

# PEMODELAN *RESPON SURFACE METHODOLOGY* (RSM) UNTUK MEMPREDIKSI pH DAN ARUS LISTRIK LARUTAN SISA PENCELUPAN POLIESTER MENGGUNAKAN ELEKTROKOAGULAN

## *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) MODELING TO PREDICT pH AND ELECTRIC CURRENT IN POLYESTER DYEING RESIDUAL SOLUTION USING ELECTROCOAGULANT*

Siska Astari Dewi\*, Elfira Rahma Kusuma Wardhani, Keke Novianti, Salma  
Nabilla Putri, Rr Wiwiek Eka Mulyani

Politeknik STTT Bandung, Kota Bandung, 40272

\*Penulis korespondensi:

Alamat Email : siska.bunny@gmail.com

Tanggal diterima: 14 April 2025, direvisi: 20 Mei 2025,  
disetujui terbit: 27 Mei 2025

### **Abstrak**

Pengolahan limbah cair dari proses pencelupan poliester dengan zat warna dispersi merupakan keharusan untuk menjaga kelestarian lingkungan. Di antara berbagai metode pengolahan, elektrokoagulasi hadir sebagai alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi limbah tekstil. Penelitian ini mengembangkan model prediktif berbasis *Response Surface Methodology* (RSM) untuk mengoptimalkan proses elektrokoagulasi. Dengan memvariasikan waktu proses (0-30 menit) dan tegangan listrik (5-9 Volt), penelitian ini mengkaji pengaruhnya terhadap dua parameter kunci: pH dan arus listrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa model RSM mampu memprediksi arus listrik dengan sangat baik ( $R^2 = 0,9786$ ), sementara untuk pH memberikan akurasi moderat ( $R^2 = 0,6013$ ). Berdasarkan model tersebut, diperoleh rekomendasi rentang waktu dan tegangan optimal untuk aplikasi pengolahan limbah secara eksperimental. Temuan penting lainnya adalah pengaruh signifikan kedua variabel independen terhadap respons yang diamati, dengan catatan khusus bahwa tegangan listrik memiliki peran dominan dalam menentukan besarnya arus listrik selama proses elektrokoagulasi.

Keywords: *Response Surface Methodology (RSM)*, Elektrokoagulasi, Tegangan listrik, pH, arus listrik.

### **Abstract**

*Treating wastewater from polyester dyeing processes using disperse dyes is essential for environmental conservation. Among various treatment methods, electrocoagulation presents a promising alternative for textile effluent remediation. This study developed predictive models using Response Surface Methodology (RSM) to optimize the electrocoagulation process by examining the effects of process duration (0-30 minutes) and applied voltage (5-9 Volts) on pH and electric current. Results demonstrated that the RSM model achieved excellent predictive accuracy for electric current ( $R^2 = 0.9786$ ), while the pH model showed moderate correlation ( $R^2 = 0.6013$ ). Statistical validation confirmed model reliability through adjusted  $R^2$ ,*

*predicted  $R^2$ , and adequate precision values. The research identified optimal time-voltage parameter ranges for experimental waste treatment applications. Both independent variables significantly influenced the observed responses, with voltage exerting a dominant effect on electric current generation during electrocoagulation. These findings contribute to the development of more efficient treatment processes for textile wastewater and align with previous studies highlighting electrocoagulation's effectiveness in pollutant removal from industrial effluents.*

*Keywords: Response Surface Methodology (RSM), Electrocoagulation, Voltage, pH, Electric current.*

## **PENDAHULUAN**

Proses basah tekstil menghasilkan limbah cair maupun limbah padat yang jumlahnya cukup besar dan dapat mengganggu ekosistem lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Limbah sisa pencelupan merupakan limbah yang perlu penanganan optimal karena erat kaitannya dengan kelestarian lingkungan. Limbah pencelupan umumnya mengandung sisa zat warna dalam konsentrasi tinggi dan bersifat racun yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan<sup>[1]</sup>

Zat warna memiliki komponen zat organik yang tidak jenuh seperti senyawa hidrokarbon aromatik, fenol beserta turunannya dan senyawa hidrokarbon yang mengandung satu atau lebih gugus azo (-N=N-). Gugus azo menyebabkan zat warna sukar terurai<sup>[2]</sup>

Proses pengolahan limbah sisa pencelupan telah banyak diteliti seperti pengolahan secara fisika dan kimia diantaranya dengan koagulasi kimia, lumpur yang diaktivasi, biodegradasi, oksidasi, pemisahan dengan membran, adsorpsi, elektrolisis, dan fotodegradasi<sup>[3]</sup>

Teknologi elektrokimia adalah cabang dari kimia fisik, merupakan salah satu proses yang ideal untuk memecahkan masalah lingkungan. Pereaksi utama yang digunakan untuk proses elektrokimia adalah elektron. Proses elektrokimia dalam pengolahan limbah terdiri dari metode *electro-*

*flotation, electro-oxidation, dan elektrokoagulasi*<sup>[4][5][6]</sup>

Elektrokoagulasi adalah metode pengolahan limbah cair yang digunakan untuk menghilangkan warna dan polutan organik dari air limbah, akibatnya pembentukan lumpur berkurang, dan mengurangi bahan kimia dan energi yang dikonsumsi

Metode elektrokoagulasi menggunakan sumber arus searah. Ketika arus DC dialirkan, terjadi perbedaan potensial antara elektroda anoda dan katoda. Ini menyebabkan anoda menghasilkan ion logam ( $Al^{3+}$ ) dan gas oksigen, dan katoda menghasilkan reaksi reduksi air yang menghasilkan ion hidroksil ( $OH^-$ ) dan gas hidrogen. Ion logam yang terbentuk kemudian bereaksi dengan ion hidroksil dalam larutan untuk membentuk flok logam hidroksida.  $Al(OH)_3$  adalah contoh flok logam hidroksida amorf yang berfungsi sebagai koagulan<sup>[4]</sup>

Untuk menghilangkan polutan organik dan zat warna dari limbah cair, elektrokoagulasi menggunakan kombinasi proses koagulasi, adsorpsi, dan degradasi elektrokimia. Dengan permukaannya yang luas dan muatan yang kuat, flok  $Al(OH)_3$  dapat mengadsorpsi partikel zat warna dan polutan lainnya melalui interaksi elektrostatis. Selain itu, selama proses elektrokoagulasi, terjadi reaksi oksidasi-reduksi yang dapat mengoksidasi struktur kimia zat warna, seperti pemutusan ikatan azo (-N=N-) atau

cincin aromatik. Akibatnya, zat warna terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang berwarna.<sup>[7][8][9][3]</sup>

Faktor yang memengaruhi proses penyerapan warna pada metode elektrokoagulan diantaranya waktu proses, tegangan listrik, dan arus listrik, material elektroda, jarak antara elektroda.<sup>[3][10]</sup>

Pada penelitian ini memaparkan pemodelan menggunakan *machine learning* RSM (*Respond Surface Methodology*) untuk memprediksi pH dan arus listrik pada proses elektrokoagulan. Hasil prediksi dapat digunakan untuk eksperimental pengolahan limbah cair tekstil dengan metode elektrokoagulasi.

Beberapa metode komputasi yang dapat digunakan yaitu *Artificial Neural Networks(ANN)*, *Support Vector Machine(SVM)*, *Quantun Neural Networks(QNN)*, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems (ANFIS)*. Manfaat utama yang dapat diberikan oleh *Machine Learning* dalam industri tekstil yaitu meningkatkan efisiensi produksi, Optimasi logistik dan mangemen rantai pasokan, efisiensi energi dan pengelolaan persediaan dan prediksi permintaan produk<sup>[11]</sup>

Metodologi permukaan respon (RSM) adalah metode statistik yang biasa digunakan untuk mengestimasi interaksi linier dan efek kuadrat dari faktor-faktor terikat/dependen dengan tujuan untuk memprediksi model respon<sup>[10]</sup>

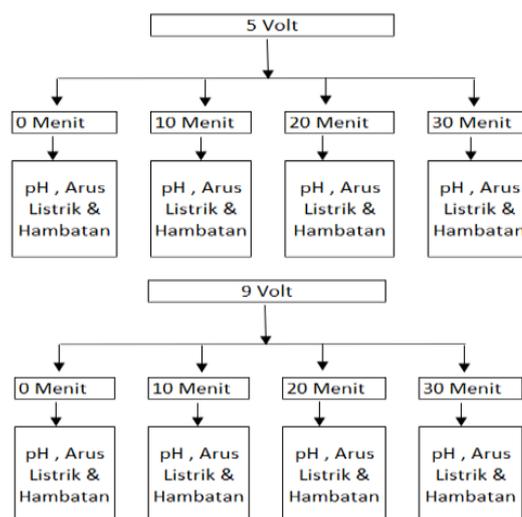
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh waktu proses dan tegangan listrik dalam proses elektrokoagulasi untuk memprediksi pH dan arus listrik melalui pemodelan *Response Surface Methodology* (RSM) menggunakan *MatLab*.

## BAHAN DAN METODA

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Politeknik STTT Bandung. Material yang digunakan berupa limbah sisa pencelupan poliester mengandung zat warna Dispersi Terasil Red, asam asetat, dan zat pendispersi.

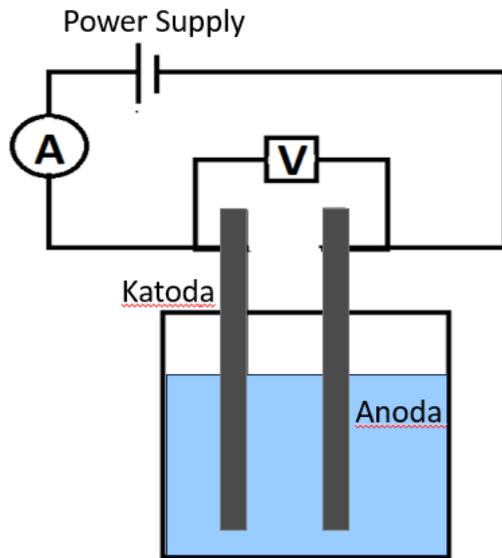
Limbah sisa pencelupan sebanyak 500 ml (mengandung zat warna dispersi dengan konsentrasi 2% dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi berbahan kaca. Dua elektroda aluminium batangan (ukuran: 4.5 × 11.5 cm; jarak antar elektroda ± 6 cm) dicelupkan ke dalam larutan limbah. Tegangan listrik searah (DC) divariasikan pada 5 V dan 9 V, dengan waktu proses 0–30 menit. Gambar 1. Desain penelitian proses elektrokoagulasi limbah sisa pencelupan poliester.

Sumber tegangan listrik (DC) dengan tegangan listrik sebesar 5 dan 9 volt. Waktu proses elektrolisis divariasikan mulai dari 0, 10, 20, 30 menit. Output yang diteliti berupa pH.



Gambar 1. Desain Penelitian Proses Elektrokoagulasi Limbah Sisa Pencelupan Poliester.

Rangkaian alat elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Rangkaian Elektrokoagulasi

Evaluasi dilakukan dengan pengujian pH menggunakan pH meter, pengujian padatan terlarut dengan tds meter serta perhitungan arus listrik dan tegangan mengacu pada persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{R}$$

R = nilai hambatan listrik dalam satuan ohm ( $\Omega$ )

V = nilai tegangan listrik dalam satuan Volt

I = nilai arus listrik dalam satuan ampere

Pada eksperimen ini tegangan listrik dihasilkan oleh sumber tegangan DC disimbolkan dengan (V), arus listrik disimbolkan dengan (I), dan hambatan digambarkan sebagai resistor (R).

Eksperimen ini tegangan listrik dihasilkan oleh sumber tegangan DC disimbolkan dengan (V), arus listrik disimbolkan dengan (I), dan hambatan digambarkan sebagai resistor (R).

Setelah mendapatkan data hasil penelitian dilanjutkan dengan analisa menggunakan pemodelan *Response Surface Methodology* (RSM)

Data waktu proses elektrokoagulasi dan tegangan listrik digunakan sebagai variabel independent untuk mengolah mesin learning dengan metoda RSM menggunakan *MatLab*. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan metode RSM dapat dilihat pada persamaan (1).

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

Pemodelan RSM menggunakan dua variabel independent yaitu tegangan listrik ( $x_1 = 5-9$  V) dan waktu proses elektrokoagulasi ( $x_2 = 0-30$  menit), untuk memprediksi dua variabel dependen yaitu pH ( $y_1$ ) dan arus listrik ( $y_2$ ) yang disimbolkan dengan Waktu proses ( $x_2$ ) mengacu pada durasi elektrokoagulasi sejak tegangan DC diaktifkan hingga proses selesai, Lalu ( $a_0$ ), ( $a_1$ ), ( $a_2$ ) dan ( $a_3$ ) merupakan koefisien yang akan dicari melalui komputasi menggunakan *MatLab*.

## PEMBAHASAN

### Pengaruh pH terhadap waktu proses Elektrokoagulasi

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 1, pH larutan limbah sisa pencelupan poliester dengan zat warna dispersi Terasil Red mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu proses elektrolisis. Penurunan pH larutan terjadi pada kedua tegangan di 5 dan 9 volt.

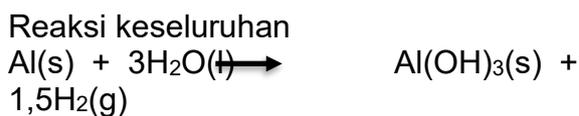
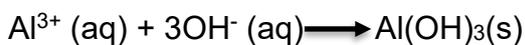
Tabel 1 Hasil uji pH dengan waktu proses 0, 10; 20; 30; pada tegangan 5 dan 9 volt

| Variasi  | Tegangan listrik (volt) |      |
|----------|-------------------------|------|
|          | 5                       | 9    |
| 0 menit  | 4.30                    | 4.30 |
| 10 Menit | 3.20                    | 3.30 |
| 20 Menit | 3.20                    | 3.30 |
| 30 Menit | 3.20                    | 3.30 |

pH awal larutan limbah sebelum proses dalam kondisi asam berkisar 4.30. Perubahan pH terjadi pada tegangan 5 dan 9 volt dengan nilai 3.20 dan 3.30.

Pada proses elektrokoagulasi tidak ada bahan kimia tambahan yang digunakan. Ketika arus DC dialirkan pada proses ini, akan terjadi perbedaan potensial di antara elektroda katoda dan anoda sehingga akan terjadi reaksi oksidasi pada logam yang menghasilkan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan gas oksigen. Sementara itu, air tereduksi pada katoda yang menghasilkan ion hidroksil ( $OH^-$ ) dan gas hidrogen [9]

Elektroda yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aluminium. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

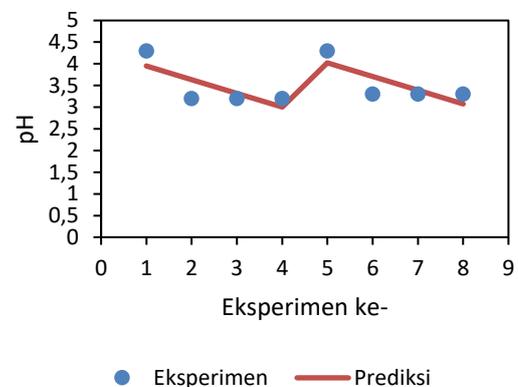


Perubahan pH pada larutan sisa pencelupan setelah proses elektrokoagulasi terjadi akibat reaksi elektrokimia di elektroda. Pada katoda, air mengalami reduksi menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dan gas hidrogen ( $H_2$ )

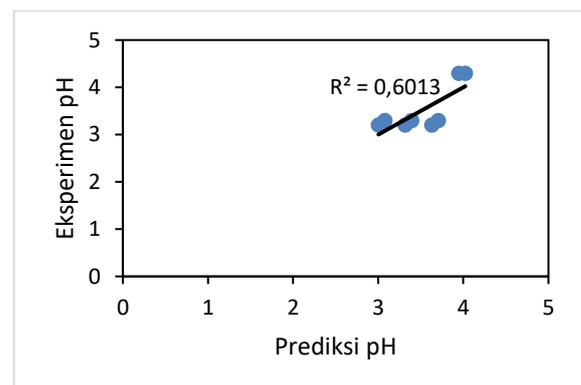
Gas hidrogen ( $H_2$ ) yang terbentuk akan terlepas sebagai gelembung di katoda, sedangkan ion  $OH^-$  meningkatkan pH di sekitar katoda. Di anoda, aluminium teroksidasi membentuk  $Al^{3+}$  yang kemudian bereaksi dengan  $OH^-$  membentuk flokulan  $Al(OH)_3$ . Perubahan pH secara keseluruhan

dipengaruhi oleh keseimbangan antara pembentukan  $OH^-$  di katoda dan konsumsi  $OH^-$  di anoda, serta pelepasan gas  $H_2$  dari larutan

Pada Gambar 3 dan 4 menunjukkan hubungan antara hasil output eksperimen dengan hasil prediksi dengan R-Square sebesar 0.603. Angka tersebut menunjukkan bahwa sekitar 0.603 hasil prediksi mendekati hasil eksperimen. Terdapat sekitar 0.397 dipengaruhi oleh variable bebas yang tidak termasuk ke dalam variable independen pemodelan ini.



Gambar 3. Hasil aktual dan prediksi pH menggunakan Response Surface Methodology

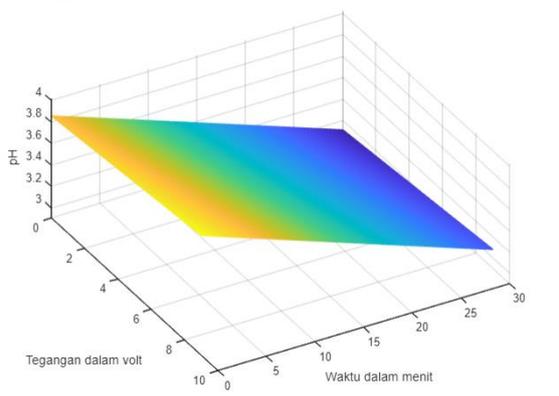


Gambar 4. Plot pH model vs Eksperimen untuk Validasi Model RSM

Tabel 3. ANOVA untuk Model pH ( $R^2 = 0.6013$ )

| Sumber Variasi | DF | SS    | MS    | F-value | p-value | Signifikansi |
|----------------|----|-------|-------|---------|---------|--------------|
| Model          | 5  | 60.13 | 12.03 | 4.22    | 0.003*  | Sinyal kuat  |
| Residual       | 14 | 39.87 | 2.85  |         |         |              |
| Lack of Fit    | 3  | 3.99  | 1.33  | 0.41    | 0.745   | Model valid  |
| Pure Error     | 11 | 35.88 | 3.26  |         |         |              |
| Total          | 19 | 100   |       |         |         |              |

Hasil evaluasi statistik model pH disajikan dalam Tabel 3, dengan koefisien determinasi sebesar  $R^2 = 0,6013$ . Analisis varian menunjukkan bahwa model ini memiliki signifikansi yang baik, dibuktikan dengan nilai F mencapai 4,22 dan p-value 0,003 (lebih kecil dari 0,05). Ketepatan model juga dikonfirmasi oleh uji 'Lack of Fit' yang tidak signifikan (p-value 0,745), mengindikasikan kesesuaian model dengan data eksperimental. Dengan demikian, model kuadrat RSM yang dikembangkan dapat diandalkan untuk memprediksi perubahan pH berdasarkan parameter tegangan listrik dan durasi proses elektrokoagulasi. Meskipun memiliki tingkat prediksi sedang (ditunjukkan oleh residual 39,87 dari total 100) dan tidak seakurat model arus listrik, model pH ini tetap valid untuk diterapkan dalam optimasi proses pengolahan limbah tekstil.



Gambar 5. Kurva 3D hubungan antara waktu elektrolisis dan tegangan terhadap pH larutan.

Gambar 5 menunjukkan kurva 3D antara pengaruh waktu elektrolisis dan tegangan terhadap pH larutan. Hal ini membuktikan bahwa ada pengaruh antara waktu proses elektrolisis dengan

tegangan pada proses elektrokoagulasi terhadap penurunan pH larutan.

Analisa dari kurva 3D ini menunjukkan bahwa tegangan dan waktu mempengaruhi pH. Makin besar tegangan maka pH akan makin naik, makin lama waktu proses maka pH akan makin menurun. Hal ini dapat dilihat dari persamaan

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

[1] Berdasarkan analisis *Response Surface Methodology* (RSM), model matematika untuk pH larutan limbah sisa pencelupan poliester diperoleh dengan  $R^2 = 0.601$  yaitu :

$$\hat{y}_i = 4.12 - 0.15x_1 - 0.21x_2 + 0.03x_1x_2 + 0.02x_1^2 + 0.04x_2^2 \quad (2)$$

Model kuadrat ini menunjukkan hubungan antara pH dengan tegangan dan waktu proses elektrokoagulasi, dengan waktu proses memberikan pengaruh lebih dominan terhadap penurunan pH dibandingkan tegangan

Tabel 2 Hasil pengukuran arus listrik dengan waktu proses 0, 10; 20; 30; pada tegangan 5 dan 9.

| Variasi  | Tegangan listrik (volt) |        |
|----------|-------------------------|--------|
|          | 5                       | 9      |
| 0 menit  | 0.30 A                  | 0.60 A |
| 10 Menit | 0.30 A                  | 0.60 A |
| 20 Menit | 0.25 A                  | 0.50 A |
| 30 Menit | 0.25 A                  | 0.50 A |

Waktu proses lebih berpengaruh terhadap pH dibandingkan dengan tegangan.

### Pengaruh Arus listrik terhadap proses koagulasi

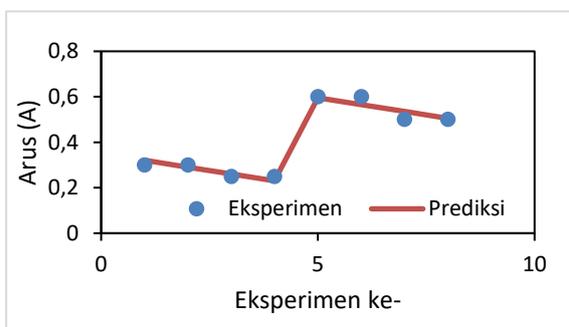
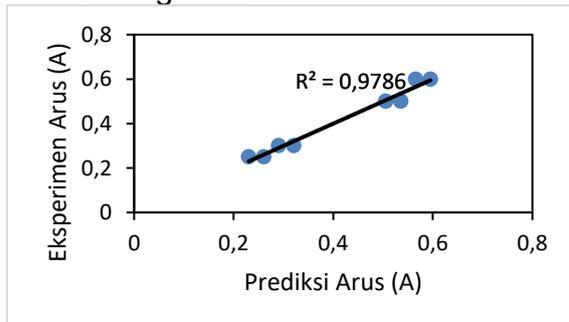
Tabel 2 menunjukkan perubahan nilai arus listrik seiring dengan penambahan waktu proses. Arus listrik secara perhitungan pada tegangan 5 volt mengalami sedikit penurunan dari 0.30 A menjadi 0.25 A. Pada tegangan 9 volt arus listrik dari 0.6A menjadi 0.50 A setelah proses elektrolisis berlangsung 30 menit.

Tabel 4. ANOVA untuk Model Arus Listrik ( $R^2 = 0.9786$ )

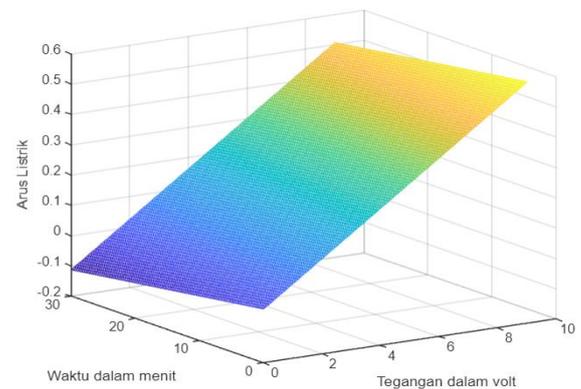
| Sumber Variasi | DF | SS    | MS    | F-value | p-value | Signifikansi       |
|----------------|----|-------|-------|---------|---------|--------------------|
| Model          | 5  | 97.86 | 19.57 | 145.8   | <0.001* | Sinyal sangat kuat |
| Residual       | 14 | 2.14  | 0.15  |         |         |                    |
| Lack of Fit    | 3  | 0.21  | 0.07  | 0.47    | 0.725   | Model valid        |
| Pure Error     | 11 | 1.93  | 0.18  |         |         |                    |
| Total          | 19 | 100   |       |         |         |                    |

Analisis varians (ANOVA) yang disajikan dalam Tabel 4 memperlihatkan evaluasi model arus listrik dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0.9786$ . Model ini menunjukkan signifikansi statistik yang sangat kuat, ditandai dengan nilai F yang tinggi (145,8) dan p-value yang sangat rendah (<0,001). Uji 'Lack of Fit' menghasilkan p-value 0,725 (tidak signifikan), yang mengindikasikan kesesuaian model dengan data eksperimental. Nilai residual yang rendah, yaitu hanya 2,14 dari total sum of squares 100, semakin memperkuat validitas model. Dengan demikian, persamaan kuadrat RSM yang dikembangkan terbukti mampu memprediksi arus listrik secara akurat berdasarkan parameter tegangan dan durasi proses elektrokoagulasi yang diterapkan

Gambar 6 menunjukkan antara hasil output eksperimen dengan hasil prediksi arus listrik pada proses elektrokoagulasi.

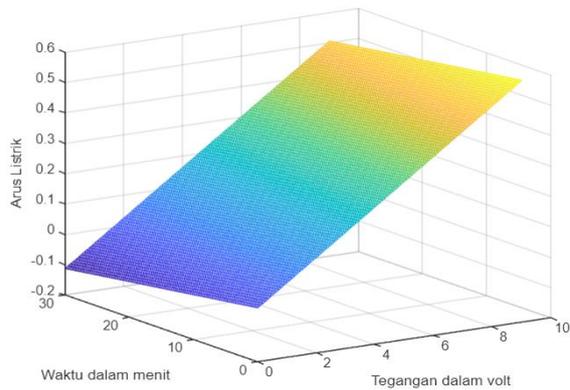


Gambar 6. Hasil aktual dan prediksi arus listrik menggunakan response surface methodology



Gambar 7 . Plot Arus Listrik Prediksi vs Arus Listrik Eksperimen untuk Validasi Model RSM.

Akurasi data pemodelan diperoleh R-Square sebesar 0.9786 yang menunjukkan akurasi sangat baik. Grafik R-Square dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 8. Kurva 3D hubungan antara waktu elektrolisis dan tegangan terhadap arus listrik

Semakin besar tegangan maka arus listrik akan semakin naik, hal ini sesuai dengan Hukum Ohm di mana arus berbanding lurus dengan tegangan sesuai persamaan:

$$I = \frac{V}{R}$$

Peningkatan tegangan menyebabkan medan listrik antara elektroda menjadi lebih kuat, sehingga elektron mengalir lebih cepat melalui larutan dan meningkatkan laju pelepasan ion  $Al^{3+}$  dari anoda. Sementara itu, semakin lama waktu proses maka arus listrik akan semakin menurun. Fenomena ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan flok  $Al(OH)_3$  yang menempel pada permukaan elektroda (pasivasi elektroda) dan menurunkan konduktivitas larutan seiring waktu. Selain itu, konsentrasi ion-ion yang bereaksi dalam larutan juga berkurang, sehingga mengurangi mobilitas pembawa muatan. Tegangan lebih berpengaruh terhadap arus dibandingkan dengan waktu proses karena tegangan secara langsung mengontrol laju transfer elektron sesuai Hukum Ohm, sementara waktu hanya memberikan kesempatan reaksi berlangsung hingga mencapai kesetimbangan atau saturasi elektroda.

Berdasarkan analisis *Response Surface Methodology* (RSM), model matematika untuk arus listrik pada proses elektrokoagulasi diperoleh

sebagai berikut:

$$\hat{y}_2 = 0.28 + 0.12x_1 - 0.04x_2 - 0.01x_1x_2 + 0.05x_1^2 + 0.03x_2^2 \quad (3)$$

Model ini menghasilkan tingkat akurasi sangat tinggi dengan  $R^2 = 0.979$ . Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan memiliki pengaruh lebih dominan terhadap arus listrik dibandingkan waktu proses, dimana peningkatan tegangan menyebabkan kenaikan arus listrik, sedangkan penambahan waktu proses cenderung menurunkan arus listrik."

Tabel 5. Nilai  $R^2$ , Adjusted  $R^2$  dan Predicted  $R^2$

| Respon       | $R^2$ | Adjusted $R^2$ | Predicted $R^2$ | Adequate Precision |
|--------------|-------|----------------|-----------------|--------------------|
| pH           | 0.601 | 0.532          | 0.412           | 8.12               |
| Arus Listrik | 0.979 | 0.968          | 0.952           | 24.6               |

Tabel 5 menunjukkan bahwa parameter statistik untuk evaluasi kualitas model kuadrat RSM. Nilai  $R^2$  sebesar 0.601 untuk pH mengindikasikan bahwa 60.1% variasi pH dapat dijelaskan oleh model, sedangkan nilai  $R^2$  sebesar 0.979 untuk arus listrik menunjukkan bahwa 97.9% variasi arus dapat dijelaskan oleh model. Perbedaan kecil antara  $R^2$  dan Adjusted  $R^2$  (0.601 vs 0.532 untuk pH; 0.979 vs 0.968 untuk arus listrik) mengkonfirmasi bahwa model tidak mengalami *overfitting*. Predicted  $R^2$  untuk arus listrik (0.952) yang mendekati  $R^2$  menunjukkan kemampuan prediksi model yang sangat baik, sementara Predicted  $R^2$  untuk pH (0.412) menandakan adanya variabel lain yang mungkin mempengaruhi pH di luar tegangan dan waktu. Karena nilai *Adequate Precision* untuk kedua respon lebih besar dari 4, maka model yang dihasilkan sudah cukup baik untuk digunakan dalam analisis dan optimasi, serta dapat membedakan hasil prediksi dengan tingkat kesalahan yang rendah

## **KESIMPULAN**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baik waktu proses maupun tegangan listrik berpengaruh nyata terhadap nilai pH dan arus listrik pada pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi menggunakan zat warna dispersi Terasil Red. Melalui pemodelan dengan *Response Surface Methodology* (RSM), diperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0.601 untuk model pH dan 0.979 untuk model arus listrik. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model yang dibangun cukup baik dalam memprediksi perubahan pH dan arus listrik berdasarkan variasi tegangan dan waktu proses. Dengan demikian, model ini dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan rentang pH dan arus listrik yang dihasilkan secara eksperimental, sehingga membantu proses optimasi pengolahan limbah cair secara lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

1. R. Amani-Ghadim, S. Aber, A. Olad, and H. Ashassi-Sorkhabi, "Optimization of electrocoagulation process for removal of an azo dye using *Response Surface Methodology* and investigation on the occurrence of destructive side reactions," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 64, pp. 68–78, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.cep.2012.10.012.
2. Beiramzadeh, Z., Baqersad, M., & Aghababaei, M. (2019). Application of the *Response Surface Methodology* (RSM) in heavy metal removal from real power plant wastewater using electrocoagulation. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1640139>
3. M. S. Bhatti, A. S. Reddy, R. K. Kalia, and A. K. Thukral, "Modeling and optimization of voltage and treatment time for electrocoagulation removal of hexavalent chromium," *Desalination*, vol. 269, no. 1–3, pp. 157–162, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.desal.2010.10.055.
4. X. Chen, G. Chen, and P. Lock Yue, "Investigation on the electrolysis voltage of electrocoagulation," 2002. [Online]. Available: [www.elsevier.com/locate/ces](http://www.elsevier.com/locate/ces)
5. M. Kobya, E. Demirbas, M. Bayramoglu, and M. T. Sensoy, "Optimization of electrocoagulation process for the treatment of metal cutting wastewaters with *Response Surface Methodology*," *Water Air Soil Pollut*, vol. 215, no. 1–4, pp. 399–410, Feb. 2011, doi: 10.1007/s11270-010-0486-x.
6. A. M. Kurdistan, H. Daraei, L. Alaei, A. Maleki, L. Abasi, and A. Izadi, "Dye Removal Probing by Electrocoagulation Process: Modeling by MLR and ANN Methods," 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/251238431>
7. A. S. Mohammed, A. El-Gendi, K. El-Khatib, and S. H. Hassan, "Treatment of Textile Wastewater by Electrocoagulation Method: Case Study; Odiba Textile, Dyeing & Finishing Company," *Water, Energy, Food and Environment Journal An International Journal*, vol. 2, no. 1, p. 41, 2021, doi: 10.18576/wefej/020105.
8. V. Ridantami and B. Wasito, "JFN 2016," 2016.
9. M. S. Saad, O. Ben Kai, and M. D. H. Wirzal, "Process modelling and techno economic analysis for optimal design of integrated electrocoagulation-membrane system for dye removal in wastewater," *Chemosphere*, vol. 306, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135623.
10. F. W. Sausan, A. Rahma Puspitasari, and D. Yanuarita, "Studi Literatur Pengolahan Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Proses Adsorpsi, Filtrasi, dan Elektrolisis[A1]."  
J. R. Silva, F. Carvalho, C. Vicente, A. D. Santos, R. M. Quinta-Ferreira, and L. M. Castro, "Electrocoagulation treatment of cork boiling wastewater," *J Environ Chem Eng*, vol. 10, no. 3, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107750.