430.88	8.29	0.0237	significant
Residual	363.92	7	51.99			
Lack of Fit	344.06	5	68.81	6.93	0.1309	not significant

Pure Error	19.85	2	9.93
Cor Total	3001.63	14	



**Gambar 1.** Prediksi dan aktual hasil pengolahan limbah cair *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik dengan metode fenton

Selain itu nilai *Adeq Precision* (AP) juga dapat digunakan sebagai indikator model tersebut dapat diaplikasikan. AP digunakan untuk mengukur signal dari *noise ratio*. Nilai AP harus lebih dari 4, pada penelitian ini diperoleh nilai AP sebesar 7,202 yang menjelaskan bahwa model ini dapat digunakan untuk menavigasi ruang desain. *Coefficient Variation* (CV) merupakan rasio dari estimasi kesalahan standar terhadap nilai rata-rata dari model eksperimen (Kusuma *et al.*, 2017). Nilai CV yang didapat dari pengolahan data pengolahan Limbah Cair Industri Limbah *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik dengan reaksi fenton yaitu sebesar 11,78 %. Nilai ini tidak jauh berbeda dari yang didapatkan peneliti sebelumnya yang meneliti tentang pengolahan limbah POME dengan metode Fenton menggunakan *Response Surface Methodology Central Composite Design* (CCD) yang mendapatkan nilai CV sebesar 12,214 % nilai ini mengindikasikan kesesuaian model yang digunakan (Saeed *et al.*, 2015).

*Response surface* penurunan COD Limbah

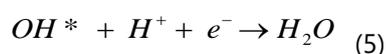
dari hasil optimasi pengolahan Limbah Cair Industri Limbah *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik dengan metode fenton didapat grafik antara hasil prediksi dengan hasil aktual ditunjukkan pada gambar 1.

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa hasil prediksi dan aktual menunjukkan terdapat beberapa titik percobaan yang tidak berada pada garis diagonal, hal ini menunjukkan terdapat perbedaan antara hasil prediksi dan aktual, tetapi perbedaan antara prediksi dan aktual tidak terlalu signifikan selisih terjauh 30,31% dan masih terdapat beberapa titik yang menunjukkan kesamaan antara prediksi dan aktual. Analisa ANOVA dan *response surface* menunjukkan ada beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan metode fenton seperti pH, Rasio  $H_2O_2/COD$  dan Rasio  $H_2O_2/Fe^{2+}$ . Pengaruh dari masing – masing variabel ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada pH asam hidrogen peroksida akan stabil dan pembentukan OH\* menjadi optimal sebaliknya pada pH lebih dari 4 pembentukan OH\* akan terhambat. Sehingga, efektivitas degradasi polutan dalam air limbah dengan metode fenton akan meningkat pada pH asam. Menurut penilitan yang dilakukan oleh (Nieto *et al.*, 2011) pH optimal dalam pengolahan limbah cair olive oil berkisar pada pH 2,5 – 3,0 hasil ini menunjukkan bahwa pembentukan OH\* yang maksimal terjadi pada saat awal rekasi. Pada saat pH lebih dari 4 reaksi yang terjadi cenderung reaksi koagulasi yang mengakibatkan katalis besi akan mengendap menjadi Fe(OH)<sub>3</sub> sehingga menghambat reaksi antara Fe<sup>2+</sup> atau Fe<sup>3+</sup> bereaksi dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dampaknya adalah H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> akan lebih cepat terdegradasi menjadi H<sub>2</sub>O dan O<sub>2</sub> (Nieto *et al.*, 2011). Dari grafik 4 dapat dilihat persen penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah paling optimal teradapat pada pH 3,5 dan rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD 6,6 yaitu dengan persen penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah 83,354 %. Hal ini terjadi karena reaksi fenton sangat disarankan dilakukan pada pH asam, pH asam memungkinkan untuk memproduksi hydrogen peroksida lebih tinggi dimana perubahan oksigen terlarut menjadi proton terjadi dalam larutan dengan pH asam (Wang *et al.*, 2016) seperti ditunjukkan pada persamaan 4.

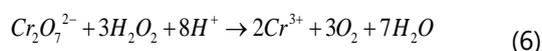


Meningkatnya peroksida terlarut diakibatkan adanya ion H<sup>+</sup> yang terlalu tinggi sehingga membentuk ion perokson stabil [H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>]<sup>+</sup>, Perokson ini mempunyai sifat elektrolitik yang dapat menstabilkan hidrogen peroksida yang mengakibatkan kurangnya reaktivitas dengan ion besi dan nantinya mengganggu reaksi antara ion Fe (II) dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> berlangsungnya reaksi pembentukan OH\* menjadi lebih lambat (Walling *et al.*, 2021). Namun, pH yang terlalu rendah juga tidak disarankan karena dengan konsentrasi H<sup>+</sup> yang terlalu tinggi akan cenderung bereaksi dengan radikal hidroksil, ditunjukkan pada persamaan 5



Dari reaksi diatas dapat dilihat bahwa OH\* dapat bereaksi dengan H<sup>+</sup> membentuk H<sub>2</sub>O sehingga mengakibatkan berkurangnya OH\* yang berperan utama dalam degradasi polutan dalam air limbah kurangnya OH\* dapat menurunkan laju oksidasi serta berdampak pada melambatnya degradasi senyawa organik (Hakika *et al.*, 2019). Degradasi polutan dalam air limbah yang ditandai dengan turunnya *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah akan meningkat dengan penurunan pH awal selain itu pH yang lebih tinggi menghasilkan Fe(OH)<sub>3</sub> yang tidak dapat bereaksi dengan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Xie *et al.*, 2016).

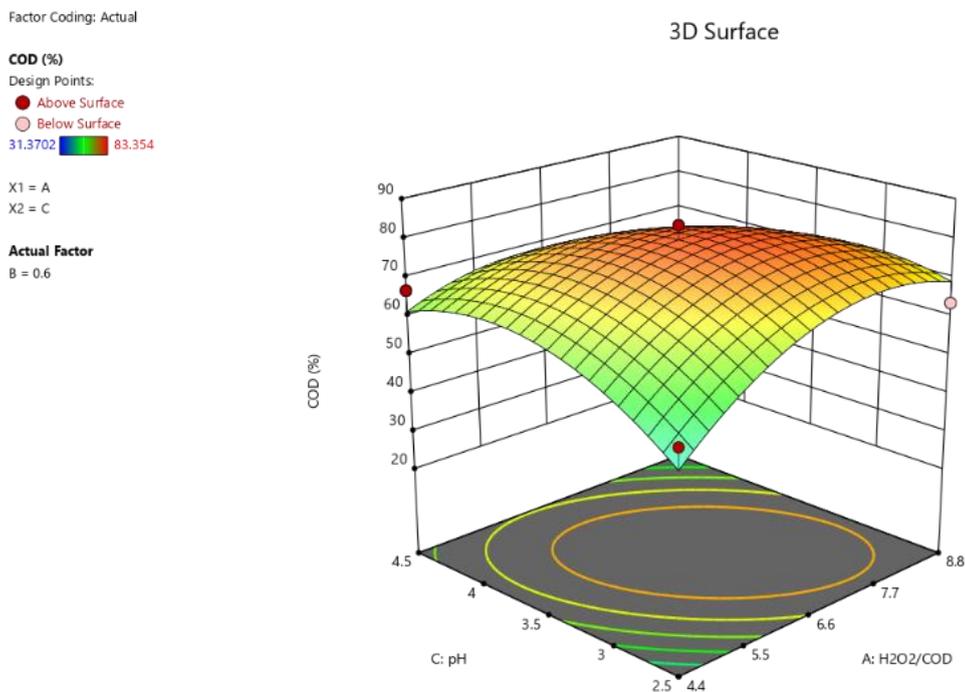
Hidrogen peroksida adalah sumber OH\* yang merupakan oksidan yang berperan sangat penting dalam mendegradasi polutan organik dalam air limbah. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat dari gambar 3. Ketika rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD 8.8 (g/g) efektivitas degradasi polutan dalam air limbah mendapatkan hasil yang optimal hal ini ditunjukkan dari efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah meningkat hingga 75,81 %. Cukup tingginya rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD yang dibutuhkan menggambarkan adanya kompleksitas senyawa yang harus diurai didalam air limbah industri sarung medangan Gresik sehingga membutuhkan OH\* lebih tinggi untuk dapat terdegradasi. Tetapi, rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD yang lebih tinggi juga tidak disarankan, dari hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh (Setiawan dkk., 2020) yang meneliti tentang pengolahan limbah cair rumah sakit dengan metode fenton mendapatkan hasil yang kurang baik pada dosis H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang lebih tinggi hal ini terjadi karena H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang berlebih dapat mengganggu proses analisis COD, sisa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat bereaksi dengan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang berdampak pada terbentuknya senyawa inorganik pada sampel uji seperti pada persamaan 6



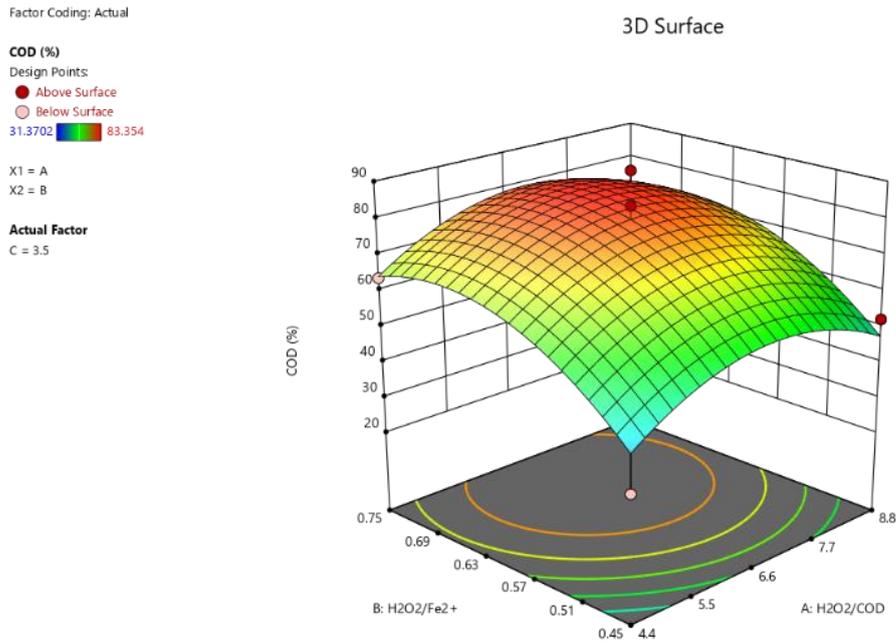
Semakin kompleksnya senyawa yang terdapat dalam air limbah mengakibatkan semakin sulitnya untuk terdegradasi menjadi molekul yang lebih sederhana seperti yang kita tau bahwa pewarna tekstil mempunyai kompleksitas senyawa yang cukup tinggi hal inilah yang mengakibatkan tingginya kebutuhan OH\* dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mendegradasi polutan tersebut. hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Chu *et al.*, 2012) melakukan penelitian

tentang pengolahan air limbah dapur dengan proses fenton dari hasil penelitian yang didapatkan menyebutkan bahwa ada beberapa senyawa – senyawa kompleks seperti fenolik, p-benzoquinon

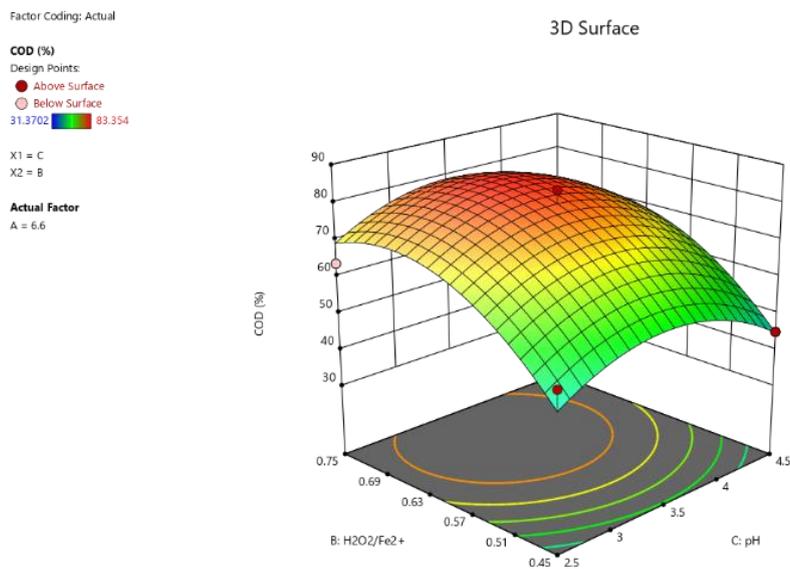
dan 2-metil pbenzoquinon yang membutuhkan waktu lebih lama untuk terurai menjadi molekul yang lebih sederhana.



**Gambar 2.** Pengaruh rasio H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/COD dan pH terhadap % penurunan COD Limbah Cair *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik



**Gambar 3.** Pengaruh rasio  $H_2O_2/COD$  dan  $Fe^{2+}/H_2O_2$  terdapat % penurunan COD Limbah Cair *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik



**Gambar 4.** Pengaruh rasio  $Fe^{2+}/H_2O_2$  dan pH terhadap % COD Limbah Cair *Home* Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik

Untuk memastikan generasi maksimum  $OH^*$  pada proses fenton rasio  $Fe^{2+}/H_2O_2$  harus dikontrol untuk menghindari efek scavenging peroksida pada  $OH^*$  (Cortez *et al.*, 2011) Pada Gambar 4 ditinjau efek rasio  $Fe^{2+}/H_2O_2$  karena pada proses fenton terjadi pada 2 proses yang pertama yaitu

oksidasi pada pH rendah sekitar 3.5. Tahap kedua proses yang mengikuti oksidasi yaitu langkah koagulasi dalam reaksi fenton memiliki peran utama dalam penghilangan senyawa organik, tapi reaksi fenton bukan merupakan langkah koagulasi. Namun efisiensi degradasi senyawa organik dalam

reaksi fenton lebih tinggi dari pada koagulasi (Neyens and Baeyens 2003). Kondisi optimal reagen fenton untuk setiap pengolahan limbah akan berbeda-beda.

## KESIMPULAN

Degradasi polutan dalam Limbah Cair Home Industri Sarung Tenun Tradisional Medangan Gresik dengan metode fenton yang ditandai dengan turunnya *Chemical Oxygen Demand* (COD). Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kondisi optimum pada pH 3,5 ; rasio  $H_2O_2/COD$  6,6 (g/g) dan rasio  $Fe^{2+}/H_2O_2$  0,6 (g/g), dimana dari kondisi optimum tersebut didapatkan efisiensi penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah sebesar 83,35%. Dari hasil ANOVA hasil pengolahan data dengan *Design Expert* 13 untuk penelitian ini didapat nilai  $Adj-R^2$  0,7034 di tingkat kepercayaan 95 %, serta nilai *p-value* lebih rendah dari 0,05 yang menunjukkan bahwa model yang diberikan sangat signifikan secara statistik. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jenis RSM *Central Composite Design* (CCD) karena metode ini akan memberikan rekomendasi set eksperimen yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bremner, D.H., Burgess, A.E., Houlemare, D. & Namkung, K.C., 2006. Phenol degradation using hydroxyl radicals generated from zero-valent iron and hydrogen peroxide. *Applied Catalysis B: Environmental*, 63(1-2): 15-19. DOI: 10.1016/j.apcatb.2005.09.005.
- Chu, J., Wang, J., Dong, H., Liu, C. & Sun, J., 2012. Treatment of coking wastewater by an advanced Fenton oxidation process using iron powder and hydrogen peroxide. *Chemosphere*, 86: 409-414.
- Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R. & Mota, M., 2011. Evaluation of Fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pre-treatments. *Journal of Environmental Management*, 92(3): 749-755. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.10.035.
- Deng, Y. & Zhao, R., 2015. Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3): 167-176.
- Ertugay, N. & Acar, F.N., 2017. Removal of COD and color from direct blue 71 azo dye wastewater by Fenton's oxidation: Kinetic study. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: S1158-S1163. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.02.009.
- Fidiastuti, H.R. & Lathifah, A.S., 2018. Uji karakteristik limbah cair batik Tulungagung. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek Ke-3* p.296-300.
- Hakika, D.C., Sarto, S., Mindaryani, A. & Hidayat, M., 2019. Decreasing COD in sugarcane vinasse using the Fenton reaction: The effect of processing parameters. *Catalysts*, 9(11): p.881.
- Kusuma, L., Darmadi & Adisalamun 2017. Pengolahan limbah cair rumah sakit secara sonochemical. *Jurnal Litbang Industri*, 7(1):, 29-39.
- Liu, F., Yi, P., Wang, X., Gao, H. & Zhang, H., 2018. Degradation of acid orange 7 by an ultrasound/ ZnO-GAC/ persulfate process. *Separation and Purification Technology*, 194: 181-187. DOI: 10.1016/j.seppur.2017.10.072.
- Montgomery, D.C., n.d. *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*.
- Neyens, E. & Baeyens, J., 2003. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous materials*, 98: 33-50.
- Nieto, L.M., Hodaifa, G., Rodríguez, S., Giménez, J.A. & Ochando, J., 2011. Degradation of organic matter in olive-oil mill wastewater through homogeneous Fenton-like reaction. *Chemical Engineering Journal*, 173(2): 503-510. DOI: 10.1016/j.cej.2011.08.022.
- Qiu, P., Cui, M., Kang, K., Park, B., Son, Y., Khim, E., Jang, M. & Khim, J., 2014. Application of Box-Behnken design with response surface methodology for modeling and optimizing ultrasonic oxidation of arsenite with  $H_2O_2$ . *Open Chemistry*, 12(2): 164-172. DOI: 10.2478/s11532-013-0360-y.
- Saeed, M.O., Azizli, K., Isa, M.H. & Bashir, M.J.K., 2015. Application of CCD in RSM to obtain optimize treatment of POME using Fenton oxidation process. *Journal of Water Process Engineering*, 8: e7-e16. DOI: 10.1016/j.jwpe.2014.11.001.
- Setiawan, O., Sarto, S. & Cahyono, R.B., 2020. Pengaruh pH umpan dan rasio COD/ $H_2O_2$  terhadap penurunan COD pada limbah cair rumah sakit melalui metode Fenton. *Seminar*

- Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. p1-6.
- Walling, S.A., Um, W., Corkhill, C.L. & Hyatt, N.C., 2021. Fenton and Fenton-like wet oxidation for degradation and destruction of organic radioactive wastes. *npj Materials Degradation*, 5(1): 1-20. DOI: 10.1038/s41529-021-00192-3.
- Wang, N., Zheng, T., Zhang, G. & Wang, P., 2016. A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1): 762-787.
- Xie, Y., Chen, L. & Liu, R., 2016. Oxidation of AOX and organic compounds in pharmaceutical wastewater in RSM-optimized-Fenton system. *Chemosphere*, 155: 217-224. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.04.057.
- Zhang, A., Wang, N., Zhou, J., Jiang, P. & Liu, G., 2012. Heterogeneous Fenton-like catalytic removal of p-nitrophenol in water using acid-activated fly ash. *Journal of Hazardous Materials*, 201-202: 68-73. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.11.033.
- Zhang, H., Wu, X. & Li, X., 2012. Oxidation and coagulation removal of COD from landfill leachate by Fered-Fenton process. *Chemical Engineering Journal*, 210: 188-194. DOI: 10.1016/j.cej.2012.08.094.