

Aplikasi Bentonit dan Besi (III) Klorida pada Zeolite yang Dimodifikasi untuk Pengolahan Air Sungai

Application of Bentonite and Ferric (III) Chloride to Modified Zeolite for River Water Treatment

S. Syafalni¹⁾ dan E. Ristin Pujiindiyati²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bina Nusantara, 11480 Jakarta,
¹⁾Civil Engineering, Universiti Sains Malaysia, 14300 Nibong Tebal, Penang – Malaysia.
²⁾Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, 12240 Jakarta
E-mail: syafalni@binus.edu

Diterima : 06 November 2015 Diperiksa : 16 November 2015 ; Revisi : 2 Desember 2015 Disetujui : 22 Desember 2015

ABSTRACT

Coagulation-flocculation process is one of water treatment methods to achieve a good quality of water supply. In this process, an environmental friendly coagulant must be considered such that it does not become contaminant. This study focuses on removal efficiency of turbidity, total suspended solids (TSS), color and iron (II) content from synthesized zeolite and its combination as coagulants. Optimization of pH, dose, dose ratio and settling time are investigated for synthesis of zeolites and its combinations. It is found that zeolites are able to remove 90% of turbidity, 81% of TSS, 80% of color and 84% of iron. Meanwhile, the combination of zeolite-ferric chloride give better result with 95% of turbidity, 88% of TSS, 76% of color and 88% of iron removal compared to combination of zeolite-bentonite. The combination of modified zeolite-bentonite is proved that the removal efficiencies obtained are 94% of turbidity, 83% of TSS and 84% of iron removal. This experiment indicates that combination zeolite synthesized – ferric chloride give highest removal efficiency of turbidity, total suspended solid and iron content. The result of x-ray diffraction shows the mineralogy components in zeolite synthesized are higher than natural zeolite which will improve the adsorption.

Keywords: *Bentonite, coagulation-flocculation, river water, x-ray diffraction, zeolite*

ABSTRAK

Untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan standar air minum maka diperlukan metode pengolahan yang baik, diantaranya adalah dengan sistem koagulasi dan flokulasi. Pemilihan bahan koagulan yang ramah lingkungan merupakan faktor penting dalam pemurnian air sehingga tidak mencemari lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efisiensi koagulan zeolite tersintesa beserta kombinasinya dalam pemurnian air sungai. Parameter yang digunakan yaitu kekeruhan, total padatan tersuspensi (TSS), warna dan kandungan besi (Fe^{2+}). Untuk sintesa zeolite dan kombinasinya dilakukan dengan pengaturan pH, rasio dosis, dosis dan waktu pendiaman. Hasil dari penelitian ini adalah zeolite mampu memindahkan 90% kekeruhan, 81% TSS, 80% warna dan 84% Fe^{2+} . Kombinasi zeolite – besi (III) klorida menunjukkan efisiensi pemindahan yang lebih baik daripada kombinasi zeolite-bentonit karena dapat memindahkan 95% kekeruhan, 88% TSS, 76% warna dan 88% Fe^{2+} . Kombinasi zeolite modifikasi – bentonite dapat memindahkan 94% kekeruhan, 83% TSS dan 84% Fe^{2+} . Efisiensi pemindahan kekeruhan, TSS, Fe^{2+} dengan menggunakan kombinasi zeolite - besi (III) klorida juga lebih baik daripada kombinasi zeolite modifikasi – besi (III) klorida dan zeolite modifikasi - bentonite. Hasil dari difraksi sinar-x menunjukkan bahwa kandungan mineral dalam zeolite yang telah disintesa lebih tinggi daripada zeolite alami sehingga mampu menaikkan kapasitas adsorpsinya.

Kata kunci: Air sungai, bentonit, difraksi sinar-x, koagulasi-flokulasi, zeolite

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada umumnya sistem pengolahan air menggunakan kombinasi koagulasi, pengendapan, filtrasi dan disinfektan untuk menyediakan air minum yang bersih dan aman bagi masyarakat. Sistem ini telah diterapkan sejak awal abad ke-20⁽¹⁾.

Proses koagulasi merupakan teknik dengan menggunakan bahan kimia yang bertujuan untuk mendestabilkan partikel koloid sedangkan flokulasi merupakan teknik pencampuran secara perlahan untuk meningkatkan aglomerasi partikel yang telah didestabilkan⁽²⁾. Pemindahan kontaminan tertentu dalam proses koagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, pH, alkalinitas dan pemilihan koagulan⁽²⁾. Koagulan yang banyak dijumpai di pasaran adalah berupa bahan kimia yang berdampak

terhadap pencemaran lingkungan. Sebagai ganti koagulan kimia, dikembangkan bahan koagulan alami untuk proses flokulasi dalam pengolahan air seperti bentonit dan zeolite yaitu berasal dari lempung kaolin yang dimodifikasi. Koagulan alami ini dipercaya dapat menggantikan koagulan kimia dan terutama tidak mencemari lingkungan.

Penelitian tahun 2008 menunjukkan bahwa dari 1.063 stasiun monitoring di 143 cekungan sungai di Malaysia, ada 612 (58%) titik yang masih digolongkan sebagai air sungai bersih. Sisanya adalah 412 (38%) titik terindikasi agak terpolusi dan 39 (4%) titik air sungai terpolusi. Ada penurunan yang signifikan pada jumlah air sungai bersih pada tahun 2008 dibandingkan pada pengamatan pada tahun 2007⁽³⁾.

Penggunaan bentonit dari sumber alam memberikan keuntungan yang lebih banyak dalam pengolahan air di Malaysia⁽³⁾. Selain mengurangi pencemaran lingkungan, harga bentonit juga lebih murah dibandingkan koagulan kimia di pasaran. Akan tetapi, efektifitas bentonit dan zeolite dalam penjernihan air masih perlu dipelajari. Komposisi bentonit dan zeolite mempengaruhi kapasitas adsorpsinya pada pengolahan air sungai.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini untuk mempelajari efektifitas zeolite yang dimodifikasi dan bentonit untuk meningkatkan efektifitas pemindahan turbiditas, warna, total padatan tersuspensi dan kadar besi dalam air.

2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lempung kaolin, bentonit, abu sekam padi dengan ukuran butiran maksimum 0,63 μ m. Kaolin merupakan salah satu lempung mineral yang banyak digunakan dalam industri karena sifatnya yang inert pada pH antara pH 4 dan 9⁽⁴⁾. Sampel bentonit dibeli dari Ipoh Ceramic SdnBhd di Ipoh–Perak dalam bentuk bubuk kemudian bentonit diayak dengan ukuran 0,63 μ m⁽⁵⁾. Sekam padi merupakan biomassa yang melimpah, sumber energi yang dapat diperbaharui dan dapat memberikan nilai tambah pada suatu produk⁽⁶⁾. Komponen utama sekam padi adalah C: 37,05% wt; H: 8,8% wt; N: 11,06% wt; Si: 9,01 % wt dan O: 35,03% wt dengan kandungan utamanya adalah *xylan* (komponen utama hemiselulosa). Sekam padi digunakan untuk memproduksi sejumlah komoditas seperti *xylose*, karbon teraktivasi, dan silikon dioksida⁽⁷⁾.

2.1. Sampling Air Sungai

Air sungai yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari Sungai Muda, Penang. Prosedur

pengambilan sampel yang dipakai adalah metode *grab sampling* dimana keseluruhan bahan uji dikoleksi pada satu waktu. Dengan metode ini, suatu sampel merefleksikan kondisi hanya pada satu titik pada saat sampel tersebut diambil.

Untuk mengukur tingkat keasaman suatu contoh air digunakan alat pH meter. Sebelum digunakan, pH meter telah dikalibrasi terlebih dulu dengan larutan standar pH 4, pH 7 dan pH 9. Selain parameter pH, tingkat kekeruhan contoh air juga menentukan kualitas air. Pengukuran kekeruhan berdasarkan intensitas cahaya yang dapat diteruskan oleh suatu contoh air dalam satuan NTU. Pada penelitian ini tingkat kekeruhan air Sungai Muda diukur dengan alat turbidimeter (HACH 2100N) dengan volume sampel yang diperlukan sekitar 20 ml.

Total zat padat tersuspensi (*TSS-Total Suspended Solid*) diukur dengan spektrofotometer HACH DR 2800. Volume contoh air yang diperlukan adalah sekitar 10 ml. Untuk pengukuran konsentrasi logam Fe²⁺ digunakan metode spektrofotometer DR 2500 *Odyssey* dengan panjang gelombang HACH 255 *Ferro Ver* (Metode 8146). Sekitar 25 ml contoh air ditempatkan dalam sel contoh kemudian dicampur dengan *Ferro Ver Iron Reagent Powder Pillow*. Setelah tercampur homogen (\pm 3 menit) maka muncul larutan berwarna orange yang siap diukur. Konsentrasi besi dinyatakan dengan satuan mg/l Fe.

2.2. Sintesa Zeolite dari Kaoline

Metode sintesa zeolite dari lempung kaolin yang dimodifikasi terdiri dari :

1. Penyediaan bahan lempung kaolin dengan rasio awal silika terhadap alumina yang telah diketahui.
2. Percampuran bahan lempung kaoline dengan asam untuk membentuk pasta homogen.
3. Kalsinasi pasta untuk membentuk bahan lempung asam yang telah terkalsinasi.
4. Percampuran pasta terkalsinasi dengan NaOH dalam air untuk membentuk suspensi.
5. Pengendapan aluminium dari suspensi untuk menghasilkan suspensi aluminium tereduksi.

Bahan lempung yang dimodifikasi (zeolite) dari suspensi alumina tereduksi ini mempunyai rasio silika terhadap alumina lebih tinggi dari rasio awalnya. Kandungan besi dari kaolin dihilangkan dengan penambahan HCl 6M, dicuci dengan aquades dan dikeringkan selama satu malam untuk melepaskan besi dan menghilangkan warna. Aktivasi kaolin dilakukan melalui proses kalsinasi pada suhu 950°C

selama 1 jam untuk mengubah kaolin menjadi metakaolin (padatan amorf). Di atas suhu 900°C metakaolin mengkristal ulang menjadi γ -Al₂O₃. Metakaolin telah digunakan untuk menghasilkan zeolit dan pozzolan sejak lama⁽⁷⁾. Selanjutnya, padatan ini digerus halus dan diayak dengan ukuran butiran 1,18 mm – 2mm. Butiran metakaolin dibentuk gel dengan percampuran 50 gr metakaolin ke dalam ke dalam 1000 ml NaOH 2 mol/L pada suhu 100°C selama 4 jam dengan kecepatan 250 rpm⁽⁸⁾. Zeolite sintesa ini sering disebut sebagai zeolite sodium. Selanjutnya, zeolite hasil sintesa ini dimodifikasi dengan penambahan 10% abu sekam padi dan dikeringkan pada suhu 120°C selama semalam.

Zeolite merupakan padatan kristal mikropori yang tersusun dari kerangka tiga dimensi tetrahedral AlO₄ dan SiO₄. Pada penelitian ini zeolite disintesa sehingga komposisinya menyerupai dengan zeolite alam. Untuk mengetahui karakteristik kristal dalam zeolite sintesis maka dilakukan analisis difraksi sinar-x.

2.3. Uji Jar

Uji Jar merupakan uji skala pilot terhadap bahan kimia yang digunakan untuk memacu proses koagulasi dan flokulasi dalam pengolahan air. Uji Jar Model JLT 6 dipilih dalam penelitian ini. Sekitar 500 ml air diletakkan dalam 1.000 mL tabung kaca kemudian ditambahkan koagulan (bentonit dan kombinasinya). Pengaturan pH, dosis, rasio dosis dan waktu pendiaman diperlakukan pada setiap tabung. Campuran dalam tabung diaduk dengan kecepatan 80 rpm selama 10 menit. Selanjutnya, kecepatan adukan diturunkan ke 50 rpm selama 15 menit, sesuai dengan kecepatan turbulensi dalam pembentukan flokulasi. Alat pengaduk dimatikan dan campuran ini dидiamkan.

2.4. Optimasi Dosis Percampuran

Sesuai dengan tujuan dalam penelitian ini yaitu mendapatkan efisiensi maksimum dalam pemindahan parameter kekeruhan, total padatan tersuspensi, warna dan kadar besi dari air sungai maka dilakukan penyampuran dalam dosis tertentu bentonit dan kombinasinya. Variasi rasio volume bentonit dan kombinasinya adalah sebagai berikut: 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 dan 90:10. Persentase pemindahan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Pemindahan (\%)} = \left[\frac{C_i - C_f}{C_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

Dimana: C_i adalah konsentrasi awal dalam air sungai, C_f adalah konsentrasi akhir setelah dilakukan proses adsorpsi.

2.5. Difraksi Sinar-X

Komposisi zeolite sintesis yang digunakan untuk adsorpsi ditentukan dengan menggunakan defraksi sinar-X (XRD). Ada 95% bahan padat yang dapat digambarkan sebagai kristal⁽⁹⁾. Pola defraksi sinar-X dari suatu bahan murni berlaku seperti halnya sidik jari. Metode difraksi bubuk ideal digunakan untuk karakterisasi dan identifikasi fasa polikristal⁽¹⁰⁾. Penggunaan utama difraksi bubuk adalah untuk mengidentifikasi komponen dalam suatu sampel dengan mencocokkan antara pengamatan dan prosedur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Air yang diambil dari Sungai Muda di Rumah Pam, Bumbong Lima – Penang. Parameter seperti kekeruhan, zat padat tersuspensi, warna, kandungan besi dan pH diukur dengan hasil awal berturut-turut adalah 36 NTU; 17,3 mg/L; 151 satuan pada panjang gelombang 465 nm (True colour); 1,34 mg/l Fe dan 7,41. Berdasarkan *Interm Water Quality Standard* (INWQS) untuk Malaysia, contoh air tersebut diklasifikasikan pada Kelas IIA dimana menurut konvensi adalah untuk penyedia air minum⁽³⁾.

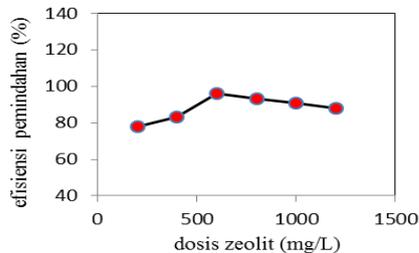
3.1 Zeolite sebagai Adsorben

Adsorpsi merupakan proses yang lebih banyak digunakan dalam teknologi pengolahan air. Beberapa adsorben seperti butiran karbon teraktivasi, polimer resin dan zeolite silika umum digunakan dalam pengolahan air tanah yang terkontaminasi dan air minum⁽¹¹⁾. Pada studi ini zeolite telah diamati kondisi dosis optimumnya untuk efisiensi pemindahan kekeruhan. Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa dengan kenaikan dosis zeolite maka efisiensi pemindahan kekeruhan juga meningkat. Dosis optimum adalah 600 mg/l zeolite dengan efisiensi pemindahan kekeruhan mencapai 96%. Dosis zeolite yang ditingkatkan hingga 1.000 mg/l dan 1.200 mg/l memperlihatkan sedikit penurunan efisiensi pemindahan kekeruhan, berturut-turut adalah 91% dan 88%. Kecepatan pemindahan kekeruhan masih dianggap bagus walaupun efisiensi pemindahan menurun.

Pengamatan terhadap parameter pH menunjukkan bahwa pada penambahan zeolite 600 mg/L, pH contoh air sungai turun menjadi 2-6 dari pH awal 7,41. Kondisi pH optimum (antara 6-8) terjadi pada tingkat efisiensi pemindahan kekeruhan pada kisaran 88-86%. Perubahan tingkat pH bukan saja tergantung pada jenis dan konsentrasi koagulan saja tetapi juga tergantung pada karakteristik contoh air⁽¹²⁾.

Dengan menggunakan konsentrasi zeolite 600 mg/l maka diamati persentase pemindahan beberapa parameter seperti kekeruhan, zat padat

tersuspensi, warna dan kandungan besi. Hasil yang diperoleh adalah seperti terlihat pada Gambar 2. Efisiensi pemindahan ketiga parameter tersebut oleh zeolite adalah berkisar pada 75-95%. Hal ini mengindikasikan bahwa zeolite merupakan koagulan yang efektif untuk memindahkan kekeruhan, padatan tersuspensi, warna dan kandungan besi.



Gambar 1. Hubungan antara efisiensi pemindahan kekeruhan dengan dosis zeolite

3.1.1. Campuran Bentonit - Zeolite

Partikel yang lebih kecil diketahui lebih efektif daripada partikel yang lebih besar karena luas permukaan menjadi lebih besar sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya⁽¹²⁾. Oleh karena itu, dalam studi ini, digunakan ukuran partikel 63 μm untuk campuran bentonit dan zeolite. Pada dosis optimum zeolite (800 mg/L) dan rasio dosis optimum (60:40), pH optimum (6-8) dan waktu pendiaman 60 menit diamati efisiensi pemindahan seperti pada Gambar 2.

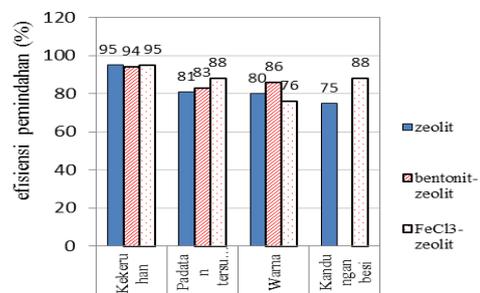
Efisiensi pemindahan parameter kekeruhan, padatan tersuspensi dan warna pada kondisi tersebut adalah antara 80-95%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran bentonit pada zeolite mampu menaikkan efisiensi pemindahan padatan tersuspensi dan warna lebih baik daripada zeolite tanpa bentonit. Pencampuran bentonit pada zeolite juga telah terbukti meningkatkan efek adsorpsi seperti yang telah dilaporkan oleh Banat F.A, et.al⁽¹³⁾.

3.1.2. Campuran FeCl_3 - Zeolite

Aboulhasan M.A, et al meneliti bahwa penambahan FeCl_3 dapat meningkatkan efektivitas proses koagulasi dan flokulasi pada pengolahan air dan air limbah. Efisiensi pemindahan COD dan kekeruhan berturut-turut adalah 99% dan 88%⁽¹⁴⁾. Dalam proses koagulasi dan flokulasi, penambahan FeCl_3 atau polimer dimaksudkan untuk mendestabilkan material koloid sehingga partikel-partikel kecil beraglomerasi membentuk partikel lebih besar. Selain itu FeCl_3 sebagai koagulan dapat menghilangkan warna sehingga dapat diterapkan untuk pengolahan air dan air sampah kota⁽¹⁵⁾.

Gambar 2 menunjukkan bahwa penambahan FeCl_3 pada zeolite memberikan efisiensi pemindahan kekeruhan hingga 95% diikuti

warna, padatan tersuspensi dan kandungan besi masing-masing 76%, 88% dan 88%. Hal ini membuktikan bahwa mineral lumpur dapat digunakan sebagai koagulan dalam langkah flokulasi dengan pengikatan partikel kecil menjadi partikel lebih besar ketika FeCl_3 ditambahkan sebagai koagulan utama. Studi lain melaporkan bahwa ketika bentonit, alum dan FeCl_3 digunakan sebagai koagulan, efisiensi pemindahan kekeruhan masing-masing mencapai 93,4%, 77% dan 95%⁽¹⁶⁾. Hasil ini menunjukkan bahwa FeCl_3 merupakan pilihan terbaik sebagai koagulan untuk menghilangkan kekeruhan pada air. Selain itu, parameter padatan tersuspensi dan kandungan besi yang terlarut masih dibawah ambang batas *Interim Water Quality Standard for Malaysia* (2010) yakni masing-masing 50 mg/l dan 0,3 mg/l pada kelas IIA/B⁽³⁾.



Gambar 2. Efisiensi pemindahan kekeruhan, padatan tersuspensi, warna dan kandungan besi oleh zeolite, bentonit-zeolite dan FeCl_3 -zeolite

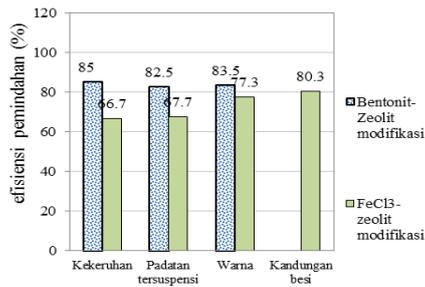
3.2 Modifikasi Zeolite

3.2.1 Campuran Zeolite dengan Bentonit

Kombinasi ini dilakukan dengan pengaturan kondisi optimum dosis, rasio dosis, pH dan waktu pendiaman seperti pada pencampuran bentonit dan zeolite. Akan tetapi zeolite yang digunakan telah dimodifikasi dengan penambahan 10% abu sekam padi. Efisiensi pemindahan parameter kekeruhan, warna dan zat padat tersuspensi berkisar antara 82% - 85%, seperti terlihat pada Gambar 3. Hussain, et.al⁽¹⁷⁾ menyatakan bahwa abu sekam padi dominan mengandung mesopori (ukuran diameter pori 2-5 nm) yang mempunyai sifat dapat mengadsorpsi kandungan logam lebih banyak.

3.2.2 Campuran Zeolite dengan FeCl_3

Efek kombinasi FeCl_3 yang ditambahkan pada zeolite untuk pemindahan kekeruhan, total padatan tersuspensi, warna dan kandungan besi seperti terlihat pada Gambar 3. Efisiensi pemindahan kekeruhan tertinggi mencapai 67% yang menunjukkan penurunan dari kombinasi sebelumnya (FeCl_3 yang dicampurkan pada zeolite). Begitu juga dengan efisiensi pemindahan padatan tersuspensi dan kandungan besi mengalami penurunan.



Gambar 3. Efisiensi pemindahan kekeruhan, padatan tersuspensi, warna dan kandungan besi oleh bentonit-zeolit yang modifikasi dan FeCl₃-zeolit yang dimodifikasi

3.3 Perbandingan Kombinasi Zeolite

Pada penelitian ini telah dilakukan empat kombinasi koagulan yaitu: bentonit-zeolite, bentonit-zeolit yang dimodifikasi, FeCl₃-zeolit dan FeCl₃-zeolit yang dimodifikasi. Keempat modifikasi ini diterapkan untuk memindahkan parameter kekeruhan, warna, padatan tersuspensi dan kandungan besi dari contoh air sungai. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kombinasi zeolite-FeCl₃ mempunyai kemampuan tertinggi untuk memindahkan kekeruhan air dibandingkan dengan kombinasi zeolite yang lain. Hal ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Srivastava, *et.al.*⁽¹⁶⁾ bahwa alum dan FeCl₃ sebagai koagulan mempunyai efisiensi tertinggi dalam pemindahan kekeruhan.

Efisiensi pemindahan padatan tersuspensi yang tertinggi juga dimiliki oleh kombinasi koagulan zeolite-FeCl₃ yakni mencapai 88%. Sebaliknya kemampuan ini menurun untuk kombinasi zeolite yang dimodifikasi-FeCl₃ hingga 67%. Kombinasi yang lain masih dianggap baik dalam pemindahan kekeruhan, warna, padatan tersuspensi dan kandungan besi.

Efisiensi pemindahan warna tertinggi untuk contoh air sungai Sungai Muda tercatat hingga 83% dengan menggunakan kombinasi zeolit-bentonit. Zeolit menawarkan suatu pilihan yang menarik dan murah untuk memindahkan kontaminan baik organik maupun anorganik⁽⁴⁾. Studi lain dengan zeolite yang dimodifikasi dengan abu sekam padi 10% terbukti baik sebagai koagulan dalam proses koagulasi-flokulasi. Modifikasi ini mampu meningkatkan efisiensi pemindahan kekeruhan hingga 94%, lebih tinggi daripada menggunakan zeolite tanpa campuran. Abu sekam padi diketahui mempunyai distribusi ukuran pori yang luas sehingga mempunyai kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi⁽¹⁶⁾.

Dalam penelitian ini kombinasi zeolite yang dimodifikasi dengan abu sekam padi 10% dan FeCl₃ menunjukkan penurunan efisiensi pemindahan kekeruhan, warna, dan padatan

tersuspensi. Akan tetapi, terjadi peningkatan efisiensi pemindahan kandungan besi lebih tinggi dibandingkan dengan zeolite tanpa abu sekam padi.

3.4 Difraksi Sinar-X

Berdasarkan penelitian ini, senyawa kaolinite - Al₂Si₂O₅(OH)₄ mengalami perubahan kimiawi melalui proses dehidrosilasi pada suhu antara 450°C hingga 600°C. Senyawa baru yang diperoleh adalah metakaolinite (Al₂Si₂O₇). Zeolite asal yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai komposisi utama berupa mineral klinoptilolit (63%) yang tersusun atas Na, K, C dan komposisi lain seperti tertera pada Tabel 1. Hasil analisis kuantitatif berdasarkan pengukuran difraksi sinar-X dari zeolite sintesa dan zeolite yang dimodifikasi seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi mineral pada zeolite hasil dari sintesa dan modifikasi

No.	Mineral	Persentase (%) dalam Zeolite yang disintesa	Persentase (%) dalam Zeolite yang dimodifikasi
1.	SiO ₂	78	84
2.	Al ₂ O ₃	13.2	13
3.	TiO ₂	0.7	0.6
4.	Fe ₂ O ₃	1.4	2.7
5.	MgO	0.5	0.8
6.	CaO	2.2	3.0
7.	Na ₂ O	1.2	1.0
8.	K ₂ O	0.7	2.5
9.	ZnO	-	6.6

Kandungan mineral utama seperti SiO₂ (78%), Al₂O₃ dan TiO₂ pada zeolite yang disintesa menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan komposisi pada zeolite asal. Dari hasil pola defraksi sinar-X pada zeolite yang dimodifikasi menunjukkan kandungan mineral SiO₂ (84%) lebih tinggi dari komposisi zeolite asal ataupun zeolite hasil sintesa. Demikian juga dengan mineral yang lain seperti Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O dan ZnO pada zeolite yang dimodifikasi lebih tinggi dari zeolite hasil sintesa seperti terlihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil penelitian ini, mineral ZnO dengan kandungan yang relatif tinggi ditemukan pada zeolite yang dimodifikasi. Mineral ini tidak ditemukan pada zeolite asal yang kandungan utamanya adalah kaoline dan sebagian kecil komponen amorf. Demikian juga pada zeolite hasil dari sintesa, tidak ditemukan kandungan ZnO. Kemungkinan penambahan abu sekam padi pada zeolite turut meyumbang kandungan mineral ZnO pada zeolite yang dimodifikasi.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa zeolite yang disintesa beserta kombinasinya memberikan adsorben yang cukup bagus dalam proses koagulasi-flokulasi pengolahan air sungai. Kondisi optimum tercatat, kisaran pH adalah pada 6-8, dosis zeolite 200 mg/l – 800 mg/l, rasio kombinasi zeolite-FeCl₃ dan zeolite-bentonite masing-masing adalah 80:20 dan 60:40. Zeolite mampu memindahkan kekeruhan air sungai sebesar 90%, padatan tersuspensi sebesar 81%, warna sebesar 80% dan kandungan besi sebesar 84%. Dengan menambahkan FeCl₃ pada zeolite yang telah disintesa terbukti mampu meningkatkan pemindahan kekeruhan hingga 95%, padatan tersuspensi 88% dan kandungan besi hingga 88%. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan penambahan bentonit pada zeolite yang telah disintesa. Pada kombinasi zeolite yang dimodifikasi dengan FeCl₃ ataupun dengan bentonit juga memberikan efisiensi pemindahan parameter kekeruhan, padatan tersuspensi, warna dan kandungan besi lebih dari 80%.

Analisa kuantitatif kandungan mineral dengan defraksi sinar-X pada zeolite yang dimodifikasi dengan abu sekam padi 10% menunjukkan peningkatan kandungan mineral SiO₂ sebesar 84% dibandingkan dengan SiO₂ pada zeolite yang disintesa sebesar 78% dan SiO₂ zeolite asal sebesar 63%. Selain itu kandungan beberapa mineral seperti Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO dan K₂O juga meningkat pada zeolite sintesa yang dimodifikasi.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bina Nusantara, Departemen Civil Engineering, Universiti Sains Malaysia, dan Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Simon. P., J. Bruce, and C. Noel, (2010), Water and Waste Water Treatment, Journal of Department of Chemical Engineering, University of Cranfield, 10:1327-1330.
2. McGhee, T.J., (1991), *Water Supply and Sewerage Engineering*, (6th ed.), Pub: Mc Graw Hill.
3. Anonim, (2010), *Statistic of River Pollution*. Departement of Environmental Malaysia.
4. Murray, H.H., (2000), *Tradial and New Applications for Kaolin Smectite and Alygorskite: a General Overview*, Application Clay Science, 17:207-221.
5. Karipinar, N., and R. Donat, (2009), Adsorption Behavior of Cu²⁺ and Cd²⁺ Onto Natural Bentonite, *Desalination*, 249:123-129.
6. Vlaev, L.T., I.G. Markovska, and L.A. Lyubehev, (2003), *Non-Isothermal Kinetics Pyrolysis of Rice Husk*, *Thermochim*, 1-7.
7. Anonim, (2005), *Environmental Health Criteria 231- Bentonite, Kaolin and selected clay minerals*, World Health Organization, Geneva, pp:1-5.
8. Syafalni, S., A. Rohana, and F.Z. Siti Nor, (2014), Groundwater Treatment Using Activated Carbon and Modified Kaolin Clay, *International Journal of Applied Environmental Sciences*, Vol. 9, 4:2051-2061.
9. Paola, C., S. Laura, E. Stefano, and M. Pietro, (2008), Sorption Processes and XRD Analysis of a Natural Zeolite Exchanged with Pb²⁺, Cd²⁺ and Zn²⁺ Cations, *Journal Hazardous Materials*, 156:428-434.
10. Mondales, K.D., R.M. Carland, and F.F. Aplan, (2005), The Comparative Ion Exchange Capacities of Natural Sedimentary and Synthetic Zeolites, *Mineralogy Engineering*, 8:535-548.
11. Shih, T., M. Wangpaichitr, and M. Suffet, (2006), Performance and Cost Evaluations of Synthetic Resin Technology for the Removal of Methyl Tert-Butyl Ether from Drinking Water, *Environmental Enggining*, 131:450-460
12. Kaya, A., and A.H. Oren, (2005), Adsorption of Zinc from Aqueous Solutions to Bentonit, *Hazards Materials*, 125:183-189.
13. Banat, F.A., B. Al-Bashir, S. Al-Asheh, and O. Hayajneh, (2000), Adsorption of Phenol by Bentonit, *Environmental Pollution*, 99:191-198.
14. Aboulhassan, M.A., S. Soubi, A. Yaacoubi, and Baudu, (2006), Removal of Surfactant from Waterand Waste Water by Coagulation-Flocculation Process, *International Journal of Environmental Scinece and Technology*, 3 (4):327-332.
15. Ozacar, M., and I.A. Sengil, (2002), The Use of Tannis from Turkish Acorns in Water Treatment as a Coagulant and Coagulant Aid, *Turkish Journal Enggineering and Environmental Sciences*, 26:255-263.
16. Vimal, C.S., D.M. Indra, and M.M. Indra, (2006), Characterization of Mesoporous Rice Husk Ash (RHA) and Adsorption Kinetikc of Metal Ions from Aqueous Solutions Onto RHA, *Journal of Hasardous Materials*, B134:257-267.
17. Hussain, S., H.A. Aziz, M.H. Isa, M.N. Adlan, and F.A.H. Assari, (2006), Physicochemical Method for Ammonia Removal from Synthetic Water Using Limestone, Bentonite in Batch and Coloumn Studies, *Bioresources Technology*, 98:877-881.