

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan dan Preparasi Air Sumur

Air sumur diambil dari sumur yang berada di lingkungan keluarga Bapak Hendri di Kecamatan Rejosari, Pangkalpinang. Sampel air sumur diambil berdasarkan SNI 6989.59-2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah agar sampel air sumur yang didapatkan representatif. Sampel air sumur juga dipreparasi untuk pengujian kadar Fe menggunakan SSA berdasarkan SNI 06-6989.4-2004 tentang Cara Uji Besi (Fe) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom(SSA)-Nyala. Air sumur yang diambil memiliki ciri-ciri fisik air berwarna kekuningan; bau seperti besi yang berkarat; rasa keasaman; pH air sumur 5,5; suhu air $30,9^{\circ}$ C dan kadar logam Fe sebesar 2,074 ppm berdasarkan uji SSA. Air sumur yang diambil merupakan air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari seperti mandi dan sikat gigi, keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan dan pakaian. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2007, air untuk kebutuhan higiene sanitasi harus memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan dengan ciri-ciri fisik tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa dengan suhu = suhu udara $\pm 3^{\circ}$ C; dan parameter kimia pH 6,5-8,5 serta kadar besi dalam air adalah 1 mg/L.

Sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 32 Tahun 2007, air sumur yang berada di lingkungan keluarga Bapak Hendri tidak memenuhi standar baku mutu air baik secara parameter fisik maupun parameter kimia. Berdasarkan alasan tersebut peneliti mengambil air sebagai sampel yang digunakan dalam uji adsorpsi pada adsorben kaolin, magnetit, dan komposit kaolin-magnetit.

Berdasarkan pengukuran kadar logam Fe dalam air sumur sebesar 2,074 ppm. Apabila sampel air sumur ini digunakan pada proses adsorpsi maka daya adsorpsi logam Fe oleh adsorben tidak dapat dihitung, dikarenakan nilai konsentrasinya cukup kecil sehingga perlu ditambahkan larutan FeCl_3 untuk meningkatkan konsentrasi Fe pada sampel. Besi yang ditambahkan merupakan Fe(III) dalam bentuk FeCl_3 karena air sumur termasuk dalam air permukaan yang cenderung kontak dengan oksigen sehingga membentuk Fe(III). Konsentrasi air

sumur setelah ditambahkan FeCl_3 adalah 29,05 ppm. Air sumur dengan penambahan FeCl_3 tersebut yang digunakan pada penentuan pengaruh variasi perbandingan massa komposit kaolin-magnetit dan waktu pengadukan.

4.2 Preparasi dan Aktivasi Kaolin

Kaolin mengandung komponen utama berupa silika dan alumina sebagai penyusun kerangka kaolin, namun kaolin yang berasal dari alam mengandung banyak pengotor, baik pengotor fisik maupun pengotor kimia yang dapat mempengaruhi sifat dari kaolin tersebut. Preparasi kaolin dilakukan dengan mencucinya menggunakan akuades agar pengotor fisik seperti bebatuan kecil, tanah, dan potongan ranting pohon dapat dipisahkan. Kaolin yang sudah bersih dapat dikeringkan dengan cara dijemur dibawah panas matahari kemudian digerus dan diayak dengan ayakan 100 mesh agar pengotor yang terlewat pada proses pencucian dapat dipisahkan kembali. Kaolin hasil preparasi kemudian diaktivasi secara kimia menggunakan asam sulfat. Proses aktivasi pada kaolin menggunakan asam sulfat bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan tanpa merusak struktur dari kaolin tersebut. Asam sulfat sebagai aktivator asam dipilih didasarkan pada penelitian Magdy *et al.* (2017) yang menggunakan asam sulfat pada konsentrasi 2 M, karena pada konsentrasi yang lebih tinggi dari 2 M yaitu 4 M dan 6 M memberikan persen penurunan konsentrasi limbah yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi 2 M. Aktivasi asam menggunakan asam sulfat juga dipilih karena asam sulfat merupakan asam kuat yang memiliki bilangan ekuivalen H^+ lebih tinggi dibandingkan dengan asam klorida dan asam nitrat sehingga dapat bertukar dengan kation yang terdapat pada *interlayer* di kaolin seperti Na^+ dan K^+ Madejová *et al.* (1998). Reaksi yang terjadi pada proses aktivasi kimia kaolin yaitu :



(Makó *et al.*, 2006)

Reaksi menunjukkan bahwa atom Al berpindah dari struktur bersamaan dengan gugus hidroksil, sehingga terjadi perubahan gugus oktahedral menjadi gugus tetrahedral. Perubahan dari gugus oktahedral menjadi tetrahedral membuat kisi kristal bermuatan negatif (Larossa, 2007). Madejová *et al.* (1998) menyatakan

selama proses aktivasi menggunakan asam kation *interlayer* digantikan dan kation oktahedral (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} dan Fe^{3+}) larut. Menurut Sari *et al.* (2015), larutan asam sulfat yang digunakan pada proses aktivasi dapat menggantikan kation logam yang ada pada lempung seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} sehingga lempung terprotonasi dan membentuk situs-situs aktif dipermukaan.

4.3 Sintesis Komposit Kaolin-Magnetit

Tahap pertama sintesis modifikasi kaolin berbasis magnetit adalah sintesis magnetit untuk menentukan massa magnet yang didapatkan melalui metode kopresipitasi. Menurut Latief (2018), metode kopresipitasi merupakan cara yang mudah untuk sintesis partikel magnetit dari larutan garam menjadi endapan dengan menggunakan agen pengendap basa hidroksida atau karbonat yang kemudian diubah kebentuk oksidanya melalui pemanasan.

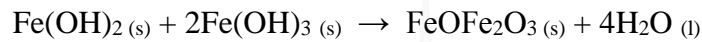
FeCl_3 digunakan sebagai sumber ion Fe^{3+} dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber ion Fe^{2+} karena ion *ferrous* dan ion *ferric* menjadi dasar dari sintesis kristal Fe_3O_4 . Struktur Fe_3O_4 merupakan gabungan dari FeO dan Fe_2O_3 yang tercapai dengan stoikiometri $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+} = 2:1$. Secara teoritis nilai magnetisasi yang diberikan oleh Fe_3O_4 akan dicapai bila prekursor $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+}$ memiliki perbandingan 2:1 (Fisli, 2010). Pembentukan partikel magnetit dengan metode kopresipitasi dari larutan ini dilakukan melalui pengendapan dengan basa NaOH yang akan memberikan suasana basa dalam sistem larutan sehingga partikel magnetit akan mengendap. Rongzheng *et al.* (2011) menyatakan, NaOH digunakan dalam sintesis Fe_3O_4 karena basa kuat akan membentuk Fe_3O_4 dalam pembentukan oksida besi, sedangkan basa lemah akan menghasilkan hematit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Basa NaOH ditambahkan tetes demi tetes hingga terbentuk endapan berwarna hitam sambil terus diaduk dengan kecepatan yang konstan. Pengadukan ini bertujuan untuk menghomogenkan prekursor sehingga terbentuk Fe_3O_4 yang sempurna. Pemilihan pH rentang pH 11-12 didasarkan pada metode kopresipitasi yang akan mengendapkan partikel Fe_3O_4 . Hal ini berdasarkan fakta bahwa senyawa magnetit mulai terbentuk pada rentang pH 9-14 (El-Kharrag *et al.*, 2012). Kelebihan NaOH pada magnetit dihilangkan dengan mencuci endapan yang telah disaring

menggunakan akuades hingga pH 7. Reaksi yang menggambarkan pembentukan Fe_3O_4 secara kopresipitasi adalah :

Tahap I. Pembentukan padatan



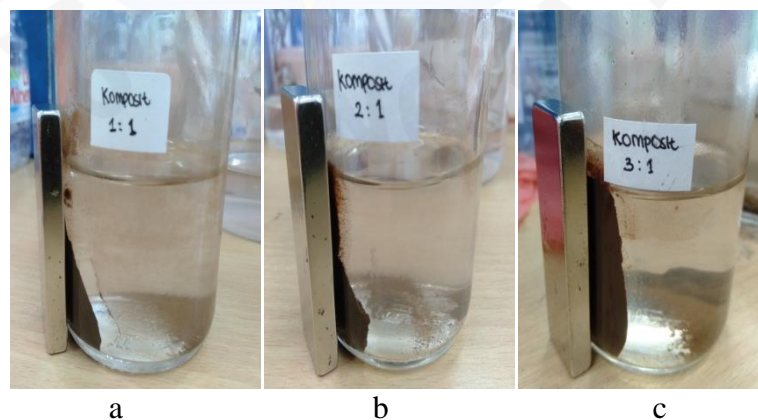
Tahap II. Dehidrasi pembentukan magnet melalui proses pemanasan



FeOFe_2O_3 biasa ditulis dengan Fe_3O_4 (Fisli, 2010)

Menurut Rahimah *et al.* (2019), endapan besi oksida yang dihasilkan berwarna hitam yang mengidentifikasi terbentuknya partikel oksida besi Fe_3O_4 . Permana *et al.* (2009) menyatakan, endapan ini juga merupakan partikel magnetik yang terlihat pada proses dekantasi magnet dan dapat berinteraksi dengan medan magnet. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan massa magnetit yang didapatkan sebesar 3,467 gram.

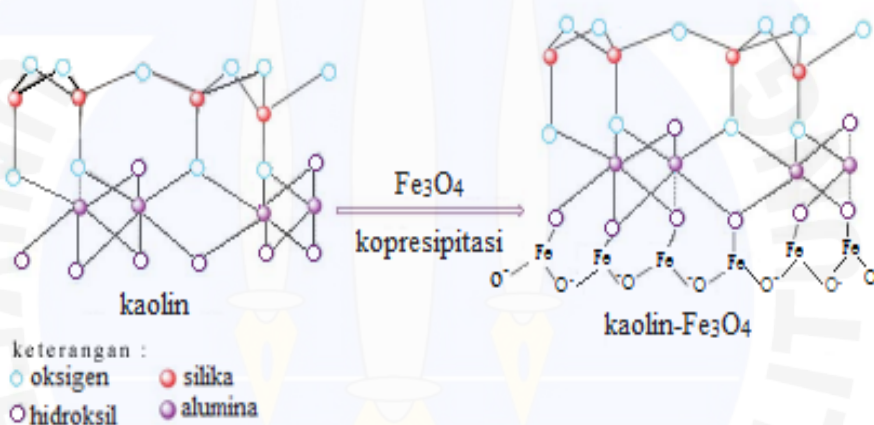
Setelah didapatkan magnetit seberat 3,467 gram tahap selanjutnya adalah sintesis komposit magnetit-kaolin alam teraktivasi. Komposit merupakan material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang masing-masing memiliki sifat yang berbeda baik secara fisika maupun secara kimia (Latief, 2018). Pembuatan komposit dilakukan dengan cara sintesis melalui reaksi kimia, yaitu mencampurkan ion $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ dengan kaolin alam teraktivasi. Pada tahap ini, ion-ion $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ pada magnetit menempel di permukaan kaolin.



Gambar 4.1. Interaksi komposit dengan medan magnet luar,

kaolin : magnetit = (a) 1:1, (b) 2:1, (c) 3:1

Gambar 4.1 menunjukkan interaksi antara komposit kaolin-magnetit dengan medan magnet luar. Komposit kaolin-magnetit yang paling baik berinteraksi dengan medan magnet luar adalah komposit 1:1, karena berdasarkan pengamatan visual, semakin banyak kaolin yang ditambahkan pada magnetit interaksi antara magnet dengan komposit kaolin-magnetit semakin melambat dan warna yang dihasilkan semakin coklat muda. Pada Gambar 4.2, menunjukkan ilustrasi reaksi antara kaolin dengan magnetit. Ikatan yang terjadi pada komposit kaolin-magnetit adalah interaksi lewis. Interaksi lewis terjadi ketika atom oksigen yang terikat pada Al dari struktur kaolin bertindak sebagai basa lewis membentuk ikatan pada permukaan kaolin dengan ion Fe yang bertindak sebagai asam lewis saat proses sintesis komposit kaolin-magnetit (Fadillah *et al.*, 2020).



Gambar 4.2. Ilustrasi mekanisme reaksi kaolin-magnetit dimodifikasi dari penelitian Mirjalili dan Soltani (2019)

4.4 Karakterisasi Adsorben

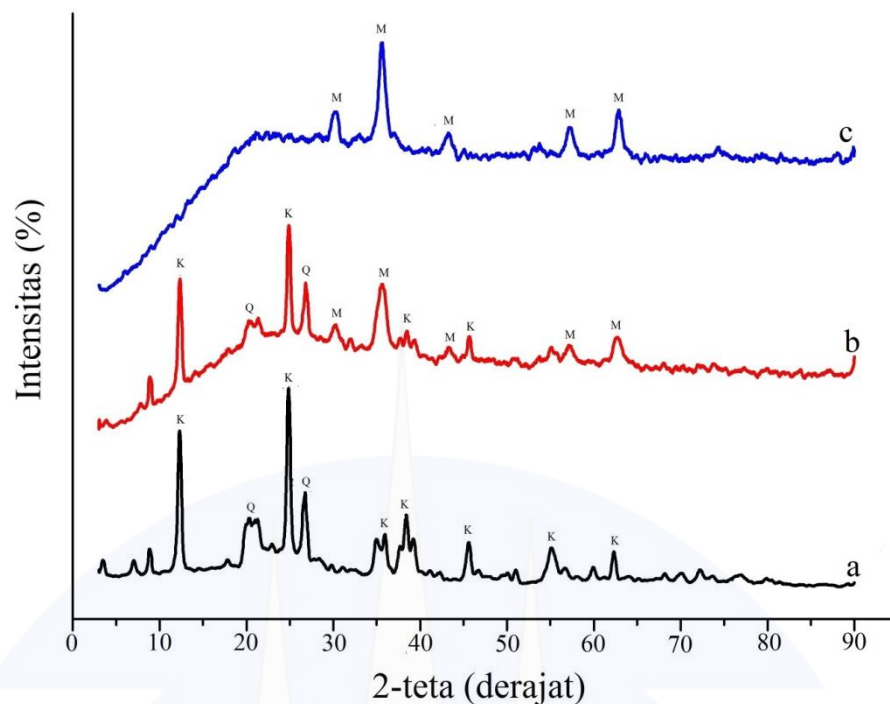
Analisis kualitatif pada kaolin alam teraktivasi, magnetit, dan kaolin-magnetit dilakukan dengan menggunakan XRD. Berdasarkan hasil analisis menggunakan XRD dapat diketahui difraktogram yang terbaca ditampilkan pada Gambar 4.3. Gambar 4.3 (a) merupakan hasil analisis XRD untuk senyawa kaolin alam teraktivasi. Difraktogram tersebut menunjukkan adanya fraksi utama kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) yang ditunjukkan oleh puncak-puncak pada sudut $12,33^\circ$; $20,46^\circ$; $24,84^\circ$; $26,89^\circ$; $35,87^\circ$; $38,4^\circ$; dan $62,37^\circ$ yang sesuai dengan JCPDS No. 14-0164. Nilai ini juga memiliki kemiripan pada penelitian Qin *et al.* (2016)

yang menyatakan, difraksi utama dari kaolin berada pada $2\theta = 12,30^\circ$; $35,92^\circ$ (Al_2O_3) dan $2\theta = 24,84^\circ$; $38,34^\circ$; dan $62,3^\circ$ (SiO_2), yang merupakan karakteristik dari kaolin. Diperkirakan puncak dengan nilai sudut $2\theta = 20,46^\circ$ dan $26,89^\circ$ milik kuarsa (SiO_2). Nilai ini juga hampir sama dengan penelitian lain yaitu $20,92^\circ$ dan $26,67^\circ$ (Nugraha & Kulsum, 2017) dan $20,85^\circ$ dan $26,64^\circ$ (Sari *et al.*, 2015).

Gambar 4.3 (c) merupakan difraktogram dari magnetit hasil sintesis dengan perbandingan $\text{Fe}^{3+}:\text{Fe}^{2+} = 2:1$. Difraktogram hasil karakterisasi XRD seperti tampak pada gambar merupakan tipikal puncak XRD standar *magnetite* yaitu JCPDS No. 01-1111, yang ditandai dengan adanya puncak-puncak pada sudut $30,19^\circ$; $35,51^\circ$; $43,4^\circ$; $57,29^\circ$; dan $62,79^\circ$. Difraktogram ini memiliki kemiripan dengan penelitian Goharrizi *et al.* (2018) yang menyatakan, indikasi karakteristik puncak untuk Fe_3O_4 yaitu pada $30,1^\circ$; $35,5^\circ$; $43,1^\circ$; $57,0^\circ$; dan $62,6^\circ$. Hal ini jelas menunjukkan bahwa Fe_3O_4 adalah satu-satunya produk yang dapat dideteksi, walaupun pola XRD tetap menunjukkan puncak-puncak kecil yang berkaitan dengan pengotor yang tidak berarti pada partikel ini.

Gambar 4.3 (b) menunjukkan refleksi dari masing-masing puncak kaolin alam teraktivasi dan magnetit. Puncak dengan nilai sudut $12,34^\circ$ dan $24,9^\circ$ untuk kaolin sedangkan $30,1^\circ$; $35,61^\circ$; $57,18^\circ$; dan $62,76^\circ$ untuk magnetit, dan refleksi katakarakteristik intensitas tidak berubah secara signifikan. Nilai ini memiliki kemiripan dengan komposit magnetit-kaolin *clay* pada penelitian lain yang memberikan nilai $2\theta = 12,30^\circ$ dan $24,86^\circ$ untuk kaolin dan $2\theta = 30,12^\circ$; $35,44^\circ$; $56,94^\circ$; dan $62,52^\circ$ untuk magnetit (Goharrizi *et al.*, 2018).

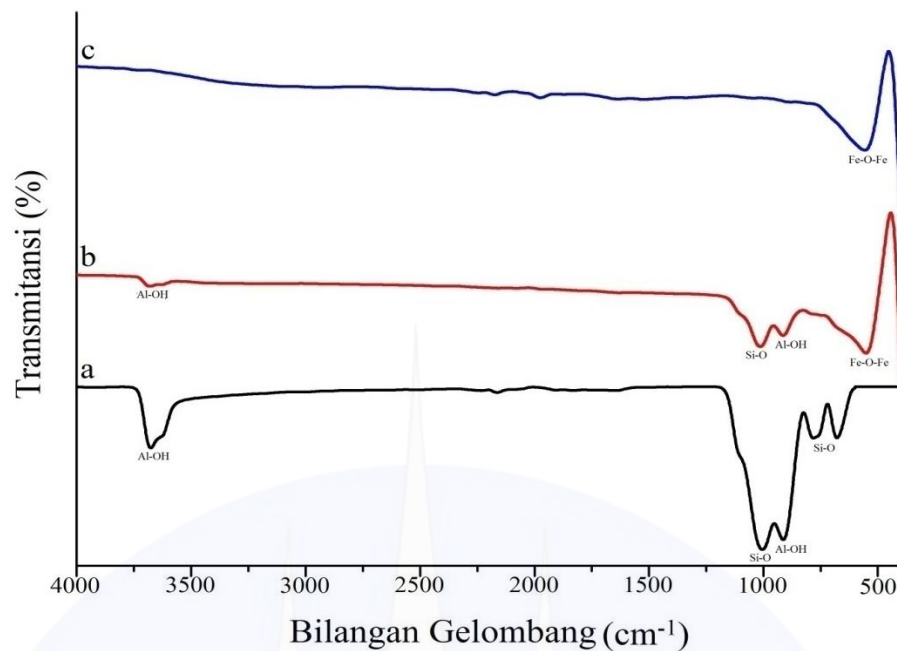
Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa puncak-puncak yang terbaca pada Gambar 4.3 (b) membuktikan terbentuknya komposit kaolin-magnetit, ditandai dengan adanya puncak difraksi milik kaolin alam dan magnetit. Nilai d pada 3 puncak utama kaolin dan komposit kaolin-magnetit yang muncul pada $2\theta = 12,3^\circ$; $24,8^\circ$; dan $38,4^\circ$ memiliki nilai yang sama yaitu $7,17 \text{ \AA}$; $3,57 \text{ \AA}$; dan $2,34 \text{ \AA}$, sehingga berdasarkan hasil dapat diketahui bahwa fasa Fe_3O_4 tidak berada di *interlayer* kaolin melainkan menempel pada permukaan kaolin (Qin *et al.*, 2016).



Gambar 4.3. Difraktogram (a) kaolin alam teraktivasi (b) komposit kaolin-magnetit (c) magnetit hasil sintesis, ket : K (kaolinit), Q (kuarsa), M (magnetit)

Analisis kualitatif pada adsorben selain menggunakan instrumen XRD juga menggunakan instrumen FTIR, dimana spektrum IR ini akan menguatkan hasil dari difraktogram komposit kaolin-magnetit. Spektrum inframerah dari kaolin alam teraktivasi, komposit kaolin-magnetit, dan magnetit ditampilkan pada Gambar 4.4 dan ringkasan data panjang gelombang beserta referensi pendukung ditampilkan pada Tabel 4.1. Sama hal nya seperti difraktogram komposit kaolin-magnetit yang merefleksikan masing-masing difraktogram dari kaolin dan magnetit, spektrum infra merah juga menunjukkan adanya kemiripan susunan kaolin alam dan magnetit pada komposit kaolin-magnetit.

Hasil penelitian menunjukkan vibrasi Al-OH yang berasal dari OH yang terikat secara oktahedral pada Al (Nurhadini *et al.*, 2019) yang ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang 3675 cm^{-1} pada kaolin dan pita serapan lemah pada bilangan gelombang 3680 cm^{-1} pada kaolin-magnetit. Magdy *et al.* (2017) menyatakan, melemahnya puncak pada bilangan gelombang tersebut dikarenakan berkurangnya jumlah air pada permukaan kaolin yang menyebabkan perubahan struktur molekul dari kaolin.



Gambar 4.4. Spektrum FTIR (a) kaolin alam teraktivasi (b) komposit kaolin-magnetit (c) magnetit hasil sintesis

Tabel 4.1. Bilangan Gelombang Hasil Analisis FTIR

| Gugus Fungsi | Referensi | Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) | | |
|-------------------------|--|--|-------------------|----------|
| | | Kaolin | Kaolin – magnetit | Magnetit |
| Vibrasi regangan Al-OH | 3678 ^a , 3695 dan 3620 ^b , 3649 dan 3690 ^c | 3675 | 3680 | - |
| Vibrasi regangan Si-O | 1003 ^a , 1032 ^b , 1001 dan 1027 ^c , 1007 dan 1032 ^d | 1004 | 1013 | - |
| Vibrasi regangan Al-OH | 913 ^a , 914 ^b , ^d 911; 913; dan 915 | 913 | 913 | - |
| Vibrasi regangan Si – O | 780 dan 684 ^a , ^c 750 dan 683, ^d 754 dan 795 | 781 dan 678 | - | - |
| Regangan Fe – O – Fe | 555 ^e | - | 551 | 555 |

^aNurhadini *et al.* (2019), ^bQin *et al.* (2016), ^cMagdy *et al.* (2017), ^dEkosse (2005), ^eChattrairat & Phromyothin (2019)

Spektrum kaolin dan kaolin-magnetit, menunjukkan serapan kuat pada bilangan gelombang 1004 cm⁻¹ dan melemah pada bilangan gelombang 1013 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi regangan dari Si-O. Vibrasi regangan Al-OH ditunjukkan oleh bilangan 913 cm⁻¹ pada kaolin dan pada komposit kaolin-

magnetit. Ikatan Si-O ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang berturut-turut 781 dan 678 cm^{-1} pada kaolin sedangkan pada kaolin-magnetit pita serapan ini tidak muncul. Tidak munculnya pita serapan ini akibat dari destruksi ikatan Si-O dengan alkali (Nugraha & Kulsum, 2017), yang diakibatkan dari reaksi antara NaOH dan H_2O selama preparasi magnetit. Regangan Fe-O-Fe pada magnetit ditunjukkan pada bilangan gelombang 555 cm^{-1} dan pada kaolin-magnetit berada pada bilangan gelombang 551 cm^{-1} . Adanya pergeseran bilangan gelombang pada komposit kaolin:magnetit dibandingkan kaolin alam teraktivasi mengindikasikan adanya interaksi antara kaolin dan NaOH saat proses sintesis komposit dengan metode kopresipitasi. Nugraha & Kulsum (2017) menyatakan, adanya pergeseran pita serapan bilangan gelombang disebabkan oleh alkali saat preparasi magnetit. Selain menyebabkan pergeseran pita serapan bilangan gelombang, alkali dengan konsentrasi yang tinggi diatas pH 12 dapat melarutkan alumina silikat. Pada penelitian ini, pH komposit kaolin-magnetit sebelum pencucian mencapai pH antara 12-13, sehingga terjadi destruksi pada ikatan Si-O dan Al-O.

Berdasarkan spektrum IR pada Gambar 4.4 komposit kaolin-magnetit berhasil disintesis. Komposit kaolin-magnetit ditandai dengan adanya gugus fungsi kaolin yaitu regangan Al-OH dan rengangan Si-O serta karakteristik gugus fungsi dari magnetit yaitu Fe-O-Fe pada spektrum IR komposit kaolin-magnetit.

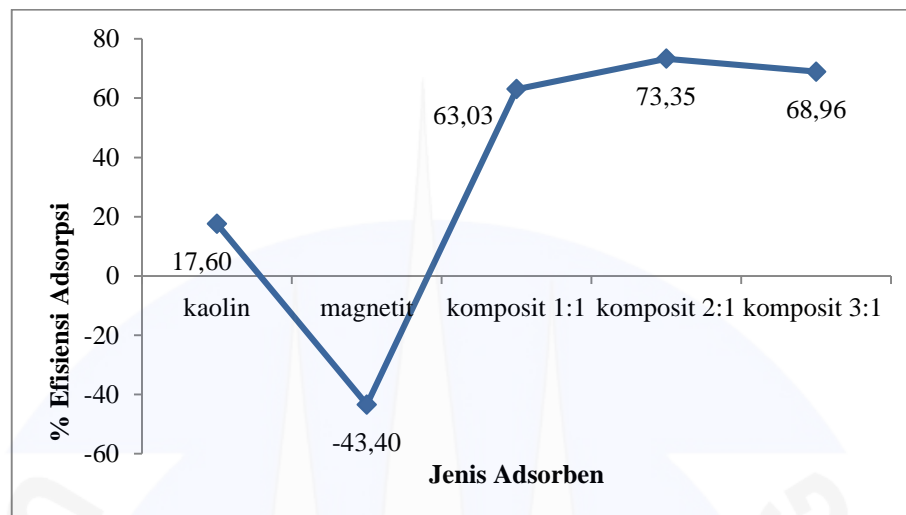
4.5 Kondisi Optimum Uji Adsorpsi Pada Air Sumur

Kondisi optimum dalam proses adsorpsi sangat penting, hal ini berkaitan dengan kemampuan adsorpsinya. Kondisi yang optimum pada proses adsorpsi, akan menghasilkan kemampuan adsorpsi yang tinggi. Maka dari itu perlu dilakukan perlakuan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dalam proses adsorpsi. Dalam penelitian ini kondisi optimum dicari pada variasi perbandingan massa kaolin-magnetit dan variasi waktu kontak untuk menurunkan kadar logam Fe dalam air sumur.

4.5.1 Penentuan Variasi Perbandingan Kaolin/Magnetit

Penentuan kondisi optimum proses adsorpsi dalam penelitian ini diawali dengan memvariasikan massa kaolin yang ditambahkan saat proses sintesis

magnetit dengan perbandingan kaolin:magnetit = 1:1, 2:1, dan 3:1 yang selanjutnya hasil uji adsorpsi pada komposit dibandingkan dengan hasil uji adsorpsi pada adsorben kaolin alam terkativasi dan magnetit. Hasil penentuan kondisi optimum perbandingan kaolin:magnetit ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



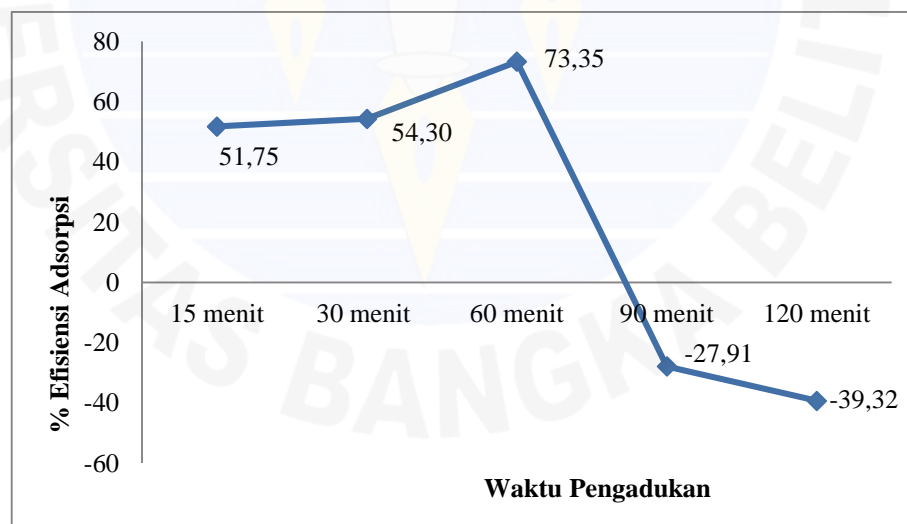
Gambar 4.5. Grafik pengaruh perbandingan massa kaolin-magnetit terhadap persen efisiensi adsorpsi logam Fe

Efisiensi adsorpsi pada komposit terus meningkat seiring dengan bertambahnya kaolin pada perbandingan komposit kaolin-magnetit. Gambar 4.5 menunjukkan persen efisiensi adsorpsi pada komposit 1:1 dan 2:1 mengalami kenaikan, dikarenakan komposit yang dihasilkan lebih berpori. Perbandingan massa optimum komposit kaolin-magnetit terjadi pada perbandingan 2:1 dengan persen adsorpsi sebesar 73,35% dan turun menjadi 68,96% pada komposit kaolin:magnetit = 3:1. Hal ini terjadi karena komposit dengan perbandingan 2:1, komposit memiliki daya serap tinggi, kandungan oksida Fe cukup besar, dan memberikan sifat kemagnetan baik (Fisli dan Wardiyati, 2007). Pada komposit dengan perbandingan 3:1 terjadi penurunan efisiensi adsorpsi karena adanya batas jenuh adsorben dalam mengadsorpsi ion logam Fe pada air sumur. Hal tersebut diakibatkan adsorben semakin padat dan kurang berpori akibat jumlah kaolin yang lebih besar (Novi et al., 2016). Nilai persen efisiensi adsorpsi pada magnetit menunjukkan nilai negatif karena konsentrasi Fe pada air sumur setelah penambahan adsorben lebih tinggi dari konsentrasi Fe pada air sumur sebelum penambahan adsorben. Hal ini dikarenakan magnetit sudah dalam kondisi jenuh

sehingga logam Fe yang terikat pada magnetit terlepas kembali. Dengan perlakuan yang sama, ketiga variasi komposit kaolin-magnetit ini memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengadsorpsi logam Fe jika dibandingkan dengan adsorben kaolin saja. Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, maka disimpulkan bahwa selain memberikan sifat magnet, penambahan magnetit pada kaolin juga dapat meningkatkan daya adsorpsi pada kaolin alam teraktivasi.

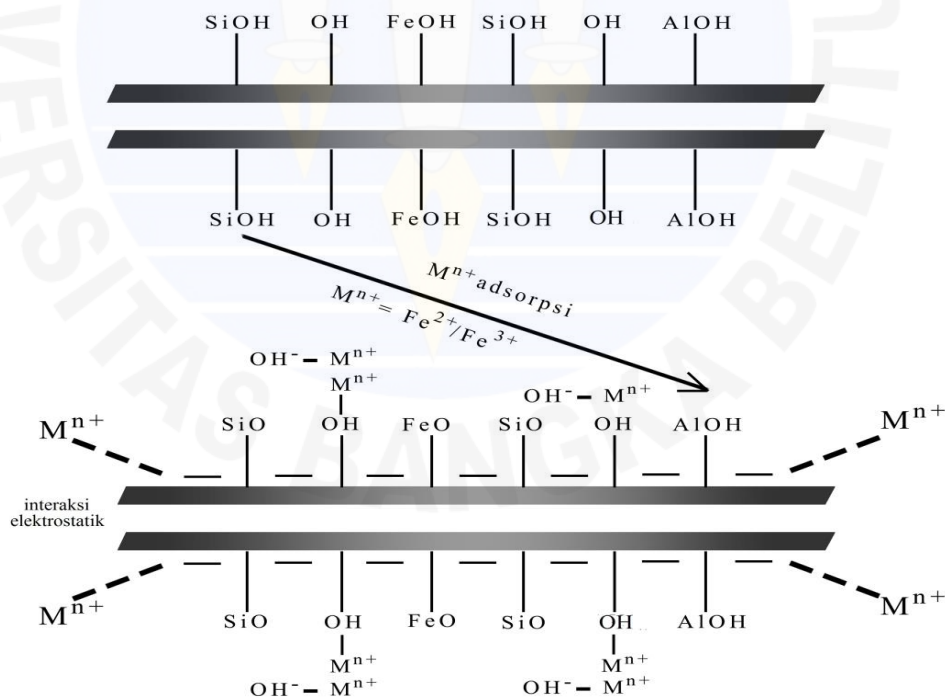
4.5.2 Penentuan Waktu Optimum Komposit 2:1 Mengadsorpsi Logam Fe Pada Air Sumur

Efek waktu pengadukan terhadap persen efisiensi adsorpsi dilakukan pada rentang waktu 15-120 menit pada temperatur ruangan dengan menambahkan 1 gram adsorben ke dalam 50 mL air sumur. Penentuan waktu pengadukan ini digunakan untuk mendapatkan waktu pengadukan optimal selama proses *batch* sehingga adsorben dapat mengadsorpsi adsorbat hingga batas maksimal adsorpsi. Optimasi daya adsorpsi komposit kaolin-magnetit terhadap logam Fe pada air sumur dilakukan dengan variasi lama waktu pengadukan 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit. Hasil penentuan waktu kontak optimum adsorpsi logam Fe ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Grafik pengaruh waktu pengadukan terhadap persen efisiensi adsorpsi logam Fe

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa semakin lama interaksi maka logam Fe yang teradsorpsi pada komposit semakin banyak. Hal ini karena adanya waktu kontak yang lama antara adsorben dengan adsorbat memungkinkan semakin banyak terbentuknya interaksi antara komposit kaolin-magnetit dengan ion logam Fe, selain itu proses pengadukan dapat mempercepat proses adsorpsi karena dengan adanya pengadukan akan menghomogenkan antara adsorben dan adsorbat. Hasil penelitian menunjukkan persen efisiensi adsorpsi terbesar terjadi pada waktu 60 menit dengan nilai sebesar 73,35%. Kaolin-magnetit dapat mengadsorpsi sampai waktu 60 menit, setelah waktu 60 menit terjadi penurunan daya adsorpsi pada komposit kaolin-magnetit. Hal ini dapat diakibatkan karena setelah waktu 60 menit adsorben mulai mencapai titik jenuh sehingga menyebabkan logam Fe yang berasal dari adsorbat (Hardyanti *et al.*, 2017) dan logam Fe dari adsorben yang terikat terlepas ke larutan sehingga konsentrasi Fe dalam larutan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi air sumur sebelum adsorpsi. Hal tersebut juga yang menyebabkan nilai persen adsorpsi negatif pada menit ke 90 dan 120.



Gambar 4.7. Mekanisme adsorpsi logam Fe oleh komposit kaolin-magnetit yang dimodifikasi dari penelitian Qin *et al.* (2016) Ket : M = Fe, n = muatan

Gambar 4.7 memperlihatkan bagaimana logam Fe yang terdapat pada air sumur dapat teradsorpsi oleh komposit kaolin-magnetit. Adsorpsi logam Fe dapat terjadi melalui dua cara, yaitu : 1) pembentukan ikatan kompleks antara gugus fungsi $-OH$ pada permukaan komposit kaolin-magnetit dengan ion logam dan 2) gaya tarik elektrostatik antara muatan negatif pada kaolin-magnetit (gugus $Al-O^-$ dan gugus $Si-O^-$) dengan ion logam yang bermuatan positif (Qin *et al.*, 2016). Spektrum XPS pada penelitian Qin *et al.* (2016) menjelaskan bahwa energi ikatan pada gugus $AlO(OH)$ dan SiO_2 pada kaolin serta $FeO(OH)$ pada Fe_3O_4 tidak berubah secara signifikan setelah proses adsorpsi ion logam. Berdasarkan spektrum XPS nilai energi ikatan pada $AlO(OH)$ dan SiO_2 sebelum dan setelah adsorpsi adalah 531,1; 532,9 eV dan 531,5; 532,5 eV, sedangkan pada $FeO(OH)$ nilai energi ikatan sebelum dan setelah proses adsorpsi sebesar 710,5 dan 711,5 eV. Perbedaan nilai energi ikatan antara $FeO(OH)$ dengan SiO_2 dan $AlO(OH)$ pada kaolin dipengaruhi oleh interaksi Fe_3O_4 pada kaolin yang sangat kuat, hal ini ditandai dengan adanya puncak lain dengan energi ikatan yang lebih besar pada spektrum Fe. Hasil ini menunjukkan bahwa ion logam berinteraksi dengan adsorben tanpa membentuk ikatan atau berinteraksi dengan energi ikat yang lemah melalui interaksi fisik nonspesifik (gaya tarik elektrostatik). Berdasarkan hasil penelitian Qin *et al.* (2016), maka dapat disimpulkan bahwa interaksi yang terjadi antara adsorben komposit kaolin-magnetit dengan ion logam Fe merupakan gaya tarik elektrostatik karena adanya gaya tarik antara muatan negatif pada komposit kaolin-magnetit dengan ion logam yang bermuatan positif. Hasil ini juga didukung dengan spektrum FTIR komposit kaolin-magnetit yang menampilkan puncak-puncak serapan milik gugus $Al-OH$ pada bilangan gelombang 3680 dan 913 cm^{-1} dan $Si-O$ dengan bilangan gelombang 1013 cm^{-1} yang merupakan gugus-gugus yang terlibat pada interaksi adsorben-adsorbat.