

PENGARUH KONSENTRASI H_3PO_4 , LAJU ALIR, DAN UKURAN GRANULA ZEOLIT TERHADAP EFEKTIVITAS ADSORPSI REMAZOL BLUE RSP

EFFECT OF H_3PO_4 CONCENTRATION, FLOW RATES, AND GRANULE SIZE OF ZEOLITE ON THE ADSORPTION EFFECTIVENESS OF REMAZOL BLUE RSP

Erfan Priyambodo*, Arni Febriyanti

Departemen Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Yogyakarta, Jalan Colombo No 1, Karang Malang, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia, 55281

*Korespondensi: erfan@uny.ac.id

Abstrak

Era Industrialisasi menggerakkan kemajuan teknologi di berbagai sektor industri tekstil. Perwarna sintetik *Remazol Blue RSP* menjadi bahan utama dalam industri tersebut. Limbah *Remazol Blue RSP* bersifat sulit didegradasi, toksik, dan karsinogen, sehingga dapat merusak kehidupan akuatik dan vegetatif jika air yang terkontaminasi masuk ke perairan tanpa melalui proses pengolahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengolahan limbah *Remazol Blue RSP* menggunakan metode adsorpsi kolom dengan adsorben zeolit alam Hargomulyo. Membandingkan karakteristik zeolit nonaktivasi dengan teraktivasi H_3PO_4 pada variasi konsentrasi, laju alir, dan ukuran granula serta pengaruhnya terhadap efektivitas adsorpsi *Remazol Blue RSP*. Zeolit disiapkan menjadi ukuran granula 10-18 dan 18-35 mesh. Zeolit diaktivasi secara kimia dengan aktivator H_3PO_4 pada variasi konsentrasi 1, 3, dan 5 M, dicuci dan dikeringkan dengan oven pada suhu $120^{\circ}C$. Aktivasi secara fisika menggunakan *muffle furnace* pada suhu $600^{\circ}C$. Proses adsorpsi dilakukan dengan dua variasi laju alir (0,2994 dan 0,5988 L/jam). Konsentrasi limbah simulasi *Remazol Blue RSP* sebelum dan sesudah adsorpsi dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi zeolit menggunakan XRD dan SEM dengan hasil zeolit jenis Mordenit. Penelitian ini menunjukkan efektivitas adsorpsi *Remazol Blue RSP* tertinggi sebesar 67,182%, pada kondisi optimum zeolit teraktivasi H_3PO_4 5 M, ukuran granula 18-35 mesh, dan pada laju alir kolom adsorpsi lambat (0,2994 L/jam).

Kata kunci: adsorpsi, *Remazol Blue RSP*, zeolit

Abstract

The Industrialization era propelled technological advancements in various sectors, including the textile industry. The synthetic dye Remazol Blue RSP became a primary material in this industry. Remazol Blue RSP waste is difficult to degrade, toxic, and carcinogenic, thus posing a threat to aquatic and vegetative life if contaminated water enters water bodies without undergoing treatment processes. This study aims to analyzed the treatment of Remazol Blue RSP waste using the column adsorption method with natural zeolite adsorbent from

Hargomulyo. It compares the characteristics of non-activated zeolite with H_3PO_4 -activated zeolite concerning variations in concentration, flow rate, and grain size and their influence on the effectiveness of Remazol Blue RSP adsorption. Zeolite is prepared in grain sizes of 10-18 and 18-35 mesh. Chemical activation of zeolite is carried out using H_3PO_4 activator at concentrations of 1, 3, and 5 M, followed by washing and drying in an oven at 120°C. Physical activation is done using a muffle furnace at 600°C. Adsorption process is conducted with two flow rate variations (0.2994 and 0.5988 L/hour). The concentrations of simulated Remazol Blue RSP waste before and after adsorption are analyzed using UV-Vis spectrophotometer. Zeolite characterization is performed using XRD and SEM, revealing Mordenite type zeolite. This study demonstrates the highest adsorption effectiveness for Remazol Blue RSP at 67.182%, under optimum conditions of H_3PO_4 -activated zeolite at 5 M concentration, grain size of 18-35 mesh, and slow adsorption column flow rate (0.2994 L/hour).

Keywords: adsorption, Remazol Blue RSP, zeolite

Pendahuluan

Era Industrialisasi abad ke-21 menggerakkan kemajuan teknologi di berbagai sektor industri di Indonesia. Salah satu industri yang banyak berkembang di kota Yogyakarta adalah industri kimia berbasis tekstil pada bidang sentra batik. Perwarna sintetik menjadi salah satu bahan utama yang digunakan dan dimanfaatkan dalam industri tersebut [1]. *Remazol Blue RSP* merupakan zat warna sintetik antrakuinon yang digunakan sebagai bahan pewarna reaktif produksi pewarna polimer dan pencelupan tekstil, karena tahan luntur, stabilitas fotolitik tinggi, kelarutan dalam air tinggi, dan ketahanan tinggi terhadap mikroba. *Remazol Blue RSP* tersusun atas gugus ikatan C=O, C=C, N-H, C-O, C-H, dan C-C. Senyawa ini berbentuk bubuk halus dengan warna biru kehitaman. *Remazol Blue RSP* mempunyai spektrum cahaya pada panjang gelombang UV-Visibel antara 400-700 nm [2]. *Remazol Blue RSP* merupakan senyawa organik aromatik antrakuinon dengan daya kelarutan dalam air sangat baik. *Remazol Blue RSP* termasuk ke dalam *Reactive Blue 19*, yang merupakan golongan pewarna reaktif. *Remazol Blue RSP* tersusun atas gugus azo dengan struktur (N=N-) yang menyebabkan terjadinya hidrolisis senyawa dalam air. Gugus ikatan C=O, dan -C=C pada *Remazol Blue RSP* bersifat sulit didegradasi lingkungan (*nonbio-degradable*). Paparan *Remazol Blue RSP* dosis tinggi dapat menyebabkan iritasi, gangguan pernapasan dan pencernaan, toksik, serta karsinogen. Limbah *Remazol Blue RSP* dapat merusak kehidupan akuatik dan vegetatif jika air yang terkontaminasi masuk ke perairan tanpa melalui proses pengolahan [3].

Zeolit merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang tersusun atas tetrahedral kation Si dan oksida Al yang terhubung dengan ion oksigen menjadi unit sekunder dua dimensi dan tiga dimensi. Zeolit mempunyai struktur kerangka tiga dimensi yang terbentuk dari tetrahedral $[SiO_4]^{4-}$ dan $[AlO_4]^{5-}$. Zeolit berbentuk kristal teratur dengan rongga yang berhubungan dan mempunyai luas permukaan besar. Zeolit digunakan sebagai adsorben karena memiliki kemampuan sebagai agen penukar kation, adsorben, dan katalisator. Peran zeolit alam adalah menyerap senyawa anorganik, organik, *organometallic*, gas, logam, dan radionuklida dari suatu zat cair. Ketersediaan material zeolit di alam melimpah dan mempunyai efisiensi tinggi dalam menghilangkan logam berat pada *Remazol Blue RSP* [4].

Granula atau *gravel* merupakan gumpalan-gumpalan dari partikel lebih kecil dengan bentuk tidak merata menjadi partikel tunggal yang lebih besar. Ukuran granula digunakan pada

penelitian ini karena mempunyai luas permukaan internal lebih besar, sehingga dapat berfungsi sebagai penyaring karena mempunyai jarak antar partikel tidak terlalu rapat dan tidak akan menghambat jalur air pada kolom adsorpsi atau menyebabkan terjadinya. Metode adsorpsi banyak digunakan pada pengolahan limbah zat warna karena sifatnya yang mudah dilakukan, efisien, dan penggunaan energi yang rendah. Metode adsorpsi kolom dipilih karena bersifat kontak terus-menerus (kontinu) antara adsorbat dengan adsorben sehingga proses adsorpsi berlangsung optimal hingga kondisi jenuh. Proses adsorpsi kolom mempunyai efektivitas yang lebih besar dan menguntungkan dibandingkan sistem *batch* [5]. Zeolit yang terdapat di alam merupakan zeolit tidak murni atau masih bercampur dengan mineral-mineral lain. Struktur kristal zeolit banyak mengandung pengotor seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Fe^{3+} , menyebabkan tingkat kristalinitasnya kurang baik. Pengotor-pengotor tersebut dapat mengurangi aktivitas dari zeolit alam. Zeolit alam yang digunakan sebagai adsorben, katalis, maupun aplikasi lainnya perlu dilakukan aktivasi atau modifikasi terlebih dahulu sehingga nilai aktivitasnya meningkat [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan karakteristik zeolit nonaktivasi dengan zeolit teraktivasi H_3PO_4 pada variasi konsentrasi, laju alir, dan ukuran granula zeolit alam serta pengaruhnya terhadap efektivitas adsorpsi *Remazol Blue RSP* melalui penentuan efektivitas dan kondisi optimum kinerja zeolit alam berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan metode adsorpsi kolom.

Metode

Preparasi Zeolit Alam Hargomulyo

Zeolit dilakukan pemecahan dan pengayakan menjadi dua ukuran granula zeolit yaitu 10-18 dan 18-35 mesh, kemudian direndam 24 jam dalam akuades, dicuci, dan dikeringkan dengan oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Karakterisasi sampel zeolit dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD).

Aktivasi Zeolit Alam Hargomulyo

Aktivasi kimia zeolit alam dilakukan dengan aktivator H_3PO_4 pada variasi konsentrasi 1, 3, dan 5 M. Zeolit direndam selama 24 jam dalam larutan H_3PO_4 , kemudian dicuci dengan akuades hingga pH netral. Zeolit dikeringkan dengan oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Aktivasi fisika dilakukan melalui pemanasan (kalsinasi) menggunakan *muffle furnace* pada suhu 600 °C selama 3 jam.

Pembuatan Larutan Induk dan Limbah Simulasi Remazol Blue RSP

Larutan induk *Remazol Blue RSP* 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 0,1 gram serbuk *Remazol Blue RSP* dalam akuades dan diencerkan pada labu ukur 100 mL. Pembuatan larutan limbah simulasi dilakukan dengan mengencerkan 20 mL larutan induk *Remazol Blue RSP* 1000 ppm dalam labu takar 1000 mL. Pengukuran konsentrasi sebelum adsorpsi dilakukan menggunakan spektrofotometer Uv-Vis.

Penentuan λ_{max} dan Kurva Baku Larutan Standar Remazol Blue RSP

Penentuan panjang gelombang maksimum diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan larutan standar *Remazol Blue RSP* 20 ppm. Penentuan kurva baku larutan standar *Remazol Blue RSP* dilakukan menggunakan larutan standar *Remazol Blue RSP* 0,5; 1, 2, 4, 6, dan 8 ppm pada panjang gelombang maksimum yang telah ditentukan.

Adsorpsi Remazol Blue RSP

Proses adsorpsi menggunakan adsorben zeolit 10-18 dan 18-35 mesh pada kondisi nonaktivasi, teraktivasi H_3PO_4 1, 3, dan 5 M. Digunakan dua variasi laju alir kolom adsorpsi pada laju lambat (0,2994 L/jam) dan cepat (0,5988 L/jam). Adsorpsi kolom dilakukan dengan memasukkan adsorben granula zeolit setinggi 8 cm. Dialirkan *Remazol Blue RSP* pada laju alir yang telah ditentukan. Limbah simulasi *Remazol Blue RSP* hasil adsorpsi diukur konsentrasinya dengan spektrofotometer UV-Vis. Dilakukan cara sama untuk seluruh variasi granula zeolit alam.

Penentuan Efektivitas Adsorpsi

Nilai Efektivitas adsorpsi menyatakan persen penurunan konsentrasi zat warna *Remazol Blue RSP* setelah diadsorpsi menggunakan adsorben zeolit alam, melalui rumus:

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\%$$

C_0 = konsentrasi sebelum diadsorpsi

C_1 = konsentrasi setelah diadsorpsi

Karakterisasi SEM Zeolit Alam

Karakterisasi zeolit dengan SEM dilakukan terhadap 2 sampel variasi granula zeolit alam nonaktivasi dan 2 variasi granula zeolit alam teraktivasi dengan konsentrasi aktivator H_3PO_4 efektivitas adsorpsi optimum pada ukuran granula 10-18 dan 18-35 mesh. Dilakukan analisis perbandingan hasil analisis karakterisasi SEM terhadap keempat sampel.

Hasil dan Pembahasan

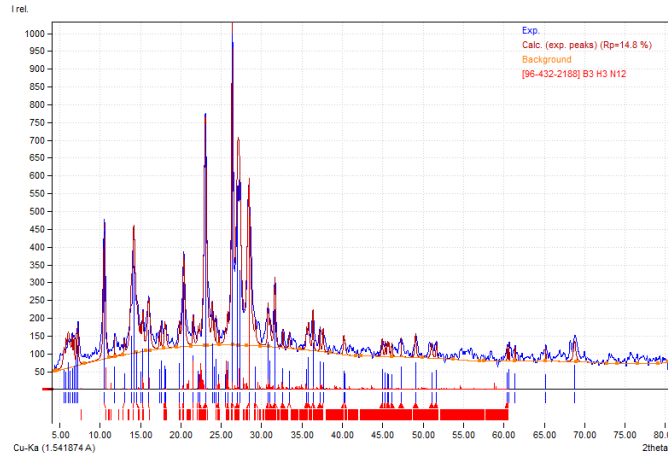
Karakterisasi Granula Zeolit menggunakan XRD

Karakterisasi granula zeolit alam menggunakan instrumen XRD pada penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan mineral dan mengkarakterisasi senyawa yang terdapat dalam zeolit alam sebelum digunakan sebagai adsorben. Hasil analisis dari XRD menghasilkan difraktogram pada Gambar 1 yang menunjukkan puncak-puncak (*peak*) pola difraksi dari struktur kristal zeolit alam pada penelitian ini.

Hasil karakterisasi XRD pada zeolit menunjukkan puncak-puncak difraktogram yang pola difraksinya dinyatakan sebagai sudut-sudut 2θ . Berdasarkan Tabel 3, dilakukan analisis perbandingan data 2θ puncak difraksi difraktogram zeolit alam Hargomulyo pada penelitian ini dengan data 2θ puncak difraksi zeolit jenis mordenit menurut data JCPDS (6-239).

Tabel data perbandingan puncak 2θ antara zeolit alam Hargomulyo pada penelitian ini menunjukkan puncak-puncak khas yang muncul dari puncak 2θ zeolit mordenit. Intarapong (2013), menyebutkan bahwa mineral mordenit mempunyai puncak yang khas pada $2\theta = 13,4$;

19,5; 21,8; 22,2; 25,5; 26,2; 27,6; dan 30,8, dengan puncak khas tertinggi berkisar antara $2\theta = 22,2$ dan $25,5$ atau $2\theta = 25,5$ dan $27,6$ [7]. Berdasarkan grafik difraktogram zeolit alam Hargomulyo pada Gambar 1, menunjukkan puncak-puncak khas 2θ yang sesuai dengan karakteristik mordenit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini merupakan zeolit alam jenis mordenit.



Gambar 1. Difraktogram Zeolit Alam Hargomulyo

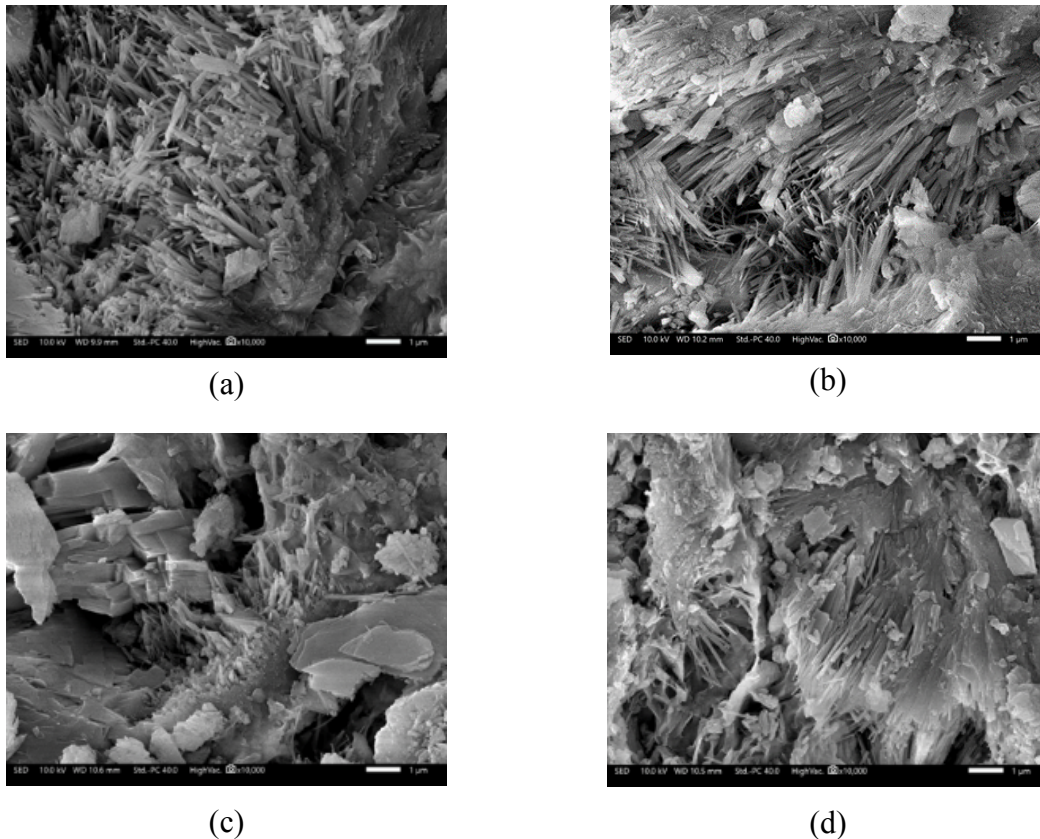
Mordenit merupakan jenis zeolit yang dihasilkan dari proses sedimentasi vulkanik. Zeolit mordenit pada umumnya mengandung silika yang tinggi (60% - 80%) dengan kandungan Si dan Al serta kation pada rongga erionit yang bervariasi. Komposisi kation sebagian besar didominasi oleh Na dalam bentuk Na^+ . Struktur mineral mordenit pada zeolit alam mempunyai rumus kimia unit sel yaitu $\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ [8]. Zeolit alam mordenit pada umumnya digunakan sebagai penukar ion, katalis, maupun adsorben karena mempunyai bentuk kristal teratur dengan situs asam berada pada dinding rongga yang berhubungan ke segala arah serta mempunyai luas permukaan yang besar.

Tabel 1. Puncak Difraktogram Zeolit

Zeolit Alam		Standar JCPDS (6-239) Zeolit Mordenit	
Puncak 2θ	d [Å]	Puncak 2θ	d [Å]
13,02	6,7998	13,36	6,62597
19,84	4,4751	19,50	4,55291
21,54	4,1256	21,84	4,06958
22,14	4,0151	22,21	4,00280
25,50	3,4932	25,50	3,49302
26,38	3,3786	26,20	3,40130
27,30	3,2668	27,60	3,23212
30,80	2,9031	30,79	2,90423

Karakterisasi Granula Zeolit menggunakan SEM

Karakterisasi zeolit alam menggunakan instrumen SEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan zeolit alam nonaktivasi dan zeolit alam teraktivasi optimum. Gambar 2 menunjukkan perbandingan struktur morfologi granula zeolit alam nonaktivasi dan teraktivasi H_3PO_4 5 M ukuran 10-18 dan 18-35 mesh pada perbesaran $10.000\times$

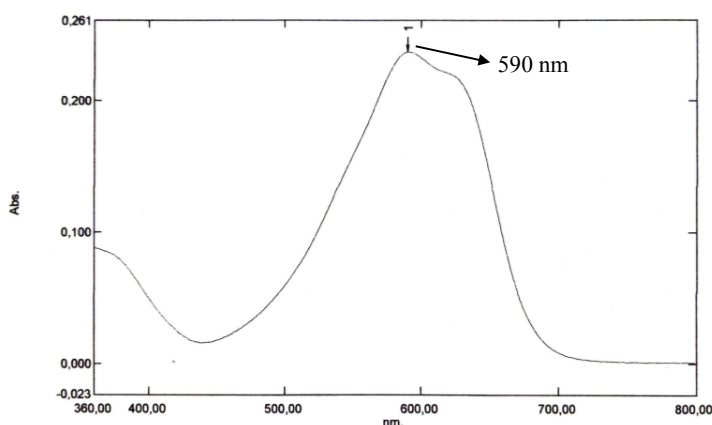


Gambar 2. Morfologi Permukaan Zeolit: (a) 10-18 Mesh Nonaktivasi, (b) 10-18 Mesh Teraktivasi H_3PO_4 5M, (c) 18-35 Mesh Nonaktivasi, dan (d) 18-35 Mesh Teraktivasi H_3PO_4 5M

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 2 (a) dan (c) yang merupakan granula zeolit (sebelum aktivasi) terlihat kristal mordenit berbentuk kristal jarum yang masih tertutupi oleh pengotor. Pada Gambar 2 (b) dan (d) yang merupakan zeolit (setelah aktivasi) dengan H_3PO_4 5 M menunjukkan bentuk kristal jarum yang lebih jernih dan pori-pori kristal lebih terlihat. Lo & Hsieh (1992), menyatakan bahwa zeolit mordenit merupakan mineral natrium, kalsium, dan kalium aluminosilikat terhidrasi yang mengkristal dalam bentuk titik-titik seperti jarum lurik, agregat berserat, dan pecahan prisma kecil [8]. Hasil SEM menunjukkan kesesuaian struktur kristal jarum zeolit modernit pada morfologi zeolit alam non aktivasi maupun zeolit alam teraktivasi. Hal ini dapat diartikan bahwa setelah adanya proses aktivasi terhadap zeolit tidak merubah atau merusak bentuk kristal zeolit, sehingga fungsi atau kemampuan kristal zeolit sebagai adsorben tidak berubah. Terlihat bahwa permukaan kristal zeolit sebelum aktivasi masih tertutup oleh pengotor dan kurang jernih dibandingkan dengan kristal zeolit hasil pemurnian yang terlihat lebih jernih serta pori-pori kristal terlihat lebih jelas. Kristal jarum zeolit mordenit tidak mengalami perubahan struktur, dihasilkan permukaan zeolit yang lebih bersih dari pengotor, dan situs aktif pori menjadi lebih banyak. Sehingga efektivitas adsorpsi zeolit alam teraktivasi lebih optimum dibandingkan dengan zeolit alam nonaktivasi.

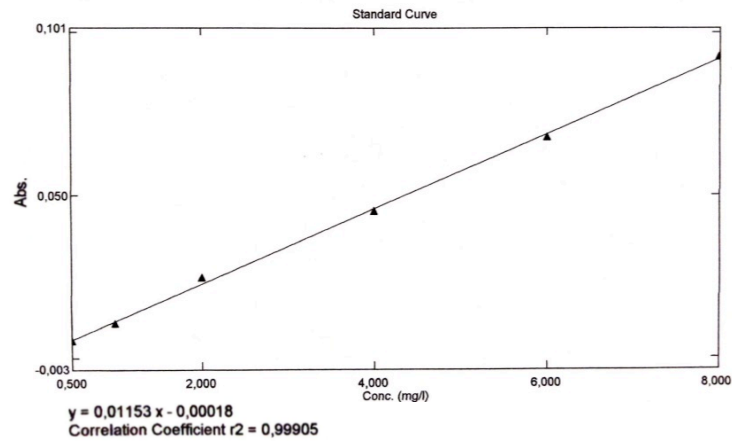
Penentuan Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Baku Larutan Standar Zat Warna *Remazol Blue RSP*

Penentuan panjang gelombang maksimum zat warna *Remazol Blue RSP* ditujukan untuk mengetahui daerah panjang gelombang penyerapan atau absorbansi maksimum dari *Remazol Blue RSP*. Penggunaan rentang panjang gelombang dalam penentuan panjang gelombang maksimum didasarkan pada spektrum cahaya warna komplementer biru dari zat warna *Remazol Blue RSP* yang berada pada wilayah *visible* (sinar tampak) dengan panjang gelombang 400-700 nm [9]. Pengukuran nilai panjang gelombang maksimum zat warna *Remazol Blue RSP* pada Gambar 3 diperoleh $\lambda_{max} = 590$ nm.



Gambar 3. Kurva Panjang Gelombang Maksimum *Remazol Blue RSP*

Kurva baku larutan standar *Remazol Blue RSP* pada Gambar 4 diperoleh persamaan regresi linier yang didasarkan pada hukum “Lambert Beer” dengan $y = 0,01153 x - 0,00018$, memberikan nilai $r^2 = 0,99905$. Persamaan regresi linier kurva baku larutan standar tersebut menunjukkan koefisien korelasi linier antara konsentrasi dan absorbansi sampel zat warna *Remazol Blue RSP*, dengan $y =$ absorbansi *Remazol Blue RSP*, $x =$ konsentrasi *Remazol Blue RSP* (ppm), nilai *slope* garis kemiringan sebesar 0,01153, serta intersep (perpotongan sumbu y) sebesar 0,00018. Persamaan regresi linier digunakan untuk menentukan konsentrasi *Remazol Blue RSP*. Koefisien korelasi digunakan dalam konteks hubungan 2 variabel *continue* pada data yang berkorelasi dengan perubahan variabel yang berkaitan, baik ke arah yang sama (positif) atau sebaliknya (negatif) dengan skala positif ($r = +1$) dan negatif ($r = -1$). Hubungan antar variabel terkorelasi semakin kuat apabila nilai koefisien korelasi (r) semakin mendekati 1 ($r = +1$) atau ($r = -1$) (Schober *et al.*, 2018). Nilai $r^2 = 0,99905$ pada penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi korelasi yang kuat antara dua variabel konsentrasi dan absorbansi pada sampel zat warna *Remazol Blue RSP*. Hasil kurva baku larutan standar pada penelitian ini dapat dikatakan linier karena mempunyai nilai koefisien korelasi mendekati 1 membentuk persamaan garis lurus yang didasarkan pada hukum Lambert-Beer.



Gambar 4. Kurva Baku Larutan Standar *Remazol Blue RSP*

Efektivitas Adsorpsi Zat Warna *Remazol Blue RSP*

Efektivitas adsorpsi merupakan presentase hasil perhitungan penurunan konsentrasi *Remazol Blue RSP* sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Pada penelitian ini hasil efektivitas adsorpsi pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan penggunaan dua laju alir kolom adsorpsi terhadap dua ukuran granula zeolit alam sebagai variabel pembanding dengan empat variasi perlakuan adsorben granula zeolit nonaktivasi dan granula zeolit alam teraktivasi H_3PO_4 .

Tabel 1. Efektivitas Adsorpsi *Remazol Blue RSP* pada Laju Alir Lambat ($0,2994 \text{ L/jam}$)

Jenis Zeolit	Ukuran Granula (mesh)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Efektivitas Adsorpsi (%)	Rata-Rata Efektivitas Adsorpsi (%)
Nonaktivasi	10-18	22,5147	19,2049	14,700	14,788
			19,1652	14,876	
Nonaktivasi	18-35	22,5147	18,2517	18,934	18,846
			18,2914	18,758	
Aktivasi H_3PO_4 1M	10-18	22,5147	16,8218	25,285	24,668
			17,0999	24,050	
Aktivasi H_3PO_4 1M	18-35	22,5147	14,7565	34,458	34,046
			14,9419	33,635	
Aktivasi H_3PO_4 3M	10-18	22,5147	12,7706	43,278	44,337
			12,2940	45,396	
Aktivasi H_3PO_4 3M	18-35	22,5147	11,2746	49,923	50,041
			11,2217	50,158	
Aktivasi H_3PO_4 5M	10-18	22,5147	10,2287	54,568	55,075
			10,0037	55,582	
Aktivasi H_3PO_4 5M	18-35	22,5147	7,35580	67,329	67,182
			7,42200	67,035	

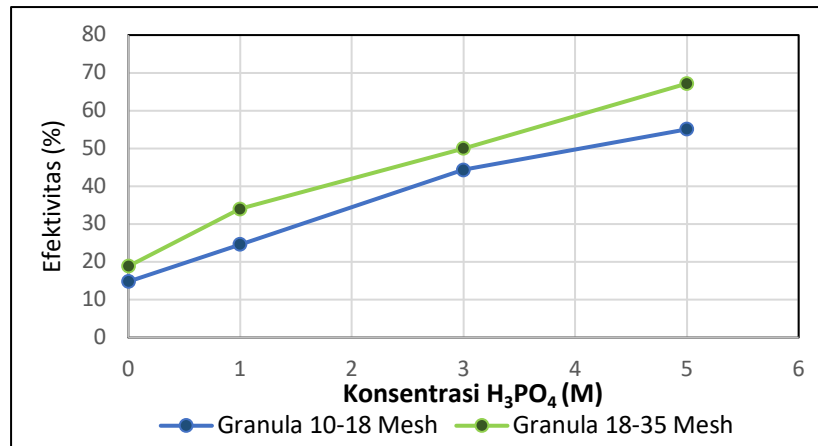
Tabel 2. Efektivitas Adsorpsi *Remazol Blue RSP* pada Laju Alir Cepat (0,5988 L/jam)

Jenis Zeolit	Ukuran Granula (mesh)	Konsentrasi Awal (ppm)	Konsentrasi Akhir (ppm)	Efektivitas Adsorpsi (%)	Rata-Rata Efektivitas Adsorpsi (%)
Nonaktivasi	10-18	22,5147	20,1316 20,3302	10,584 9,7020	10,143
Nonaktivasi	18-35	22,5147	18,7150 18,7415	16,876 16,758	16,817
Aktivasi H ₃ PO ₄ 1M	10-18	22,5147	17,9737 17,9075	20,169 20,463	20,316
Aktivasi H ₃ PO ₄ 1M	18-35	22,5147	15,8421 16,1069	29,636 28,460	29,048
Aktivasi H ₃ PO ₄ 3M	10-18	22,5147	14,4255 14,1608	35,928 37,104	36,516
Aktivasi H ₃ PO ₄ 3M	18-35	22,5147	12,6383 12,4264	43,866 44,808	44,337
Aktivasi H ₃ PO ₄ 5M	10-18	22,5147	10,2949 10,2287	54,275 54,568	54,422
Aktivasi H ₃ PO ₄ 5M	18-35	22,5147	9,14310 8,98420	59,390 60,096	59,743

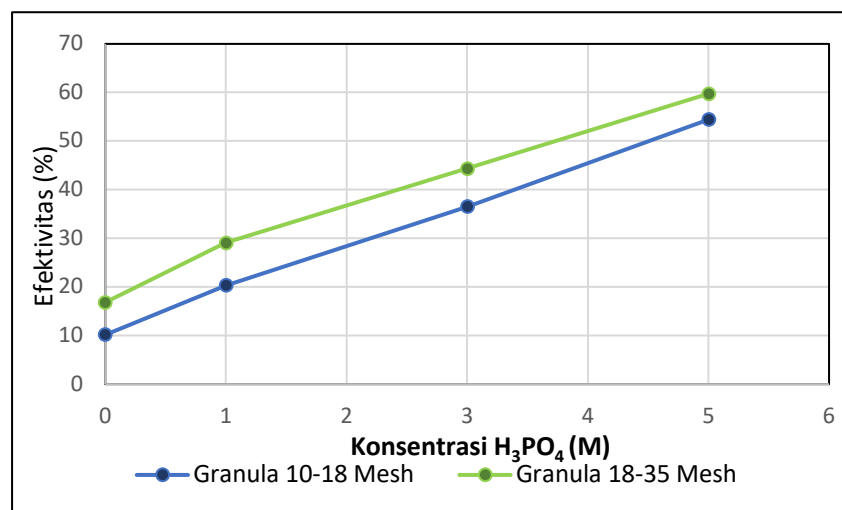
Variasi laju alir kolom lambat memberikan hasil efektivitas lebih tinggi dibandingkan laju alir cepat. Waktu kontak berkaitan dengan laju reaksi yang dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi terhadap waktu. Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan adsorbat untuk berikatan dengan adsorben. Semakin lama waktu kontak, *Remazol Blue RSP* yang terjerap di permukaan zeolit semakin meningkat hingga mencapai titik setimbang. Waktu kontak yang terlalu lama dapat menyebabkan kondisi lewat setimbang (jenuh) dan adsorbat akan kembali terlepas [10].

Ukuran granula zeolit alam lebih kecil (18-35 mesh) memberikan efektivitas lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit ukuran 10-18 mesh. Ukuran partikel granula digunakan karena mempunyai luas permukaan internal yang lebih besar sehingga dapat berfungsi sebagai penyaring. Ukuran partikel granula mempunyai jarak antar partikel tidak terlalu rapat sehingga tidak akan menghambat jalur air pada kolom adsorpsi atau menyebabkan terjadinya *clogging*. Didasarkan pada teori tumbukan kimia kinetik, yang menyatakan bahwa kecepatan suatu reaksi sebanding dengan jumlah tumbukan antar molekul per satuan waktu. Semakin kecil ukuran partikel zeolit alam maka semakin banyak luas permukaan bidang sentuh (pori aktif zeolit) yang berinteraksi atau mengalami tumbukan efektif dengan zat warna *Remazol Blue RSP* sehingga konsentrasi *Remazol Blue RSP* hasil adsorpsi semakin kecil.

Pengaruh Konsentrasi H_3PO_4

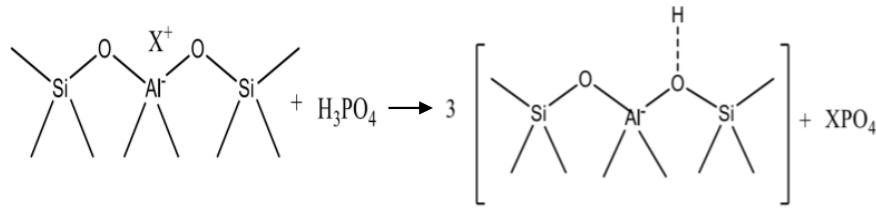


Gambar 5. Grafik Konsentrasi H_3PO_4 vs Efektivitas pada Laju Alir Lambat (0,2994 L/jam)



Gambar 6. Grafik Konsentrasi H_3PO_4 vs Efektivitas pada Laju Alir Lambat (0,2994 L/jam)

Kondisi ketika zeolit alam diaktivasi, aktivator H_3PO_4 berperan mengikat dan melarutkan pengotor berupa oksida-oksida logam yang tidak dapat menguap pada proses pemanasan. Keasaman permukaan sampel zeolit alam akan meningkat setelah diaktivasi menggunakan H_3PO_4 melalui pembentukan situs asam. Mekanisme pembentukan situs asam zeolit pada penambahan aktivator H_3PO_4 dijelaskan pada Gambar 7. Ketika H_3PO_4 ditambahkan, maka air akan terhidrasi dan kation-kation logam alkali pengotor pada pori zeolit (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Fe^{3+}) akan mengalami pertukaran dengan ion H^+ dari H_3PO_4 . Menyebabkan permukaan zeolit semakin asam dan menjadi lebih berpori. Semakin banyak jumlah H^+ maka semakin efektif pertukaran ion-ion pengotor dan pembentukan situs aktif pori, sehingga daya adsorpsinya meningkat [11]. Zeolit nonaktivasi mempunyai tingkat keasaman permukaannya relatif rendah, karena permukaan adsorben tertutup oleh pengotor dan air yang menyebabkan situs aktif pori yang terbentuk sedikit. Hal ini yang menyebabkan daya adsorpsi zeolit nonaktivasi rendah. Oleh karena itu pada zeolit teraktivasi H_3PO_4 5 M (variasi konsentrasi tertinggi) memberikan efektivitas adsorpsi yang lebih tinggi.



Gambar 7. Mekanisme Pembentukan Situs Asam pada Zeolit Alam

Penelitian ini membandingkan efektivitas hasil adsorpsi yang ditunjukkan pada Tabel 4 dari perbedaan perlakuan terhadap faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu ukuran granula zeolit alam, laju alir kolom, dan konsentrasi aktivator H_3PO_4 . Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa efektivitas adsorpsi zat warna *Remazol Blue RSP* mengalami kenaikan atau berbanding lurus (linier) terhadap kenaikan konsentrasi aktivator H_3PO_4 . Semakin tinggi konsentrasi aktivator H_3PO_4 semakin tinggi juga efektivitas adsorpsi zat warna *Remazol Blue RSP* untuk masing-masing ukuran granula zeolit alam (10-18 dan 18-35 mesh), dengan nilai efektivitas pada ukuran granula zeolit alam yang lebih kecil (18-35 mesh) mempunyai nilai efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan ukuran granula zeolit alam 10-18 mesh. Tabel 4 menunjukkan bahwa variasi laju alir memberikan waktu kontak dan efektivitas adsorpsi yang berbeda. Efektivitas laju alir lambat (0,2994 L/jam) memberikan nilai yang lebih tinggi pada setiap perlakuan dibandingkan dengan efektivitas pada laju alir cepat (0,5988 L/jam). Sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa efektivitas adsorpsi *Remazol Blue RSP* tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 67,182%, dalam kondisi optimum zeolit teraktivasi H_3PO_4 5 M, ukuran granula zeolit alam 18-35 mesh, dan laju alir kolom adsorpsi lambat (0,2994 L/jam).

Tabel 4. Perbandingan Efektivitas Adsorpsi Zat Warna *Remazol Blue RSP*

No.	Zeolit	Ukuran Granula (mesh)	Efektivitas Adsorpsi (%)	
			Laju Alir Lambat	Laju Alir Cepat
1.	Nonaktivasi	10-18	14,788	10,143
		18-35	18,846	16,817
2.	Aktivasi H_3PO_4 1M	10-18	24,668	20,316
		18-35	34,046	29,048
3.	Aktivasi H_3PO_4 3M	10-18	44,337	36,516
		18-35	50,041	44,337
4.	Aktivasi H_3PO_4 5M	10-18	55,075	54,422
		18-35	67,182	59,743

Kesimpulan

Hasil karakterisasi XRD diperoleh zeolit alam pada penelitian ini merupakan zeolit jenis mordenit. Karakterisasi SEM menganalisis perbandingan struktur morfologi zeolit alam yang menunjukkan bahwa proses aktivasi memberikan efektivitas adsorpsi yang lebih baik. Kondisi efektivitas adsorpsi *Remazol Blue RSP* tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 67,182%, dalam kondisi optimum zeolit teraktivasi H_3PO_4 5 M, ukuran granula zeolit alam 18-35 mesh, dan laju alir kolom adsorpsi lambat (0,2994 L/jam).

Daftar Pustaka

- [1]. Asiah, N., Sylvia, N., Bahri, S. (2022). Adsorpsi Zat Warna *Methylene Blue* Menggunakan Adsorben dari Ampas Teh pada Kolom. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(2), 75-86.
- [2]. Malik, R.A., Hanny, V., Sri, H. S. (2022). Performance of Anaerobic Co-Digestion with Honey Processing Wastewater as Co-Substrate for Treating Synthetic Wastewater Containing Commercial Anthraquinone Dye Remazol Blue RSP: Effect of C:N Ratio and Hrt. *E-journal Bandung Institute of Technology*.
- [3]. Gunawan, I., Deswita, Yulizar, Y., Melati, K.P. (2022). Removal of Remazol Brilliant Blue R (RBBR) by Adsorption on Zeolit Cuo Catalyst. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 5(7).
- [4]. Selvina, M., Fahrialam, A., Wijaya, L.A., Karunianti, A.R., Warmada, I.W. (2021). Studi Karakteristik Zeolit di Yogyakarta serta Pemanfaatannya sebagai *Builder Agent* untuk memproduksi Deterjen Ramah Lingkungan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 22(4). Hal 189-196.
- [5]. Yunita, Anfi'ana, I., Triastuti, S., Nuni, W. (2019). Karakterisasi dan Uji Sifat Fisik Material Zeolit Modifikasi Magnetit sebagai Adsorben Ion Klorida dalam Larutan Berair. *Indones. J. Chem. Sci.*, 8(2).
- [6]. Khartikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N.M. (2004). Adsorption Dynamics and Equilibrium Studies of Zn (II) Onto Chitosan. *Indian J. Chem.*, 116(2), 119- 127.
- [7]. Intarapong, P., Iangthanasat, S., Phanthong, P., Luengnaruemitchai, A., Jai-In, S. (2013). Activity and Basic Properties of KOH/Mordenite for Transesterification of Palm Oil. *J. Energy Chem.*, 22(5), 690-700.
- [8]. Lo, H. J. & Hsieh, Y. L. (1992). High Potassium Natural Mordenite and the Chemical Variation of Mordenite. *Proc. Geol. Soc. China (Taiwan)*, 34, 305-312.
- [9]. Acayanka, E., Kuete, S.D., Kamgang, G.Y., Nzali, S., Laminsi, S., Ndifon, P.T. (2016). Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Application of TiO₂/SnO₂ Nanocomposite Obtained Under Non-Thermal Plasma Condition at Atmospheric Pressure. *Plasma Chem. Plasma P.*, 36(3), 799–811.
- [10]. Zian, Ita, U., Harmami. (2016). Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R menggunakan Adsorben Nata de Coco. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 15(2), 2337-3521.
- [11]. Cunha, T.M., Fone, M.Y.B., Tawa, B.D., Ola, A.R.B. (2022). Karakteristik Pelumas Bekas Hasil Adsorpsi Menggunakan Arang Batang Kesambi (*Schleichera oleosa*) dan Zeolit Alam Ende Teraktivasi H_3PO_4 . *Chem. Notes*, 4(1).

