



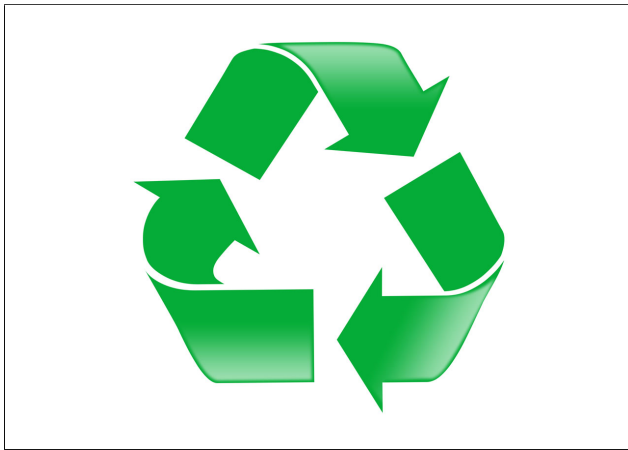
ARTIKEL PENELITIAN

Optimasi proses adsorpsi zat warna indigosol di air limbah artifisial menggunakan *response surface methodology* dengan pendekatan *desirability function*

Rifawany Grace Sitohang¹, Nina Juliana Roberta Turnip^{1,*}, Astiti Aditia¹

¹Program Studi Teknik Bioproses, Fakultas Bioteknologi, Institut Teknologi Del, Jl. Sisingamangaraja, Sitoluama, Laguboti, Toba Samosir, Sumatera Utara, 22381 Indonesia

Disubmit 17 Januari 2022; direvisi 12 Agustus 2022; diterima 25 Agustus 2022



OBJECTIVES The textile industry in Indonesia has grown to become one of non-oil and gas export foreign exchange contributor. Dyeing process in textile industry aims to give color to yarns and fabrics. Indigosol is one type of dye that is widely used in the textile industry. Indigosol dyes are used because it produces bright colors and do not fade easily. The dyeing stage requires adequate wastewater management and treatment because the dyes are synthetic containing dyes, organic compounds, heavy metals, and other hazardous compounds. **METHODS** The method that widely used in dye wastewater treatment is adsorption using activated carbon. The experiment design uses Box-Behnken Design (BBD) with 3 independent variables, namely artificial waste dye wavelength, artificial waste concentration, and activated carbon mass, each of which has three input levels. The solution concentration measurement before and after the adsorption process was carried out using a UV-Vis spectrophotometer and the measurement data was processed using Ms. Excel to obtain the percentage of dye adsorption in artificial wastewater. Furthermore, the optimization process was carried out using a response surface methodology (RSM) with a desirability function (DF) approach aimed to obtaining an optimization of adsorption experiments on indigosol dye waste. **RESULTS** Absorbance measurements yield optimum wavelengths for each type of yellow, red, and violet indigosol were 470, 515, and 520 nm. Optimization results show that the optimum percen-

tage of adsorption at 58.0808 mg/L of wastewater feed concentration, 60 mg of activated carbon mass, and 502.3232 nm of dye wavelength. On the other hand, the experimental results showed that the percentage of adsorption was 97.59% at 50 mg/L wastewater feed concentration, 60 mg activated carbon mass, and 515 nm dye wavelength (red indigosol). This shows that the mass of activated carbon and feed concentration on the experiment provided a predictable response according to the optimization results. For wavelength of the dye is different between result of experiment and optimization, because the response at 502,3232 nm is not the optimal wavelength of the red indigosol dye. **CONCLUSIONS** In the experiment all terms of interaction between qualitative and quantitative factors were included. It was concluded that different relationships between quantitative factors and responses were modeled for each level of qualitative factors.

KEYWORDS adsorption; indigosol; liquid waste; optimization; RSM

TUJUAN Industri tekstil di Indonesia tumbuh menjadi salah satu sektor penyumbang devisa ekspor non-migas. Proses pewarnaan di industri tekstil berfungsi untuk memberikan warna pada benang dan kain. Indigosol merupakan salah satu jenis zat warna yang banyak digunakan pada industri tekstil. Pewarna jenis indigosol sering digunakan karena menghasilkan warna yang cerah dan tidak mudah luntur. Tahap pewarnaan membutuhkan pengelolaan dan pengolahan limbah cair yang memadai karena umumnya digunakan zat warna sintetis yang mengandung senyawa organik, logam berat, dan senyawa berbahaya lainnya. **METODE** Metode yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair zat warna adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif. Rancangan percobaan menggunakan *Box-Behnken Design (BBD)* dengan 3 variabel bebas yaitu panjang gelombang zat warna limbah artifisial, konsentrasi limbah artifisial, dan massa karbon aktif, yang masing-masing variabel memiliki tiga level input. Pengukuran konsentrasi larutan sebelum dan sesudah proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan data pengukuran diolah menggunakan Ms. Excel untuk memperoleh persentase penyerapan zat warna pada

*Korespondensi: nina21.turnip@gmail.com

limbah artifisial. Selanjutnya, proses optimasi dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM) melalui pendekatan *desirability function* (DF) yang bertujuan untuk memperoleh optimasi proses adsorpsi pada limbah zat warna indigosol. **HASIL** Pengukuran absorbansi menghasilkan panjang gelombang optimum untuk masing-masing jenis warna indigosol kuning, merah, dan violet adalah 470, 515, dan 520 nm. Hasil optimasi menunjukkan bahwa titik optimum persentase penjerapan berada pada konsentrasi umpan limbah 58,0808 mg/L, massa karbon aktif 60 mg, dan panjang gelombang zat warna 502,3232 nm. Di sisi lain, pengolahan hasil percobaan menunjukkan persentase penjerapan sebesar 97,59% pada konsentrasi umpan limbah 50 mg/L, massa karbon aktif 60 mg, dan panjang gelombang zat warna 515 nm (indigosol merah). Hal ini menunjukkan bahwa massa karbon aktif dan konsentrasi umpan pada penelitian memberikan respons yang diprediksi sesuai hasil optimasi. Hal ini berbeda dengan panjang gelombang dari zat warna, di mana respons pada hasil optimasi yaitu 502,3232 nm bukan merupakan panjang gelombang optimal dari zat warna indigosol merah. **KESIMPULAN** Pada percobaan, semua istilah interaksi antara faktor kualitatif dan kuantitatif dimasukkan, maka disimpulkan bahwa hubungan berbeda antara faktor kuantitatif dan respons yang dimodelkan untuk setiap tingkat faktor kualitatif.

KATA KUNCI adsorpsi; indigosol; limbah cair; optimasi; RSM

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil berperan dalam pemenuhan kebutuhan domestik akan produk tekstil dan penyerapan tenaga kerja dalam jumlah besar (Kementerian Perindustrian Republik Indonesia 2021). Batik sebagai salah satu bentuk kerajinan tekstil dan termasuk ke dalam warisan budaya Indonesia dan menjadi produk sandang yang berkembang pesat dengan corak/motif spesifik. Batik Pekalongan merupakan batik pecinan yang memiliki ciri khas yaitu warna bervariasi dan cerah. Batik Cirebon memiliki variasi corak yang beragam sedangkan batik Tasik memiliki warna dasar merah bata (Nurainun dkk. 2008). Batik tulis Sidomulyo memiliki tema kearifan lokal Kota Batu berupa tanaman hias dan bunga (Mustaniroh dkk. 2020). Proses pembuatan batik bervariasi dari ditulis, dicap, dan dicetak dengan mesin *printing*. Batik tulis dibuat di dasar bahan kain putih dan dilukis dengan lilin kemudian dicelup pada warna yang diinginkan. Setelah melalui proses pewarnaan beberapa kali, kain yang telah dibatik akan dicelupkan ke dalam bahan kimia untuk melarutkan lilin. Sama halnya dengan batik tulis, batik cap menggunakan proses yang sama hanya motif digambarkan melalui proses cap atau stempel tembaga (Nurainun dkk. 2008). Konsumsi sejumlah besar air tidak hanya terjadi saat proses pewarnaan, melainkan juga proses pengankjian (*desizing*) dan pengelantangan (*bleaching*) (Wikiandy dkk. 2013). Pada tahap pewarnaan, industri batik menggunakan pewarna alami, sintetis, ataupun kombinasi. Proses pengankjian bertujuan untuk menghilangkan kanji pada benang kain dengan oksidator (Kuntari 2006) dan menciptakan limbah cair yang mengandung kanji dan abu soda (Apriyani 2018), sedangkan proses pengelantangan biasanya menggunakan hidrogen peroksida untuk menghilangkan pigmen alam pada kain agar memperoleh

kain yang lebih putih sebelum diberikan corak/motif (Kuntari 2006).

Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2021), jumlah industri tekstil di Yogyakarta pada tahun 2017 sebanyak 586 unit dan meningkat di tahun 2019 sebanyak 1.195 unit. Badan Lingkungan Hidup daerah Yogyakarta melaporkan pada tahun 2017 volume limbah cair yang dihasilkan pada industri tekstil sebesar 25.000 juta liter dan meningkat setiap tahunnya. Limbah cair tersebut mengandung zat-zat berbahaya dan tidak dapat langsung dibuang pada badan perairan. Beberapa jenis zat warna tekstil sintetis antara lain *naphtol*, *indanthrene*, *procion*, *direk*, dan *indigosol*. Jenis-jenis pewarna tersebut mudah ditemukan di pasaran dan menciptakan warna yang cerah dan tidak mudah memudar (Fidiastuti, H.S., Lathifah 2018). Pewarna batik biasanya memiliki struktur aromatik kompleks yang menjadikannya lebih stabil dan sulit terdekomposisi (Ni'mah dkk. 2020). Zat warna sintetis lebih disukai karena komposisi pemakaian yang tetap, mudah diperoleh, memiliki banyak warna, dan harga relatif murah (Apriyani 2018). Terlepas dari manfaatnya untuk meningkatkan nilai produk kain, penggunaan zat warna sintetis dapat menimbulkan pencemaran warna pada efluen. Konsentrasi zat warna yang rendah pada efluen dapat terlihat pada badan air dan menjadi racun bagi organisme di perairan, terlebih lagi jika konsentrasi zat warna tersebut tinggi. Oleh sebab itu penting dilakukan pengolahan zat warna pada limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan.

Beberapa metode pengolahan limbah cair industri batik antarlain koagulasi dan flokulasi, oksidasi, adsorpsi, filtrasi membran, fotokatalitik, maupun elektrokatalitik (Ni'mah dkk. 2020; Qurratu dkk. 2018). Menurut Safrianti dkk. (2012), metode yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair zat warna adalah adsorpsi, karena merupakan proses yang relatif sederhana, efektifitas dan efisiensinya relatif tinggi, serta tidak beracun. Penelitian tentang adsorpsi zat warna telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan penggunaan beberapa jenis adsorben, seperti zeolit, karbon aktif, kitosan, dan lempung (*clay*). Karbon aktif merupakan senyawa *amorf* yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon yang diberi perlakuan untuk mendapatkan daya adsorpsi yang tinggi. Perlakuan terhadap karbon aktif, meliputi perlakuan fisika dan kimia. Karbon aktif dapat mengadsorpsi senyawa-senyawa kimia yang bersifat selektif, bergantung pada luas permukaannya (Darmawan dkk. 2015). Karbon aktif yang umumnya digunakan pada adsorpsi zat warna memiliki luas permukaan 3000 m²/g hingga 3500 m²/g (Hartanto 2010). Umumnya karbon aktif komersial dibuat dari batubara (antrasit, bitumen, lignit), cangkang buah kelapa, dan kayu (Koehlert 2017).

Response Surface Methodology (RSM) merupakan kumpulan teknik statistik dan matematika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan proses. Aplikasi RSM di industri untuk situasi di mana beberapa variabel input berpotensi mempengaruhi ukuran kinerja atau karakteristik kualitas produk atau proses. Ukuran kinerja atau karakteristik kualitas disebut repons, dan biasanya RSM melibatkan lebih dari satu respons. Variabel input disebut sebagai variabel independen yang dikendalikan oleh *engineer* atau peneliti sebagai pengguna. RSM memungkinkan pengguna untuk belajar tentang proses atau sistem yang sedang dipelajari sebagai hasil yang diselidiki. RSM memas-

tikan bahwa pengguna akan mempelajari jawaban dari hal-hal yang mereka pertanyakan seperti (1) lokasi wilayah optimal, (2) jenis fungsi aproksimasi yang diperlukan, (3) pilihan eksperimen desain yang tepat, (4) berapa banyak replikasi yang dibutuhkan, dan (5) apakah transformasi pada tanggapan atau variabel proses diperlukan atau tidak (Myers dkk. 2016). Eksperimen rumit dan besar, memiliki banyak asumsi yang belum teruji, dan saat dijalankan dapat menyebabkan kesalahan yang mahal akibat pemborosan bahan atau material, upaya, dan waktu. Oleh karena itu, serangkaian eksperimen yang lebih kecil dapat meyakinkan beberapa asumsi di awal urutan dan memungkinkan eksperimen untuk melanjutkan ke tahap selanjutnya dengan keyakinan yang lebih besar. Penggunaan analisis dengan RSM dalam peningkatan kualitas produk dan proses adalah dengan melakukan pemodelan respons terukur atau fungsi variabel desain, dan menunjukkan area di wilayah desain di mana proses cenderung memberikan hasil yang 'diinginkan' (*desirable*) sebagai fungsi dari respons yang diprediksi (*desirability function*).

Rancangan percobaan adsorpsi diperoleh dari *Box-Behnken Design (BBD)* dengan 3 variabel bebas yaitu zat warna limbah artifisial, konsentrasi limbah artifisial, dan massa karbon aktif, yang masing-masing variabel memiliki tiga level input. Selanjutnya hasil penurunan zat warna pada limbah artifisial akan diolah menggunakan RSM melalui pendekatan *desirability function*. Pengolahan hasil menggunakan RSM bermanfaat untuk memudahkan pengguna dalam mengevaluasi interaksi antar parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi dan memberikan kondisi optimal sesuai respons yang diinginkan. Hal ini akan membantu pengguna dalam mengekstrak informasi dari percobaan sebagai langkah strategis untuk memeriksa dan mempertimbangkan beberapa parameter tujuan yang bersaing. Untuk proses adsorpsi sendiri telah umum dan luas digunakan dalam proses pengolahan limbah, baik cair ataupun gas. Lebih lanjut, melalui studi ini penulis ingin memberikan pandangan terkait variabel bebas kualitatif yaitu jenis zat warna limbah artifisial. Myers dkk. (2016) menyatakan pada bab 9 buku yang ditulisnya bahwa penelitian RSM yang melibatkan variabel kualitatif tetap harus dimasukkan dalam model dan desain, serta harus terlibat pada optimasi respons. Variabel kualitatif bukanlah faktor pengganggu, melainkan harus dilihat kemungkinan interaksi antara faktor kualitatif dan faktor kuantitatif.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan bahan

Adapun bahan yang dibutuhkan adalah indigosol komersial yang dibeli dari Kota Pekalongan. Indigosol dengan tiga warna yaitu kuning IGK, merah RF, dan violet 14R. Adsorben berupa granular karbon, asam klorida (HCl) p.a, dan akuades ter-

sedia pada Laboratorium Teknik Bioproses, IT Del. Asam klorida p.a diencerkan menggunakan akuades hingga konsentrasi 1 M. Asam klorida (HCl) 1 M digunakan sebagai agen kimia untuk aktivasi karbon aktif. Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis SP-3000 Nano Optima untuk mengukur panjang gelombang warna indigosol dan konsentrasi limbah artifisial. Software yang digunakan adalah *Minitab Statistical*.

2.2 Prosedur

Adsorben diaktivasi menggunakan HCl 1 M selama 24 jam. Selanjutnya adalah pembuatan limbah artifisial zat warna indigosol. Setelah limbah artifisial disiapkan, peneliti melakukan pengukuran panjang gelombang optimal dari tiga warna tersebut. Penentuan panjang gelombang optimum pada tiga jenis zat warna indigosol dilakukan dengan mengukurnya pada konsentrasi 0-100 ppm hingga memperoleh panjang gelombang optimum. Sebelum masuk ke proses adsorpsi, peneliti merancang jumlah percobaan menggunakan *Box-Behnken design (BBD)* dengan memasukkan parameter atau variabel bebas sebanyak 3 yaitu panjang gelombang warna limbah artifisial, konsentrasi limbah artifisial, dan massa karbon aktif. Tiap parameter memiliki 3 level input. Proses adsorpsi dilakukan secara batch pada skala laboratorium selama 180 menit dan dilakukan pengukuran absorbansi dengan spektrofotometer.

2.3 Data analisis

Rancangan *Box-Behnken Minitab* terdiri dari 15 percobaan. Setiap percobaan dilakukan pengukuran konsentrasi awal dan akhir proses adsorpsi. Hasil pengukuran konsentrasi yang diperoleh kemudian diolah menggunakan Ms. Excel untuk mendapatkan persentase penjerapan zat warna pada limbah artifisial. Selanjutnya proses optimasi dilakukan dengan menggunakan Minitab dengan metode *response surface methodology (RSM)* melalui pendekatan *desirability function (DF)*. Nilai DF besarnya 0 – 1. Nilai DF yang mendekati satu menandakan bahwa kombinasi variabel bebas dapat mencapai kombinasi optimal sesuai dengan respons yang dikehendaki (*desirable*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Persentase penjerapan zat warna pada limbah artifisial

Kusumawardhani dkk. (2016) dan Sukmawati (2018) menyatakan bahwa absorbansi maksimum dihasilkan dari pengukuran panjang gelombang optimum. Hasil pengukuran absorbansi maksimum menghasilkan panjang gelombang optimum untuk masing-masing jenis warna berturut-turut untuk indigosol kuning, merah, dan violet adalah 470, 515, dan 520 nm. Selanjutnya, adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi zat warna indigosol diaktivasi melalui perendaman dalam larutan HCl 1M yang selanjutnya dicuci dan dipanaskan dalam oven. Selama perendaman dalam larutan kimia, pori-pori yang sebelumnya tidak bisa diakses dapat terbentuk mikropori baru dan pori-pori yang sudah ada menjadi lebih besar (mesopori atau makropori). Hal tersebut disebabkan oleh bahan kimia yang menembus jauh ke dalam struktur karbon dan menghasilkan peningkatan luas permukaan karbon aktif (Budi dkk. 2016). Luas permukaan

TABEL 1. Pengaruh aktivasi karbon aktif terhadap persentase penjerapan.

Aktivasi	Jenis	Konsentrasi Umpan (mg/L)	Massa Adsorben (mg)	Penjerapan (%)
Dengan	Indigosol Red	50	60	97,59
Tanpa				64,27

TABEL 2. Percobaan eksperimen proses adsorpsi limbah artifisial zat warna indigosol.

Run	Konsentrasi Umpam Limbah (mg/L), X_A	Panjang Gelombang (nm), X_R	Massa Adsorben (mg), X_L
1	75	515	50
2	100	520	50
3	50	515	60
4	75	515	50
5	100	515	60
6	75	520	60
7	75	515	50
8	100	470	50
9	100	515	40
10	75	470	60
11	50	515	40
12	50	470	50
13	75	520	40
14	75	470	40
15	50	520	50

karbon aktif mempengaruhi daya adsorpsi. Penelitian [Vera-yana dkk. \(2018\)](#) mengemukakan bahwa pori permukaan karbon dengan aktivasi HCl memiliki morfologi pori yang lebih besar dibandingkan yang tidak diaktivasi. Pori pada karbon tanpa aktivasi sebagian besar masih tertutup oleh hidrogen, tar, dan senyawa organik lain (abu, air, nitrogen, dan sulfur). Selama aktivasi dengan HCl, terjadi reaksi antara karbon dengan larutan asam dan membuat proses devolatilisasi terjadi, serta menciptakan situs yang lebih reaktif untuk adsorpsi ion logam ([Budi dkk. 2016](#)). Pada penelitian ini belum dilakukan pengukuran luas permukaan karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi. Meskipun demikian, adsorben teraktivasi yang digunakan pada proses adsorpsi zat warna indigosol telah membuktikan hasil persentase penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan adsorben tanpa aktivasi. Adapun perbedaan persentase penyerapan oleh karbon aktif yang teraktivasi dan tanpa aktivasi dilakukan pada jenis indigosol merah (Tabel 1). Selama proses adsorpsi menggunakan karbon aktif, gugus aktif seperti hidroksil (O-H), keton (=O), dan gugus karboksil (-COOH) ([National Research Council Committee 2010](#)) menyebabkan permukaan karbon aktif memiliki peran spesifik dalam berinteraksi dengan senyawa kimia adsorbat. Pada Tabel 2 disajikan percobaan dari rancangan Box-Behnken *Minitab* dan hasil persentase penyerapan zat warna.

3.2 Model optimasi dan pendekatan DF

Pada optimasi proses adsorpsi zat warna indigosol, metode yang digunakan adalah *response surface methodology* dengan desain eksperimen Box-Behnken Design (BBD). Desain eksperimen dengan BBD dipilih karena desain ini lebih efisien dengan jumlah *run* percobaan yang lebih sedikit ([Munawiroh dkk. 2020](#)). [Perincek dan Duran \(2016\)](#) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa BBD tepat digunakan dalam optimasi yang memakai tiga variabel, karena menghasilkan jumlah *run* yang lebih sedikit dan mampu memprediksi nilai optimum. Variabel yang digunakan sebagai respons adalah persentase penyerapan zat warna indigosol.

Tahap pertama dalam optimasi adalah meregresikan

data persentase penyerapan dari percobaan menjadi suatu persamaan. Pada persamaan ini persentase penyerapan merupakan variabel respon (Y), sedangkan variabel bebas/independen adalah konsentrasi umpam limbah (X_A), panjang gelombang zat warna (X_R), dan massa adsorben (X_L). Adapun persamaan optimasi diperoleh berupa polinomial tiga variabel berderajat dua pada Persamaan 1 berikut.

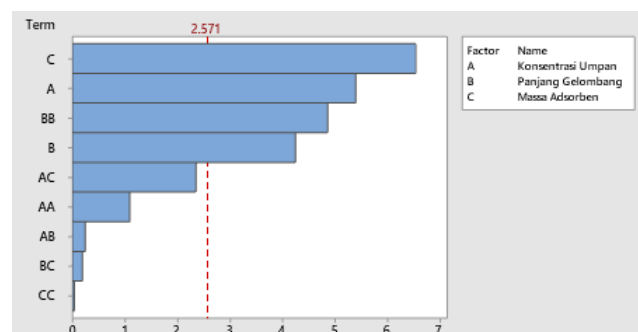
$$Y = -16,35 - 0,00128X_A + 0,0687X_R + 0,0014X_L - 0,000015X_A^2 - 0,000068X_R^2 - 0,000000X_L^2 - 0,000003X_AX_R + 0,000079X_AX_L - 0,000006X_RX_L \quad (1)$$

Tahap kedua dalam interpretasi model optimasi adalah menentukan variabel mana yang paling berpengaruh dalam persentase penyerapan zat warna melalui proses adsorpsi. Penentuan urutan kontribusi variabel dapat dilakukan menggunakan nilai *P-value* melalui analisis ANOVA. Level signifikansi (α) yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,05. Dengan demikian, variabel yang memiliki *P-value* $\leq 0,05$ merupakan variabel yang signifikan secara statistik. Berdasarkan nilai *P-value* diperoleh bahwa variabel yang tidak signifikan adalah variabel X_AX_A (*P-value* = 0,323), X_LX_L (*P-value* = 0,972), X_AX_R (*P-value* = 0,814), X_AX_L (*P-value* = 0,065), X_RX_L (*P-value* = 0,856). Nilai *P-value* pada ANOVA divisualisasikan pada diagram pareto (Gambar 1)

Pada Gambar 1, suku yang tidak signifikan merupakan suku dengan panjang batang tidak mencapai garis referensi 2,571 (*t-value*). Suku yang tidak signifikan dalam persamaan kuadrat adalah suku interaksi dua variabel (X_AX_R , X_AX_L dan X_RX_L) dan suku berpangkat untuk variabel X_AX_A dan X_LX_L , sedangkan suku linear X_A , X_R , dan X_L merupakan variabel yang berpengaruh terhadap respons. Peningkatan akurasi persamaan optimasi dapat dilakukan dengan eliminasi variabel yang tidak signifikan. Eliminasi variabel insignifikan (X_AX_R , X_AX_L , X_RX_L) menghasilkan persamaan optimasi pada Persamaan 2 berikut.

$$Y = -16,37 - 0,00101X_A + 0,0681X_R + 0,0042X_L - 0,000015X_A^2 - 0,000068X_R^2 - 0,000003X_L^2 \quad (2)$$

Prediksi model pada Persamaan 1 memiliki nilai R^2 dan S adalah 91,49% dan 0,0192925, sedangkan pada Persamaan 2 memiliki R^2 dan S berturut-turut adalah 96% dan 0,016720. Peningkatan terjadi dengan mengeliminasi variabel insigni-



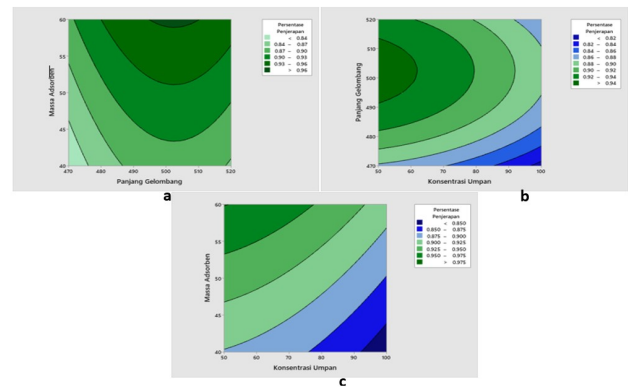
GAMBAR 1. Diagram pareto

fikan sehingga nilai R^2 meningkat dan nilai S menurun. Peningkatan nilai koefisien determinasi (R^2) dan penurunan nilai S mengindikasikan persamaan optimasi pada Persamaan 2 memiliki korelasi yang lebih tinggi (Putra dkk. 2016). Akurasi persamaan optimasi ditunjukkan dari derajat korelasi yang tinggi antara hasil percobaan terhadap model yang dihasilkan. Pada penelitian, derajat korelasi pada model Persamaan 2 sebesar 96% dengan respons yang berpengaruh adalah A, B, C, dan BB (Gambar 1).

Tahapan ketiga adalah penentuan titik optimum menggunakan persamaan 2. Proses optimasi dilakukan dengan pendekatan *Desirability Function* (DF). Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan untuk produk akhir. Nilai DF yang semakin mendekati nilai 1,0 maka program mampu dalam menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna. Namun tujuan optimasi bukan untuk memperoleh nilai DF setinggi-tingginya, namun untuk mencari kondisi terbaik yang mempertemukan semua fungsi tujuan (Nurmiah dkk. 2013).

Plot kontur pada Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa kondisi optimum proses adsorpsi zat warna indigosol berada pada panjang gelombang dengan rentang 495–515 nm dan massa adsorben dengan rentang 58–60 mg dengan persentase penjerapan >96%, (b) menunjukkan bahwa kondisi optimum proses adsorpsi zat warna indigosol berada pada panjang gelombang dengan rentang 495–515 nm dan konsentrasi umpan dengan rentang 50–60 mg/L dengan persentase penjerapan >94%, dan (c) menunjukkan bahwa kondisi optimum proses adsorpsi zat warna indigosol berada pada konsentrasi umpan dengan rentang 50–75 mg/L dan massa adsorben dengan rentang 58–60 mg dengan persentase penjerapan >96%.

Hasil optimasi memperoleh titik optimum persentase penjerapan pada konsentrasi umpan limbah (X_A) 58,0808 mg/L, massa karbon aktif (X_I) 60 mg, dan panjang gelombang zat warna (X_R) 502,3232 nm. Model memperkirakan bahwa kombinasi konsentrasi umpan limbah, panjang gelombang dan massa adsorben pada nilai tersebut akan menghasilkan persentase penjerapan zat warna indigosol sebesar 96,81%. Di sisi lain, pengolahan hasil percobaan menunjukkan persentase penjerapan sebesar 97,59% pada konsentrasi umpan limbah 50 mg/L, massa karbon aktif 60 mg, dan panjang gelombang zat warna 515 nm (indigosol merah). Hal ini menunjukkan bahwa massa karbon aktif dan konsentrasi umpan pada percobaan memberikan respons yang diprediksi sesuai hasil optimasi. Namun beda halnya dengan panjang gelombang dari zat warna, karena respons pada hasil optimasi yaitu 502,3232 nm tidaklah merupakan panjang gelombang optimal dari zat warna indigosol merah. Menurut Myers dkk. (2016), titik tengah saat mendesain faktorial adalah beberapa variabel kuantitatif dengan satu variabel kualitatif. Zat warna merupakan variabel kualitatif yang digeser menjadi variabel kuantitatif sebagai panjang gelombang zat warna. Jika tidak ada istilah interaksi yang dimasukkan antara kualitatif dan kuantitatif, maka asumsinya bahwa hubungan antar faktor kuantitatif dan respons tetap sama, tetapi hanya dengan pergeseran tetap terhadap tiap level faktor kualitatif. Pada hasil eksperimen ini, semua istilah interaksi antara faktor kualitatif dan kuantitatif dimasukkan, maka disim-



GAMBAR 2. Plot kontur variabel bebas terhadap persentase penjerapan

pulkan bahwa hubungan berbeda antara faktor kuantitatif dan respons yang dimodelkan untuk setiap tingkat faktor kualitatif. Menurut Afandi dan Purwanto (2018), warna kuning terukur pada rentang 435–480 nm, sedangkan untuk warna merah hingga violet berada pada rentang 490–580 nm. Hasil optimasi yang menunjukkan respon panjang gelombang 502,3232 nm didekati berada pada spektrum warna merah.

4. KESIMPULAN

Aktivasi adsorben telah berhasil dilakukan secara kimia menggunakan asam klorida dan mampu digunakan dalam proses adsorpsi zat warna indigosol. Pengolahan hasil percobaan menunjukkan persentase penjerapan sebesar 97,59% pada konsentrasi umpan limbah 50 mg/L, massa karbon aktif 60 mg, dan panjang gelombang zat warna 515 nm (indigosol merah). Hal ini menunjukkan bahwa massa karbon aktif dan konsentrasi umpan pada percobaan memberikan respons yang diprediksi sesuai hasil optimasi. Namun nilai panjang gelombang zat warna optimasi berbeda dengan percobaan yang tidak mengindikasikan jenis zat warna yang dipakai pada percobaan. Pada hasil eksperimen ini, semua istilah interaksi antara faktor kualitatif dan kuantitatif dimasukkan, maka disimpulkan bahwa hubungan berbeda antara faktor kuantitatif dan respons yang dimodelkan untuk setiap tingkat faktor kualitatif. Lebih lanjut, perlu evaluasi karakteristik varian prediksi desain, beberapa penyesuaian diperlukan untuk model termasuk faktor kualitatif.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Insitut Teknologi Del yang memberikan bantuan dana penelitian hibah internal, sehingga penelitian ini dapat berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi R, Purwanto A. 2018. Spektrofotometer cahaya tampak sederhana untuk menentukan panjang gelombang serapan maksimum larutan $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ dan CuSO_4 . <https://eprints.uny.ac.id/56793/1/SKRIPSI%20RISKI%20AFANDI%2013306141006%20FISIKA.pdf>.
- Apriyani N. 2018. Industri batik: Kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. 3(1):21–29. doi:10.33084/mitl.v3i1.640.

- Budi E, Umiatin, Nasbey H, Bintoro RA, Wulandari F, Erlina. 2016. Activated coconut shell charcoal carbon using chemical-physical activation. p. 050003. doi:10.1063/1.4941886.
- Darmawan S, Syafii W, J Wistara N, Maddu A, Pari G. 2015. Kajian struktur arang-pirolisis, arang-hidro dan karbon aktif dari kayu Acacia mangium Willd. menggunakan difraksi Sinar-X. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33(2):81–92. doi:10.20886/jphh.2015.33.2.81-92.
- Fidiastuti, HS, Lathifah A. 2018. Uji karakteristik limbah cair industri batik Tulungagung: Penelitian pendahuluan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek Iii*:296–300. <https://publikasiilmiah.ums.ac.id>.
- Hartanto. 2010. Pembuatan karbon aktif dari empurung kelapa Sawit dengan metode aktivasi kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 12(1):12–16. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/4588/4002>.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2021. Mendorong kinerja industri tekstil dan produk tekstil di tengah pandemi:1–37. <https://kemenperin.go.id/download/26656/Buku-Analisis-Industri-Tekstil-dan-Produk-Tekstil-2021>.
- Koehlert K. 2017. Activated carbon: Fundamentals and new applications. <https://www.cabotcorp.com/-/media/files/articles/activated-carbon/article-chemical-engineering-july-2017-activated-carbon-fundamentals-and-new-applications.pdf?la=en&rev=211d1e28bccf4a579b12716f0a7a4451>.
- Kuntari. 2006. Optimalisasi proses desizing, scouring, bleaching Dan caustisizing secara simultan. *Indonesian Journal of Materials Science*. 3(2):118–123. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jsmi/article/view/5068/4390>.
- Kusumawardhani N, Sulistyarti H, Atikah. 2016. Penentuan panjang gelombang maksimum dan pH optimum dalam pembuatan tes kit sianida berdasarkan pembentukan hidrindantin. *Kimia Student Journal*. 1(1):711–717. <https://www.neliti.com/publications/249790/penentuan-panjang-gelombang-maksimum-dan-ph-optimum-dalam-pembuatan-tes-kit-sian>.
- Munawiroh SZ, Handayani FS, Nugroh BH. 2020. Optimasi formulasi nanoemulsi minyak biji anggur energi tinggi dengan Box Behnken Design (BBD). *Majalah Farmasetika*. 4. doi:10.24198/mfarmasetika.v4i0.25864.
- Mustaniroh SA, Dewi IA, Subagiyo A, Fajriani S. 2020. Improvement of batik liquid waste quality with IPAL mini technology: Case on flower tourism Sidomulyo village in Batu, Indonesia. *Indonesian Journal of Cultural and Community Development*. 8. doi:10.21070/ijccd2021690.
- Myers RH, Montgomery DC, Anderson-Cook CM. 2016. *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. 4th editio edition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://www.wiley.com/en-us/Response+Surface+Methodology%3A+Process+and+Product+Optimization+Using+Designed+Experiments%2C+4th+Edition-p-9781118916032>.
- National Research Council Committee. 2010. Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals. Washington, D.C.: National Academies Press. doi:10.17226/12978.
- Ni'mah YL, Rohmawati I, Ulfin I, Harmami H, Juwono H, Sugiarso D, Kurniawan F, Suprpto S. 2020. The adsorption of remasol, indigosol and naphtol yellow mixed dyes using activated carbon. p. 030017. doi:10.1063/5.0002666.
- Nurainun, Rasyimah, Heriyana. 2008. Analisis industri batik di Indonesia. *Fokus Ekonomi*. 7(3):124–135. <https://media.neliti.com/media/publications/24399-ID-analisis-industri-batik-di-indonesia.pdf>.
- Nurmiah S, Syarief R, Sukarno S, Peranginangin R, Nurmata B. 2013. Aplikasi response surface methodology pada optimalisasi kondisi proses pengolahan Alkali Treated Cottonii (ATC). *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 8(1):9. doi:10.15578/jpbkp.v8i1.49.
- Perincek S, Duran K. 2016. Optimization of enzymatic & ultrasonic bio-scouring of linen fabrics by aid of Box-Behnken Experimental Design. *Journal of Cleaner Production*. 135:1179–1188. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.193.
- Putra AM, Fadli A, Helwani Z. 2016. Optimasi pembuatan Tricalcium Phosphate (TCP) berpori dengan metode protein foaming-starch consolidation menggunakan analisa Response Surface Methodology (RSM). 15(2):1–23. <https://media.neliti.com/media/publications/206158-optimasi-pembuatan-tricalcium-phosphate-t.pdf>.
- Qurratu WN, Wan Manan A, Santanaraja J, Sajab MS, Wan Isahak WNR, Hua Chia C. 2018. Discoloration of batik effluent by chemically modified oil palm empty fruit bunch fibers. *Jurnal Kejuruteraan*. SI1(4):87–92. doi:10.17576/jukm-2018-si1(4)-11.
- Safrianti I, Wahyuni N, Zaharah TA. 2012. Adsorpsi timbal (II) oleh selulosa limbah jerami padi teraktivasi asam nitrat: pengaruh pH dan waktu kontak. 1(2015):7–8. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/833/749>.
- Sukmawati. 2018. Optimasi dan validasi metode analisis dalam penentuan kandungan total flavonoid pada ekstrak daun gedi hijau (*Abelmoscus manihot* L.) yang diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *PHARMACON Jurnal Ilmiah Farmasi-UNSRAT*. 7(3):32–41. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/pharmacan/article/view/20117>.
- Verayana, Paputungan M, Iyabu H. 2018. Pengaruh aktivator HCl dan H3PO4 terhadap karakteristik (morfologi pori) arang aktif tempurung kelapa serta uji adsorpsi pada logam timbal (Pb). *Jurnal Entropi*. 13(1):67–75. <https://www.neliti.com/publications/277418/pengaruh-aktivator-hcl-dan-h3po4-terhadap-karakteristik-morfologi-pori-arang-akt>.
- Wikiandy N, Rosidah, Herawati T. 2013. Dampak Pencemaran Limbah Tekstil Terhadap Kerusakan Struktur Organ Ikan Yang Hidup di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum Bagian Hulu - Textile Industrial Waste Pollution Impact Upon Organ Structure Damage On Fish In Upper Citarum River. <https://www.semanticscholar.org/paper/Dampak-Pencemaran-Limbah-Tekstil-Terhadap-Kerusakan-Wikiandy-Rosidah/211d6e59bdd346c5f42d758d994d341be9c9f731>.