



Pemanfaatan Montmorillonit Terpillar Al-Cr pada Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dengan Variasi Massa Adsorben dan Waktu Adsorpsi

Geraldina^a, Taslimah^{a*}, Rahmad Nuryanto^a

^a Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: taslimah@live.undip.ac.id

| Article Info | Abstract |
|--|--|
| <p>Keywords: bentonite, Al-Cr pillared montmorillonite, rhodamine B, adsorption</p> | <p>Rhodamin B is one of the most commonly used dyestuffs in the textile industry process in Indonesia and produces liquid waste that pollutes the environment. Natural bentonite is a porous material that is abundant in nature and can handle wastewater problems through adsorption. However the capacity of bentonite in adsorption is limited hence modification is needed to increase its adsorption ability. The activation process using hydrochloric acid and pilarization using Al and Cr pillars was used as a way to modify bentonite, which is expected to result in a larger surface area. The results of GSA on activated montmorillonite showed basal spacing of 15.68 Å and surface area of 75.312 m²/g. Pilarization produced the Al₂₅Cr₇₅ pillared montmorillonite with the highest basal spacing and surface area respectively of 16.55 Å and 41,804 m²/g. Rhodamin B adsorption using montmorillonite terpillar Al₂₅Cr₇₅ resulted in adsorption effectiveness of 99.85% of rhodamin B concentration of 50 ppm with optimum condition of adsorbent mass of 0.1 gram and adsorption time for 75 min, which was analyzed using UV-Vis spectrophotometry at 523 wavelength nm.</p> |
| <p>Kata Kunci: bentonit, montmorillonit terpillar Al-Cr, rhodamin B, adsorpsi</p> | <p>Abstrak</p> <p>Rhodamin B merupakan salah satu zat warna yang umumnya banyak digunakan pada proses industri tekstil di Indonesia dan menghasilkan limbah cair yang mencemari lingkungan. Bentonit alam adalah material berpori yang kelimpahannya cukup banyak di alam dan dapat menangani masalah limbah cair melalui proses adsorpsi. Namun kapasitas bentonite dalam mengadsorpsi terbatas sehingga diperlukan modifikasi agar kemampuan adsorpsinya meningkat. Proses aktivasi menggunakan asam klorida dan pilarisasi menggunakan pemilar Al dan Cr digunakan sebagai cara untuk memodifikasi bentonit, sehingga diharapkan menghasilkan luas permukaan yang lebih besar. Hasil GSA pada montmorillonit teraktivasi menunjukkan basal spacing sebesar 15,68 Å dan luas permukaan sebesar 75,312 m²/g. Pemilaran menghasilkan montmorillonit terpillar Al₂₅Cr₇₅ dengan basal spacing paling tinggi dan luas permukaan secara berturut-turut sebesar 16,55 Å dan 41,804 m²/g. Adsorpsi rhodamin B menggunakan montmorillonit terpillar Al₂₅Cr₇₅ menghasilkan efektivitas adsorpsi sebesar 99,85% dari konsentrasi rhodamin B sebesar 50 ppm dengan kondisi optimum massa adsorben sebesar 0,1 gram dan waktu adsorpsi selama 75 menit, yang dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 523 nm.</p> |

1. Pendahuluan

Zat warna sintetis saat ini banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, plastik, bidang percetakan, kosmetik, makanan, dan industri pengolahan mineral. Pewarna sintetis pada umumnya bersifat *non-biodegradable* dan sulit untuk dihilangkan melalui perlakuan biasa misalnya dengan pengendapan oleh lumpur [1], hal ini dikarenakan struktur organik yang terdapat pada pewarna tekstil umumnya menyebabkan zat warna memiliki sifat yang resisten terhadap lingkungan seperti efek pH, suhu, dan mikroba [2]. Rhodamin B adalah salah satu jenis zat warna sintetis yang paling banyak digunakan pada industri tekstil. Zat warna rhodamin B memiliki sifat karsinogenik yang lebih rendah dari zat warna lainnya, namun penggunaan yang berlebihan dan berulang-ulang menyebabkan sifat kumulatif yang dapat mencemari wilayah perairan dan dapat menyebabkan alergi, infeksi kulit, serta gangguan kesehatan pada manusia [3].

Adsorpsi secara luas telah digunakan sebagai metode untuk mengatasi zat warna pada limbah perairan karena mudah dilakukan dan cukup aman bagi lingkungan [4]. Bentonit merupakan suatu material berpori yang ketersediaannya melimpah di alam sehingga mudah diperoleh dan harganya terjangkau. Kemampuan adsorpsi bentonit alam umumnya terbatas namun dapat ditingkatkan melalui beberapa metode yaitu melalui aktivasi bentonit alam, penambahan surfaktan kation, penambahan polimer, dan pilarisasi bentonit atau pembentukan komposit lempung dengan oksida logam [1]. Proses pengembanan logam atau yang biasa disebut dengan pemiliran pada bentonit dapat dilakukan dengan menginterkalasikan senyawa kompleks kation logam polihidroksi (Al^+ , Cr^+ , Zr^+ , Ti^+ dan Fe^+ polihidroksi) ke dalam *interlayer* silikat lempung yang diikuti dengan kalsinasi untuk membentuk pilar-pilar oksida logam stabil seperti Al_2O_3 , Cr_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 dan Fe_2O_3 . Mingli [5] mengkaji bahwa campuran logam yang berbeda dapat meningkatkan luas permukaan, stabilitas termal, dan kapasitas adsorpsi sebagai hasil pemiliran pada suatu material. Proses modifikasi bentonit dapat menyebabkan perubahan secara fisik seperti peningkatan *basal spacing*, luas permukaan spesifik, dan keasaman permukaan sehingga diharapkan dapat menghasilkan bentonit dengan daya adsorpsi yang lebih tinggi dari sebelumnya.

Telah banyak dilakukan penelitian tentang pembuatan dan kajian daya adsorpsi bentonit alam termodifikasi terhadap berbagai polutan [6]. Berdasarkan paparan tersebut akan dilakukan pemiliran bentonit menggunakan logam Al-Cr serta mempelajari kemampuan bentonit terpillar Al-Cr dalam mengadsorpsi zat warna rhodamin B dan diuji karakteristiknya untuk mengetahui pengaruh pemiliran terhadap adsorben yang digunakan.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat gelas standar penelitian, ayakan skala 170 mesh, neraca analitis, oven, furnace, magnetic stirrer, corong buchner. Bentonit alam dari desa Banyusri, Boyolali, larutan $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, larutan $CrCl_3 \cdot 6H_2O$, NaOH, larutan $AgNO_3$, larutan HCl, aquades.

Preparasi dan Fraksinasi Bentonit Alam

Bentonit alam dicuci dan dikeringkan dengan oven pada suhu $105^\circ C$ selama 2 jam. Fraksinasi dilakukan dengan cara mendispersikan 50 gram bentonit dalam 500 ml aquades yang diaduk pada 300 rpm selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*, fraksi ringan selanjutnya dipisahkan, disaring, dan dikeringkan. Montmorillonit hasil fraksinasi dihaluskan dan di ayak menggunakan saringan ukuran 170 mesh.

Aktivasi Montmorillonit

Aktivasi montmorillonit menggunakan asam klorida 2 M sebagai perendam dan diaduk selama 10 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Montmorillonit dicuci menggunakan aquades hingga bebas Cl^- (pH netral). Montmorillonit teraktivasi kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumentasi difraktometer sinar X (XRD) dan analisis luas permukaan dengan metode Brunauer, Emmet, dan Teller (BET).

Pembuatan Montmorillonit Terpillar

Larutan agen pemilar dibuat dari 0,1 M $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ dan larutan $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ 0,1 M masing-masing ditambahkan dengan larutan 0,2 M NaOH secara perlahan yang disertai dengan pengadukan pada suhu kamar hingga volume larutan mencapai rasio molar akhir $OH^-/Al^{3+}=2$. Larutan Cr-polihidroksi kation kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu $60^\circ C$, sedangkan larutan Al-polihidroksikation didiamkan selama 1 jam pada suhu $50^\circ C$. Larutan campuran tersebut diaduk selama 24 jam pada suhu kamar. Suspensi montmorillonit dibuat dengan pengadukan campuran aquades dan montmorillonit selama 24 jam, kemudian agen pemilar ditambahkan ke dalam suspensi clay dengan variasi jumlah perbandingan masing-masing agen pilar Al:Cr yaitu Al_0Cr_{100} , $Al_{25}Cr_{75}$, $Al_{50}Cr_{50}$, $Al_{75}Cr_{25}$, $Al_{90}Cr_{10}$ and $Al_{100}Cr_0$ dan diaduk selama 24 jam pada temperatur kamar menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan hasil interkalasi kemudian dicuci hingga bebas Cl^- . Montmorillonit terpillar Al-Cr dikalsinasi pada suhu $450^\circ C$ selama 2 jam dengan laju pemanasan $1^\circ C/menit$ dan dikarakterisasi menggunakan instrumentasi difraktometer sinar X (XRD) dan analisis luas permukaan dengan metode Brunauer, Emmet, dan Teller (BET).

Adsorpsi dengan Variasi Komposisi MMT Al-Cr

Sebanyak 0,3 gram adsorben dari montmorillonit terpillar Al:Cr yaitu Al_0Cr_{100} , $Al_{25}Cr_{75}$, $Al_{50}Cr_{50}$, $Al_{75}Cr_{25}$, $Al_{90}Cr_{10}$ and $Al_{100}Cr_0$ kemudian masing-masing adsorben dilarutkan dalam 30 ml larutan rhodamin 50 ppm

selama 20 menit menggunakan *stirrer* dan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Adsorpsi dengan Variasi Massa Adsorben

Montmorillonit terpillar Al-Cr komposisi optimum diaplikasikan dalam 5 variasi yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 gram dan dilarutkan dalam 10 ml larutan zat warna rhodamin B kemudian diaduk selama 15 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Adsorpsi dengan Variasi Waktu

Massa optimum adsorben (rasio 1% = 0,1 gram/10 ml) digunakan dalam variasi ini yang masing-masing larutan diaduk dalam waktu yang berbeda-beda yaitu 15; 30; 45; 60; 75; 90 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 523 nm.

3. Hasil dan Pembahasan

Fraksinasi Bentonit Alam

Proses fraksinasi bentonit bertujuan untuk memperoleh mineral montmorillonit yang merupakan salah satu jenis mineral dari montmorillonit yang efektif digunakan sebagai adsorben. Fraksinasi dilakukan karena bentonit alam tidak hanya mengandung satu mineral montmorillonit, tetapi juga mengandung mineral impuritas, seperti; *calcite*, *quartz*, *clinoptilolite*, *iron oxide*, *feldspars* dan *humic acids* [7]. Fraksi mineral montmorillonit diperoleh dengan cara melarutkan bentonit alam ke dalam pelarut sehingga terjadi proses pemisahan dimana partikel bentonit akan mengalami pengendapan setelah didiamkan (fraksi I) sedangkan fraksi yang mengambang merupakan fraksi II yaitu montmorillonit. Proses fraksinasi dengan cara ini sering digunakan karena umumnya montmorillonit secara alamiah mempunyai ukuran partikel yang sangat halus (<2 μm) sedangkan mineral-mineral lain yang terdapat pada bentonit memiliki ukuran partikel yang lebih besar (>2 μm) [8] selain itu berat jenisnya juga berbeda dimana berat jenis montmorillonit lebih ringan yaitu sebesar 2,0-2,2 g/cm^3 sedangkan bentonit memiliki berat jenis sebesar 2,4-2,8 g/cm^3 sehingga secara fisik mudah terpisah.

Aktivasi Montmorillonit

Proses aktivasi bertujuan untuk menukar kation-kation penyeimbang yang berada di dalam struktur montmorillonit (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) dengan ion H^+ yang berasal dari asam dan melepas ion Al, Fe, serta Mg serta pengotor-pengotor lainnya dari kisi-kisi struktur, sehingga secara fisik montmorillonit tersebut menjadi aktif setelah diasamkan. Selama proses bleaching tersebut, Al, Fe, dan Mg larut dalam larutan, kemudian terjadi penyerapan asam ke dalam struktur montmorillonit dan mengakibatkan rangkaian struktur mempunyai luas permukaan yang lebih besar dari montmorillonit sebelum diaktivasi. Konsentrasi asam klorida yang digunakan dalam proses aktivasi ini tidak terlalu besar maupun tidak terlalu kecil yaitu sebesar 2

M, hal ini karena konsentrasi asam merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses aktivasi adsorben. Konsentrasi yang terlalu rendah menyebabkan tidak sempurnanya pembentukan situs aktif, sebaliknya rasio yang terlalu besar akan menyebabkan rusaknya struktur lempung [9]. Montmorillonit yang telah diaktivasi dengan HCl kemudian dicuci agar terbebas dari ion Cl^- menggunakan aquades hingga pH ± 6 sehingga montmorillonit yang akan digunakan pada proses pilarisasi terkondisikan netral. Untuk memastikan montmorillonit bebas ion Cl^- digunakan larutan AgNO_3 yang diteteskan pada filtrat hasil pencucian yang ditandai tidak terbentuknya endapan putih pada filtrat.

Pilarisasi Montmorillonit

Pemiliran montmorillonit bertujuan untuk memperoleh montmorillonit dengan *basal spacing* yang dan luas permukaan yang lebih besar. Proses pemiliran montmorillonit terpillar Al-Cr dilakukan melalui beberapa tahap yaitu preparasi larutan polikation Al-Cr dan pemiliran montmorillonit yang meliputi pembuatan suspensi montmorillonit, proses interkalasi, dan proses stabilisasi pilar montmorillonit. Pada penelitian ini montmorillonit terpillar Al-Cr dibuat dalam 6 variasi montmorillonit terpillar yang terdiri dari jumlah larutan polikation Al dan Cr yang berbeda-beda bertujuan untuk memperoleh dan mengetahui komposisi optimum dari Al-Cr yang baik untuk digunakan sebagai adsorben terhadap larutan zat warna rhodamin B.

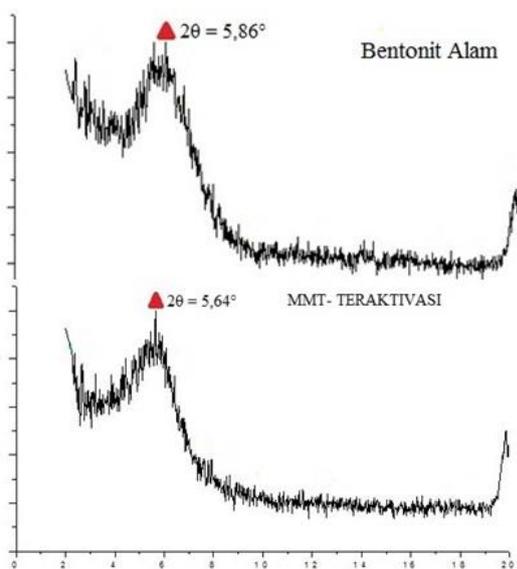
Pembuatan agen pemilar didasarkan pada interaksi antara sumber logam agen pemilar dengan larutan NaOH sehingga terbentuk ion keffin yang merupakan suatu polioksokation yang berfungsi untuk membentuk reaksi penggantian kation dalam montmorillonit yaitu Na^+ dan Ca^{2+} dengan suatu agen pemilar, seperti Al^{3+} , Ni^{2+} , Mo^{6+} , dan sebagainya [10]. Larutan polikation Al dan Cr sebagai agen pemilar montmorillonit dibuat dengan menggunakan larutan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber ion logam Al dan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber ion logam Cr yang ditambahkan dengan larutan NaOH sehingga membentuk polikation. Jumlah perbandingan rasio mol larutan NaOH dengan larutan $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ maupun $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang digunakan dalam preparasi ini yaitu 2 karena jika digunakan rasio perbandingan yang lebih besar akan menghambat pembentukan agen pemilar akibat adanya jumlah pemilar yang berlebih [11]. Secara umum pH yang terbentuk dari agen pemilar Al yaitu 4-4,5 dan pada penelitian ini diperoleh pH akhir dari larutan polioksokation $[\text{Al}_3\text{O}_4(\text{OH})_{24}]^{7+}$ yaitu 4 dan polioksokation $[\text{Cr}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_9]^{5+}$ yaitu 5 dengan warna masing-masing larutan yaitu warna hijau tua pekat pada larutan polioksokation Cr dan warna putih pada larutan polioksokation Al. Proses interkalasi adalah suatu penyisipan suatu spesies pada ruang antarlapis dari padatan dengan tetap mempertahankan struktur berlapisnya. Metode ini akan memperbesar pori material, karena interkalasi akan mendorong lapisan untuk lebih membuka antar lapisan sehingga mengembang dan bertujuan untuk mengganti kation dalam interlayer montmorillonit dengan kation yang

lebih besar dengan mekanisme pertukaran kation, muatan pada montmorillonit negatif sedangkan muatan positif antara kation inorganik penyeimbang muatan pada lapisan interlayer montmorillonit seperti Na^+ dan Ca^{2+} digantikan oleh polikation Al-Cr. Proses kalsinasi bertujuan untuk menstabilkan logam pilar pada montmorillonit dan menata ulang polihidroksi menjadi logam oksida Al_2O_3 dan Cr_2O_3 . Proses kalsinasi menyebabkan terjadinya dehidrasi, dehidroksilasi, dan penataan ulang pada ion keggin menjadi oksida logam yang stabil [12].

Karakteristik Montmorillonit Terpilar Al-Cr

Analisis XRD

Analisis menggunakan difraktometer sinar X digunakan untuk mengetahui karakteristik dari montmorillonit terpilar dan montmorillonit teraktivasi yang ditunjukkan dari nilai *basal spacing* pada refleksi bidang (d_{001}). Analisis XRD pada sampel dilakukan pada sudut 2θ kisaran 2° sampai 20° karena umumnya mineral montmorillonit menunjukkan refleksi d_{001} pada kisaran 2° sampai 20° dengan kata lain puncak dengan intensitas yang tinggi montmorillonit terdapat pada rentang tersebut [13].



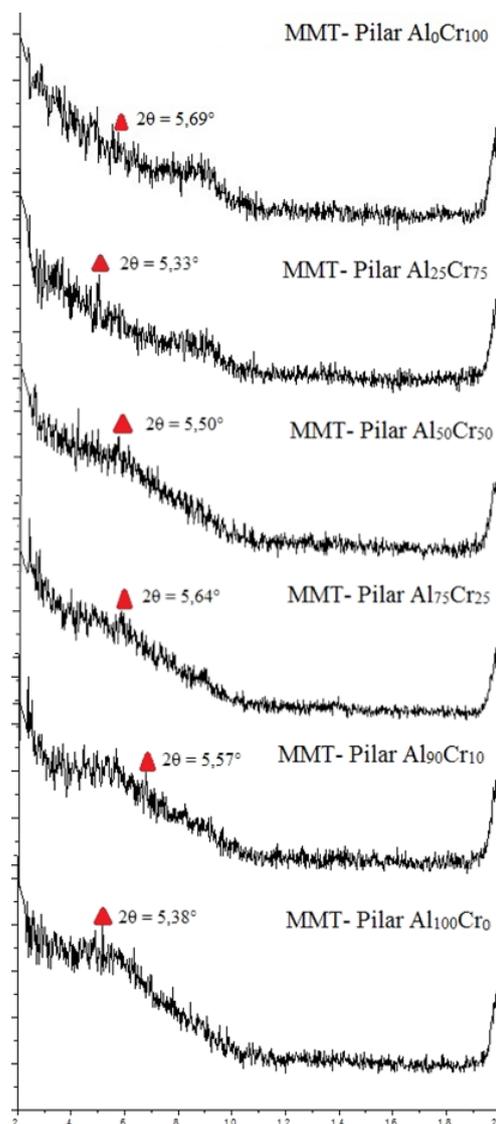
Gambar 1. Difraktogram bentonit alam dan montmorillonit teraktivasi

Puncak difraktogram paling tajam pada gambar menunjukkan mineral penyusun utama bentonit yaitu montmorillonit yang menghasilkan harga $2\theta = 5,86^\circ$ dengan $d = 15,08 \text{ \AA}$ pada sampel bentonit alam dan $2\theta = 5,64^\circ$ dengan $d = 15,68 \text{ \AA}$ pada sampel montmorillonit teraktivasi asam. Pergeseran 2θ ke kiri (lebih kecil) menyebabkan peningkatan *basal spacing* sebesar $0,60 \text{ \AA}$ dengan kata lain adanya pergeseran ini menunjukkan bahwa adanya perlakuan aktivasi menggunakan asam dapat menghasilkan *basal spacing* yang lebih besar dari sebelumnya.

Tabel 1: Nilai 2θ Montmorillonit (JCPDS No. 030014)

| Mineral Penyusun | 2θ (derajat) | | |
|------------------|---------------------|----------------------------|---------------|
| | Bentonit Alam | Montmorillonit Teraktivasi | Literatur |
| | $5,86^\circ$ | $5,64^\circ$ | $5,89^\circ$ |
| Montmorillonit | $17,61^\circ$ | $17,94^\circ$ | $17,76^\circ$ |
| | $19,95^\circ$ | $19,83^\circ$ | $19,85^\circ$ |

Refleksi intensitas difraksi sinar X mengindikasikan tentang konsentrasi, kesempurnaan kristal dan kerapatan susunan atom dalam kristal. Semakin ramping refleksi intensitas suatu material maka sifat kekrystalannya akan semakin baik dengan susunan atom semakin rapat. Pada difraktogram tersebut digambarkan bahwa refleksi intensitasnya tidak terlalu ramping yang mengartikan bahwa montmorillonit yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki sifat kristalinitas yang rendah, hal ini ditandai dengan adanya puncak-puncak pada difraktogram yang tidak tajam. Analisis XRD juga dilakukan untuk mengetahui perubahan *basal spacing* mineral montmorillonit yang dihasilkan dari sebelum dilakukan pemiliran (aktivasi) dan setelah dilakukan pemiliran



Gambar 2. Difraktogram montmorillonit terpilar Al-Cr

Berdasarkan difraktogram tersebut diketahui perubahan *basal spacing* yang terjadi akibat dari adanya proses interkalasi dengan menggunakan Al-Cr, refleksi *basal spacing*nya (d_{001}) bergeser sehingga meningkatkan dan menurunkan nilai 2θ pada kisaran sekitar $\pm 5^\circ$, hal ini didasarkan pada refleksi intensitasnya yang menghasilkan nilai yang cukup besar pada rentang tersebut.

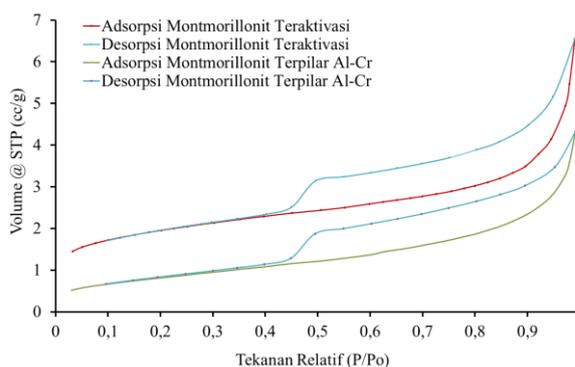
Berdasarkan data tabel 2 diketahui bahwa setiap variasi dari montmorillonit terpillar Al-Cr dan montmorillonit terpillar Al sebagian besar menghasilkan *basal spacing* yang lebih besar daripada *basal spacing* yang dihasilkan dari proses aktivasi. Peningkatan *basal spacing* ini menandakan bahwa logam Al-Cr berhasil menempati ruang lapis interlayer pada montmorillonit. *Basal spacing* dengan nilai terbesar terdapat pada montmorillonit $Al_{25}Cr_{75}$ yang ditunjukkan oleh puncak $2\theta = 5,33^\circ$ dengan *basal spacing* 16,55 Å. Montmorillonit $Al_{25}Cr_{75}$ menunjukkan pergeseran puncak dan nilai *basal spacing* terbaik sehingga diharapkan memiliki kinerja adsorpsi yang paling baik dari seluruh variasi montmorillonit terpillar Al-Cr lainnya. Montmorillonit terpillar Cr menghasilkan *basal spacing* yang lebih rendah dari montmorillonit teraktivasi yaitu sebesar 15,4 Å, lebih kecilnya *basal spacing* ini dikarenakan logam Cr memiliki stabilitas termal yang rendah sehingga ketika dikalsinasi pada suhu $450^\circ C$ diperkirakan struktur montmorillonit terpillar Cr mengalami kerusakan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Volzone [14] yang melaporkan bahwa logam Cr tidak stabil pada suhu tinggi, sehingga pemanasan diatas $420^\circ C$ menyebabkan kerusakan pada volume mikroporinya.

Tabel 2: Nilai basal spacing montmorillonit terpillar Al-Cr

| Sampel | 2θ (°) | Basal Spacing (Å) |
|-----------------------------|---------------|-------------------|
| Bentonit Alam | 5,86 | 15,08 |
| Montmorillonit Teraktivasi | 5,64 | 15,68 |
| MMT- Pilar Al_0Cr_{100} | 5,69 | 15,4 |
| MMT- Pilar $Al_{25}Cr_{75}$ | 5,33 | 16,55 |
| MMT- Pilar $Al_{50}Cr_{50}$ | 5,50 | 16,04 |
| MMT- Pilar $Al_{75}Cr_{25}$ | 5,64 | 15,71 |
| MMT- Pilar $Al_{90}Cr_{10}$ | 5,57 | 15,87 |
| MMT- Pilar $Al_{100}Cr_0$ | 5,38 | 16,38 |

Pengukuran luas permukaan serta distribusi pori

Analisa luas permukaan dilakukan dengan adsorpsi gas N_2 melalui metode Brunauer-Emmett-Teller (BET), sedangkan distribusi ukuran pori dianalisis menggunakan metode Barrett-Joyner-Halenda (BJH). Dalam menentukan luas permukaan dan pori menggunakan prinsip adsorpsi gas inert seperti Ar, N_2 , He dan lain sebagainya. Pada penelitian ini menggunakan gas N_2 yang diukur pada temperatur titik didihnya yaitu sebesar 77,3 K.



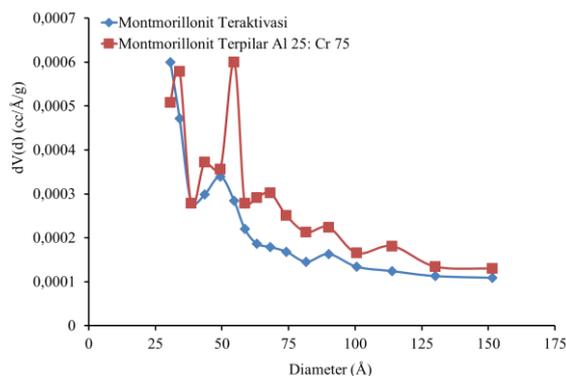
Gambar 3. Kurva isothermal adsorpsi-desorpsi

Kurva adsorpsi desorpsi ini termasuk dalam tipe IV karena pada kurva tersebut terdapat *loop* histerisis. Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa pada tekanan P/P_0 menuju 0 volume gas yang diadsorpsi pada montmorillonit teraktivasi asam lebih banyak daripada montmorillonit terpillar Al-Cr pada kondisi yang sama. Hal ini menandakan luas permukaan dan volume montmorillonit teraktivasi lebih besar daripada montmorillonit terpillar.

Luas permukaan montmorillonit terpillar Al-Cr lebih kecil dari montmorillonit teraktivasi disebabkan karena pada montmorillonit terpillar terdapat logam yang diimbangkan ke dalam interlayer montmorillonit dan dengan adanya logam-logam tersebut kemungkinan mengurangi jumlah pori yang dapat menyerap gas N_2 sehingga pada saat pengukuran menghasilkan luas permukaan yang lebih kecil dari montmorillonit teraktivasi. Kurva dengan tipe IV menandakan bahwa padatan adsorben berukuran mesopori (2-50 nm).

Tabel 3: Data luas permukaan dan ukuran pori

| No | Sampel | Surface Area (m^2/g) | Total Pore Volume (cc/g) | Average Pore Diameter ($Å$) |
|----|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Montmorillonit Teraktivasi | 75,312 | $1,183 \times 10^{-1}$ | 62,8552 |
| 2 | Montmorillonit Terpillar $Al_{25}Cr_{75}$ | 41,804 | $9,293 \times 10^{-2}$ | 88,9164 |



Gambar 4. Kurva distribusi pori

Gambar tersebut menunjukkan adanya perbedaan distribusi ukuran pori pada montmorillonit teraktivasi dan montmorillonit terpillar Al-Cr. Pada montmorillonit teraktivasi terlihat bahwa grafik distribusi porinya mengalami kenaikan pada diameter pori sekitar 30 Å dan diameter pori sekitar 50 Å sehingga menyebabkan banyak pori yang tersebar pada kisaran diameter tersebut. Distribusi pori montmorillonit terpillar Al-Cr mengalami kenaikan pada diameter pori yang mendekati 34 Å dan diameter pori sekitar 54 Å. Berdasarkan analisa tersebut dapat diketahui terdapat pori dominan di kisaran 34 Å dan 54 Å.

Adsorpsi dengan variasi komposisi Al-Cr

Penentuan variasi optimum montmorillonit terpillar Al-Cr bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dari masing-masing montmorillonit terpillar dan hasil terbaik akan digunakan pada proses adsorpsi selanjutnya. Proses adsorpsi ini dilakukan dengan rasio adsorben/adsorbat 1%.

Tabel 4.: Data adsorpsi rhodamin B

| Sampel | A _o | A _t | Efektivitas adsorpsi (%) dari konsentrasi RhB 50 ppm |
|-----------------------------------|----------------|----------------|--|
| Montmorillonit Alam | 3,612 | 0,121 | 96,65 |
| Montmorillonit Teraktivasi | 3,612 | 0,017 | 99,5293 |
| Al ₂₅ Cr ₇₅ | 3,612 | 0,0061 | 99,8311 |
| Al ₅₀ Cr ₅₀ | 3,612 | 0,0096 | 99,7342 |
| Al ₇₅ Cr ₂₅ | 3,612 | 0,0125 | 99,6539 |
| Al ₉₀ Cr ₁₀ | 3,612 | 0,0127 | 99,6483 |
| Al ₁₀₀ | 3,612 | 0,0278 | 99,2303 |
| Cr ₁₀₀ | 3,612 | 0,0104 | 99,712 |

Data adsorpsi yang diperoleh menunjukkan bahwa variasi montmorillonit terpillar dengan komposisi Al₂₅Cr₇₅ memiliki efektivitas adsorpsi paling besar yaitu 99,8311% untuk konsentrasi awal adsorbat sebesar 50 ppm yang menandakan bahwa pada variasi ini zat warna rhodamin B terjerap paling banyak Hal ini karena pada montmorillonit terpillar Al₂₅Cr₇₅ memiliki *basal spacing* paling besar yaitu 16,55 Å diantara kelima komposisi montmorillonit terpillar Al-Cr lainnya.

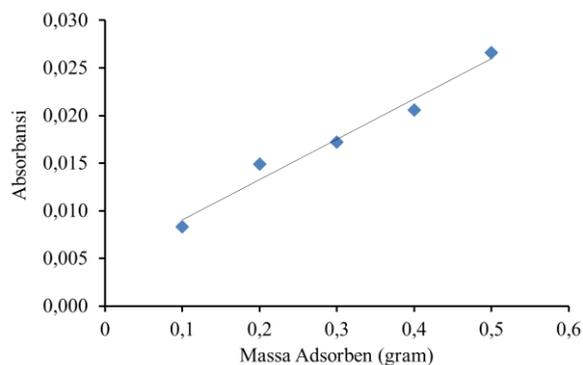
Adsorpsi dengan variasi massa adsorben

Adsorpsi dengan variasi massa adsorben bertujuan untuk mengetahui massa optimum dari adsorben dalam mengadsorpsi larutan zat warna rhodamin B. Jumlah adsorben merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi banyak sedikitnya adsorbat yang akan dijerap [15].



Gambar 5. Filtrat adsorpsi dengan variasi massa adsorben

Warna yang dihasilkan mengalami peningkatan kepekatan warna seiring dengan meningkatnya jumlah massa adsorben dan rasio adsorpsi yang digunakan.

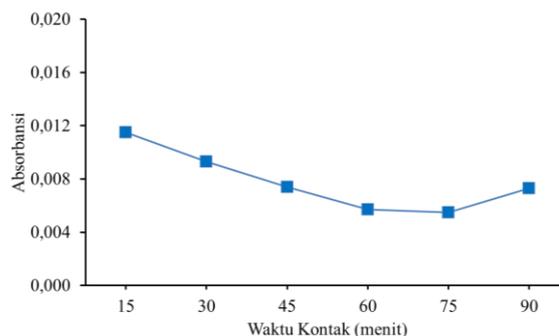


Gambar 6. Kurva adsorpsi dengan variasi massa adsorben

Hasil konsentrasi akhir dari adsorpsi dengan variasi massa adsorben menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah massa adsorben yang digunakan akan menghasilkan konsentrasi akhir yang semakin besar dengan kata lain menurunkan daya jerapnya. Berdasarkan data tersebut diperoleh bahwa rasio sebesar 1% merupakan rasio yang menghasilkan efektivitas adsorpsi paling besar.

Adsorpsi dengan variasi waktu

Waktu merupakan salah satu hal yang menentukan dalam proses adsorpsi karena waktu kontak dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan antara zat terlarut yang terjerap dengan larutan yang masih ada.



Gambar 7. Kurva adsorpsi dengan variasi waktu

Berdasarkan kurva tersebut dapat diperkirakan bahwa waktu kontak optimum berada pada menit ke-75 karena setelah proses adsorpsi berlangsung selama 75 menit penambahan waktu adsorpsi tidak memberikan perubahan yang signifikan pada jumlah zat warna

rhodamin B yang teradsorpsi. Hal ini karena adsorben sudah jenuh atau dengan kata lain telah terjadi kesetimbangan antara laju adsorpsi dan desorpsi yang terjadi sehingga menyebabkan montmorillonit terpillar Al-Cr lewat jenuh terhadap zat warna rhodamin B yang ditandai dengan lepasnya adsorbat dari permukaan adsorben karena adanya proses desorpsi.

Proses adsorpsi zat warna rhodamin B yang meliputi variasi rasio Al/Cr montmorillonit terpillar, massa adsorben, dan waktu ini secara keseluruhan menghasilkan filtrat hasil adsorpsi dengan warna bening kekuningan. Filtrat dengan warna tersebut tidak sesuai dengan yang diharapkan karena pada proses adsorpsi ini diharapkan menghasilkan larutan yang berwarna bening pada filtratnya. Filtrat dengan warna tersebut diduga disebabkan oleh logam Cr pada adsorben diperkirakan larut kembali oleh karena suhu kalsinasi yang terlalu tinggi, hal ini diperkuat dengan timbulnya warna kuning pada semua sampel montmorillonit Al-Cr.



Gambar 8. Montmorillonit $Al_0Cr_{100}-Al_{100}Cr_0$ dalam pelarut aquades

Tabel 5: Panjang gelombang maksimum filtrat adsorpsi rhodamin B dan aquades

| Sampel | λ maksimum | Absorbansi |
|--|-----------------------|------------|
| Filtrat adsorpsi rhodamin B | 356 nm | 2,312 |
| Filtrat montmorillonit terpillar dalam pelarut aquades | 356 nm | 1,421 |

Panjang gelombang sebesar 356 nm diketahui masuk dalam range panjang gelombang ion Cr dalam bentuk larutan kalium kromat dan kalium dikromat yang berkisar pada rentang 257–370 nm dengan lebih spesifik yaitu termasuk dalam kisaran panjang gelombang kalium kromat yaitu sebesar 273–370 nm [16] yang disertai dengan kemiripan warna larutan yang lebih mendekati pada warna larutan kalium kromat yaitu larutan berwarna kuning.

4. Kesimpulan

Aktivasi dan pemiliran montmorillonit terbukti dapat meningkatkan *basal spacing* dengan *basal spacing* tertinggi diperoleh pada komposisi $Al_{75}Cr_{25}$ sebesar 16,55 Å serta karakterisasi menggunakan metode BET menghasilkan luas permukaan sebesar 75,312 m²/g pada montmorillonit teraktivasi dengan distribusi pori yang berada pada kisaran 30–50 Å dan 41,804 m²/g pada montmorillonit terpillar $Al_{25}Cr_{75}$ dengan distribusi pori yang berada pada kisaran 34–54 Å. Pada aplikasinya,

montmorillonit terpillar Al-Cr tidak cukup efektif digunakan untuk menyerap zat warna rhodamin B karena hanya menaikkan sedikit efektivitas adsorpsinya dari daya adsorpsi yang dimiliki oleh montmorillonit teraktivasi yaitu dari 99,52% menjadi 99,83%.

5. Daftar Pustaka

- [1] Manjot Toor, Bo Jin, Sheng Dai, Vipasiri Vimonses, Activating natural bentonite as a cost-effective adsorbent for removal of Congo-red in wastewater, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, (2015) 653-661 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2014.03.033>
- [2] C Purnawan, Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg Dengan Fotokatalis Komposit TiO₂/SiO₂, *Ekosains*, 3, 1, (2011)
- [3] Iqbal Salman AL-Jobouri, Saadiyah Ahmed Dahir, Khulood Abed AL-Saade, Adsorption Study of Rhodamin B Dye on Iraqi Bentonite and Modified Bentonite by Nanocompounds TiO₂, ZNO, Al₂O₃ and Sodium Dodecyl Sulfate, *American Journal of Environmental Science*, 9, 3, (2013) 269-279 <http://dx.doi.org/10.3844/ajessp.2013.269.279>
- [4] Juwita Kesumaningrum, Nor Basid Adiwibawa Prasetya, Ahmad Suseno, Adsorpsi Fenol dengan TiO₂/zeolit artificial Berbahan Dasar Sekam Padi dan Limbah Kertas, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 14, 1, (2011) 26-31
- [5] Cao Mingli, Preparation and Charaterization of Al-Cr-pillared Interlayer Montmorillonite [J], *China Non-metallic Mining Industry Herald*, 6, (2002) 003
- [6] Taslimah Taslimah, Ratna Kusumawardani, Choiril Azmiyawati, Pilarisasi Lempung dengan Al₂O₃ untuk Agen Pemucat Minyak Sawit, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11, 2, (2008) 48-51
- [7] Lars Ammann, Cation exchange and adsorption on clays and clay minerals, Christian-Albrechts Universität Kiel,
- [8] Marion LeRoy Jackson, Soil chemical analysis: Advanced course, UW-Madison Libraries Parallel Press, 2005.
- [9] Wesley Moore Johnson, John Alfred Maxwell, Rock and mineral analysis, John Wiley & Sons, 1981.
- [10] Suhas P. Katdare, Veda Ramaswamy, A. V. Ramaswamy, Factors affecting the preparation of alumina pillared montmorillonite employing ultrasonics, *Microporous and Mesoporous Materials*, 37, 3, (2000) 329-336 [http://dx.doi.org/10.1016/S1387-1811\(99\)00275-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1387-1811(99)00275-9)
- [11] Miguel Angel Vicente, Mercedes Suárez, Juan de Dios López-González, Miguel Angel Banares-Munoz, Characterization, surface area, and porosity analyses of the solids obtained by acid leaching of a saponite, *Langmuir*, 12, 2, (1996) 566-572 <http://dx.doi.org/10.1021/la950501b>
- [12] Minto Supeno, Bentonit Alam Terpillar sebagai Material Katalis/Co-Katalis Pembuatan Gas Hidrogen dan Oksigen dari Air,
- [13] Karna Wijaya, E Sugiharto, Iqmal Tahir Mudasir, Sintesis komposit oksida besi montmorillonit dan uji stabilitas strukturnya terhadap asam sulfat, *Indonesian Journal of Chemistry*, 4, (2004) 33-42

- [14] C Volzone, Hydroxy-chromium smectite: influence of Cr added, *Clays and clay minerals*, 43, 3, (1995) 377-382
- [15] Hani Nurhayati, Pemanfaatan Bentonit Teraktivasi dalam Pengolahan Limbah Cair Tahu, Universitas Sebelas Maret,
- [16] G Dong, Y Zhu, Y Zhang, H Shan, J Xu, S Xin, Spectrophotometric Study on Kinetics and Thermodynamics of Adsorption and Catalytic Transformation of $K_2Cr_2O_7$ to K_2CrO_4 by Natural Hermit Crab Shell Powder, *Chemical Sciences Journal*, 2011: CSJ-42, (2011)