

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Air Tanah

Menurut UU RI No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah.

Air hujan yang jatuh ke bumi dan terserap ke dalam tanah terjadi melalui dua proses, yaitu percolasi dan infiltrasi. Percolasi adalah peristiwa Bergeraknya air di dalam penampang tanah ke lapisan tanah yang lebih dalam yang disebabkan adanya gaya gravitasi. Infiltrasi merupakan suatu fenomena peralihan atau pergerakan air dari permukaan tanah yang terus Bergerak di dalam profil tanah (Utomo, 2016).

Air tanah adalah air yang berada di dalam tanah. Air tanah dibagi menjadi dua, air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal merupakan air yang berasal dari air hujan yang diikat oleh akar pohon. Air tanah ini terletak tidak jauh dari permukaan tanah serta berada di atas lapisan kedap air. Sedangkan, air tanah dalam adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah lebih dalam lagi melalui proses absorpsi serta

filtrasi oleh batuan dan mineral di dalam tanah, sehingga berdasarkan prosesnya air tanah dalam lebih jernih dari air tanah dangkal (Kumalasari dan Satoto, 2011). Keberadaan air tanah bergantung pada lapisan batuan yang mampu menyimpan air tersebut ada atau tidak. Air tanah berada pada formasi geologi yang disebut akuifer yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah cukup untuk mengalir ke sumur, sungai, dan mata air (Sudarmadji dkk, 2016). Air tanah mengalami pergerakan dengan kecepatan tertentu di dalam akuifer, sehingga memiliki potensi air tanah yang bersifat dinamis (Putri dkk, 2018). Air tanah terdiri dari air sumur, air mata air, dan air artesis (Oesman dan Sugito, 2017).

2. Besi (Fe) pada Air

Besi (Fe) adalah metal berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Di alam didapat sebagai hematite. Di dalam air bersih Fe menimbulkan rasa, warna (kuning), pengendapan pada dinding pipa, pertumbuhan bakteri besi, dan kekeruhan (Slamet, 2014).

Air tanah dalam biasanya memiliki karbondioksida yang relatif banyak, dicirikan dengan rendahnya pH, dan biasanya disertai dengan kadar oksigen terlarut yang rendah atau bahkan terbentuk suasana anaerob. Pada kondisi ini, sejumlah ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan kadar besi ferro (Fe^{2+}) di perairan. Pelarutan ferri karbonat ditunjukkan dalam persamaan reaksi



Reaksi tersebut juga terjadi pada perairan anaerob. Dengan kata lain besi (Fe^{2+}) hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob, akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Hal tersebut menunjukkan kadar besi (Fe^{2+}) yang tinggi di perairan berkolerasi dengan kadar bahan organik yang tinggi atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air yang berasal dari air tanah dalam yang bersuasana anaerob atau dari lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen (Effendi, 2003).

Besi adalah satu dari lebih unsur-unsur penting dalam air permukaan dan air tanah. Perairan yang mengandung besi sangat tidak diinginkan untuk keperluan rumah tangga, karena dapat menyebabkan bekas karat pada pakaian, porselin dan alat-alat lainnya serta menimbulkan rasa yang tidak enak pada air minum pada konsentrasi di atas 0,3 mg/l. Sifat kimia perairan dari besi adalah sifat redoks, pembentukan kompleks, metabolisme oleh mikroorganisme, dan pertukaran dari besi antara fasa dan fase padat pada besi karbonat, hidroksida, dan sulfida (Achmad, 2004).

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi menurut Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia yang dapat berupa parameter wajib dan parameter tambahan.

Unsur besi merupakan salah satu parameter yang keberadaannya perlu diperhatikan di dalam air karena dampaknya yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan, menodai kain dan merusak perkakas. Menurut Permenkes tersebut, batas minimum kadar Fe pada air bersih adalah 1 mg/l, sedangkan berdasarkan Permenkes RI No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum adalah 0,3 mg/l.

3. Masalah yang ditimbulkan akibat kadar Fe yang berlebih pada air

Unsur Fe pada air dalam kadar kecil tidak menimbulkan gangguan kesehatan dan dapat bermanfaat bagi tubuh salah satunya untuk pembentukan hemoglobin. Akan tetapi, dalam dosis yang besar dapat merusak dinding usus dan hal tersebut menjadi penyebab beberapa kasus kematian akibat konsumsi air yang mengandung Fe tinggi dalam waktu lama. Selain itu, tubuh manusia tidak dapat mengekskresikan Fe, sehingga orang yang sering mendapat transfusi darah cenderung kulitnya menjadi hitam akibat terakumulasinya Fe dalam tubuh (Febrina dan Ayuna, 2015).

Nilai ambang batas keberadaan Fe pada air bersih adalah 1,0 mg/l menurut Permenkes RI No. 32 Tahun 2017. Beberapa masalah dapat timbul apabila keberadaan Fe pada air bersih melebihi nilai ambang batas tersebut. Menurut Joko (2010), masalah yang dapat terjadi diantaranya adalah :

a. Gangguan teknis.

Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dapat menyebabkan efek-efek yang merugikan seperti :

- 1) Mengotori bak dari seng, wastafel, dan kloset.
- 2) Bersifat korosif terhadap pipa terutama pipa GI dan akan mengendap pada saluran pipa, sehingga mengakibatkan pembuntuan.

b. Gangguan fisik.

Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau, rasa. Air minum akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi terlarutnya $> 1,0 \text{ mg/l}$.

c. Gangguan kesehatan.

Zat Fe yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Hal ini dikarenakan tubuh manusia tidak dapat mengekskresi Fe, sehingga bagi mereka yang sering mendapatkan transfusi darah warna kulitnya menjadi hitam karena akumulasi Fe. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu, dalam dosis tinggi dapat merusak dinding usus yang dapat mengakibatkan kematian. Kadar Fe yang lebih dari 1 mg/l akan menyebabkan terjadinya iritasi pada kulit dan mata.

d. Gangguan ekonomis.

Gangguan ekonomis yang ditimbulkan tidak secara langsung melainkan karena akibat yang ditimbulkan oleh kerusakan peralatan sehingga diperlukan biaya untuk penggantian.

4. Macam-Macam Metode Penurunan Kadar Besi pada Air

Prinsip penurunan kadar besi adalah proses oksidasi dan pengendapan. Adapun prosesnya adalah besi dalam bentuk ferro dioksida terlebih dahulu menjadi bentuk ferri, kemudian pengendapan dengan membentuk endapan ferrihidroksida. Proses ini mudah terjadi pada kondisi pH 7 dimana kelarutannya minimum. Jadi, penurunan kadar besi dalam air pada hakikatnya mengubah dari bentuk yang larut dalam air menjadi yang tidak larut dalam air. Oleh karena itu, hasil dari reaksi oksidasi ini selalu menghasilkan endapan (Joko, 2010).

Menurut Budiyono dan Sumardiono (2013), upaya yang dapat dilakukan dalam menurunkan kadar Fe pada air pada umumnya dapat menggunakan metode-metode sebagai berikut :

a. Metode biologi

Metode ini dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme autotropis tertentu dalam proses pengolahannya. Dalam hal penurunan kadar Fe, dapat digunakan bakteri besi yang dapat mengoksidasi senyawa besi pada air.

b. Metode kimia

Metode penurunan kadar Fe pada air dengan bahan kimia dapat dilakukan dengan pembubuhan senyawa khlor, permanganat, kapur-soda, ozon, polyphosphat, koagulan, dan flokulan.

c. Metode fisika

Proses penurunan Fe pada air dengan metode fisika dapat dilakukan diantaranya dengan cara filtrasi, aerasi, pertukaran ion, dan adsorpsi.

1) Aerasi

Aerasi merupakan salah satu proses pengolahan air dengan sistem oksigenisasi dengan penangkapan O_2 di udara pada air olahan yang akan diproses. Dalam proses penurunan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn), proses aerasi bertujuan agar O_2 di udara dapat bereaksi dengan kation Fe^{2+} dan Mn^{2+} pada air olahan, kemudian menghasilkan endapan Fe_3O_3 dan MnO yang sukar larut dalam air. Proses ini harus diikuti oleh proses filtrasi atau pengendapan (Kusnaedi, 2010).

2) Filtrasi

Filtrasi adalah proses pengolahan air secara fisik untuk menghilangkan partikel padat dalam air dengan melewatkan air tersebut melalui material berpori dengan diameter butiran dan ketebalan tertentu (Kusnaedi, 2010).

Menurut Suliastuti dkk (2017), filtrasi merupakan pengolahan fisika dengan tujuan untuk menurunkan kekeruhan air. Filtrasi dapat dipakai pada pengolahan awal dengan kondisi air baku yang mempunyai *suspended solid* tinggi. Hal-hal yang mempengaruhi filtrasi antara lain ukuran media, bukaan pori-pori media dan luas permukaan, sifat dan karakteristik air baku. Peralatan yang digunakan dalam proses filtrasi media berupa packed kolom, fixed bed dan fluidized bed.

Filtrasi dilakukan untuk memisahkan bahan yang berupa padat dengan bahan yang tercampur oleh zat lain, misalnya zat cair atau gas. Kualitas air yang telah melewati berbagai bahan tersebut lebih baik daripada air sebelum dilakukan penyaringan. Selain kejernihan air yang dihasilkan, pH juga berpengaruh. pH pada air tergantung ada berbagai jenis bahan dan zat yang tercampur dalam air tersebut (Suharto, 2011).

Menurut Reynolds dalam Asmadi dan Subaris (2011), filtrasi dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a) Saringan pasir lambat (*slow sand filter*)

Kecepatan filtrasi untuk desain saringan pasir lambat berkisar antara 0,1-0,4 m³/jam. Penyaringan dapat berjalan lebih efektif bila tinggi pasir penyaring minimal 70 cm. Hal tersebut dikarenakan aktivitas mikroorganisme terjadi pada lapisan 30-40 cm di bawah permukaan. Fungsi dari

mikroorganisme tersebut adalah sebagai pemakan dan penghancur zat organik ketika air mengalir melewati pasir tersebut. Lapisan pasir di bawahnya berfungsi sebagai penyaring zat kimia, karena pada lapisan pasir tersebut terjadi proses kimiawi. Diameter pasir efektif antara 0,15-0,36 mm dan angka koefisien uniformitas antara 1,5-3,0 namun dianjurkan <2 sehingga dapat menyaring telur cacing, kista amoeba, larva cacing, dan bakteri.

b) Saringan pasir cepat (*rapid sand filter*)

Kecepatan penyaringan pada saringan pasir cepat relatif tinggi, yaitu 5-15 m/jam dan pencucian penyaringan menggunakan pengaliran balik (*back washing*). Dalam proses ini terjadi pemisahan air dengan kotoran, sehingga kualitas air membaik. Saringan pasir cepat akan bekerja lebih efektif apabila digunakan untuk menyaring air pada tingkat kekeruhan dari 30 ppm. Saringan pasir cepat juga bekerja atas dasar gaya gravitasi melalui pasir berdiameter 0,5 - 2,0 mm, dan kerikil berdiameter 25 mm, kecepatan filtrasi 100-125 m³/hari. Tebal pasir efektif sekitar 80-120 cm. Saringan cepat ini juga dapat menyaring telur cacing, kista amoeba, larva cacing. Pasir cepat ini juga biasa digunakan untuk mengurangi Fe dan Mn (Sanropie dkk, 1984).

Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 (empat) faktor dan menentukan hasil penyaringan dalam bentuk kualitas efluen serta masa operasi saringan yaitu (Huisman, 1974):

a) Ketebalan lapisan media filter

Semakin tebal lapisan media filter, hasil dari proses filtrasi akan lebih baik karena luas permukaan penahan partikel-partikel semakin besar dan jarak yang ditempuh oleh air semakin panjang.

Menurut Sanropie dkk (1984), dalam upaya penurunan kadar Fe, tebal pasir efektif sekitar 80-120 cm menggunakan metode saringan pasir cepat.

b) Suhu air

Suhu air akan berpengaruh terhadap kekentalan air, aktivitas biologi dan reaksi kimia yang akan mempengaruhi proses filtrasi.

Suhu air yang akan diolah perlu dikendalikan pada suhu normal, yaitu $<38^{\circ}\text{C}$ karena semakin tinggi suhu, maka akan semakin kecil peristiwa adsorpsi terjadi dan semakin rendah suhu, akan semakin tinggi peristiwa adsorpsi terjadi (Lavinia dkk, 2016).

c) Kecepatan Filtrasi

Kecepatan aliran akan mempengaruhi proses penahanan mekanis terhadap bahan-bahan tersuspensi. Apabila kecepatan filtrasi meningkat, efektivitas filtrasi akan menurun.

Menurut Sanropie dkk (1984), saringan pasir cepat dapat digunakan dalam upaya penurunan kadar Fe pada air. Kecepatan penyaringan pada saringan pasir cepat berkisar antara 100-125 m³/jam.

d) Kualitas Air

Semakin rendah kualitas air yang akan disaring, maka memerlukan pengolahan yang sempurna atau kompleks.

3) Pertukaran ion

Ion exchange merupakan suatu metode unit proses yang terdiri dari reaksi kimia antara ion dalam fase cair dengan ion dalam media padat tidak larut. Dalam hal ini, contohnya adalah resin (Joko, 2010).

Pertukaran ion digunakan untuk menghilangkan semua kation dan anion dalam air. Dalam proses ini, resin penukar kation dimuati ion hidrogen dan resin penukar anion dimuati ion hidroksil. Resin penukar kation akan menukar kation dari air dengan ion hidrogen dan resin penukar anion akan menukar

anion dari air dengan ion hidroksil. Hal ini akan menyebabkan air terolah mengandung ion hidrogen dan ion hidroksil yang merupakan komponen utama air minum (Budiyono dan Sumardiono, 2013).

Penghilangan Fe dan Mn dengan cara pertukaran ion, yaitu dilakukan dengan mengalirkan air baku yang mengandung Fe dan/atau Mn melalui suatu media penukaran ion, sehingga Fe dan Mn akan bereaksi dengan media penukaran ionnya (Said dan Wahjono, 1999)

Pertukaran ion merupakan proses pertukaran kimia di mana zat yang insoluble memisahkan ion-ion bermuatan positif atau negatif dari larutan elektrolit dan melepaskan ion-ion bermuatan sejenis ke dalam larutan yang secara kimiawi jumlahnya sama. Proses pertukaran ion ini tidak menyebabkan perubahan struktur fisik penukar ion (Poerwadio dan Masduqi, 2004).

4) Adsorpsi

Menurut Giatmi dkk (2008), adsorpsi merupakan proses penggumpalan substansi yang larut dalam larutan oleh suatu zat penyerap atau permukaan benda.

Proses adsorpsi menunjukkan proses molekul yang meninggalkan larutan kemudian menempel pada permukaan adsorben akibat dari reaksi kimia dan fisika yang terjadi. Proses

ini dipengaruhi oleh sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat antar molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain (Khairunisa, 2008).

d. Metode kombinasi

Metode kombinasi adalah penggabungan lebih dari satu metode pengolahan untuk menurunkan kadar besi pada air. Salah satu contoh metode kombinasi adalah penggabungan metode aerasi dan filtrasi. Dalam kombinasi metode ini, partikel tersuspensi yang terbentuk akibat proses aerasi akan di saring menggunakan metode filtrasi.

5. *Manganeese Greensand*

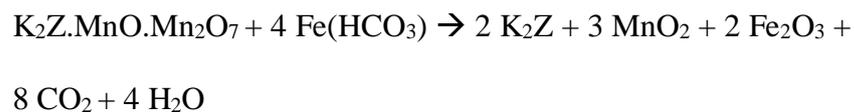
Manganeese Greensand atau bisa juga disebut mangan zeolit atau zeolit mangan komersial merupakan zeolit yang telah dimodifikasi dengan menambahkan mangan ke zeolit sehingga kandungan mangan oksida menjadi meningkat sebanyak lima kali (Aprianti dkk, 2015).

Mangan zeolit adalah (*green sand*) atau zeolit sintetis yang permukaannya dilapisi oleh mangan oksida tinggi yang secara umum rumus molekulnya adalah $(K_2Z.MnO.Mn_2O_7)$. Mangan zeolit berfungsi sebagai katalis dan pada waktu yang bersamaan, Fe dan Mn yang ada dalam air teroksidasi menjadi bentuk ferrioksida dan mangan dioksida yang tak larut dalam air. Reaksi penghilangan besi dan mangan dengan menggunakan mangan zeolit merupakan reaksi dari

Fe^{2+} dan Mn^{2+} dengan oksida mangan tinggi atau *higher mangan oxide* (Sari dan Karnaningroem, 2003).

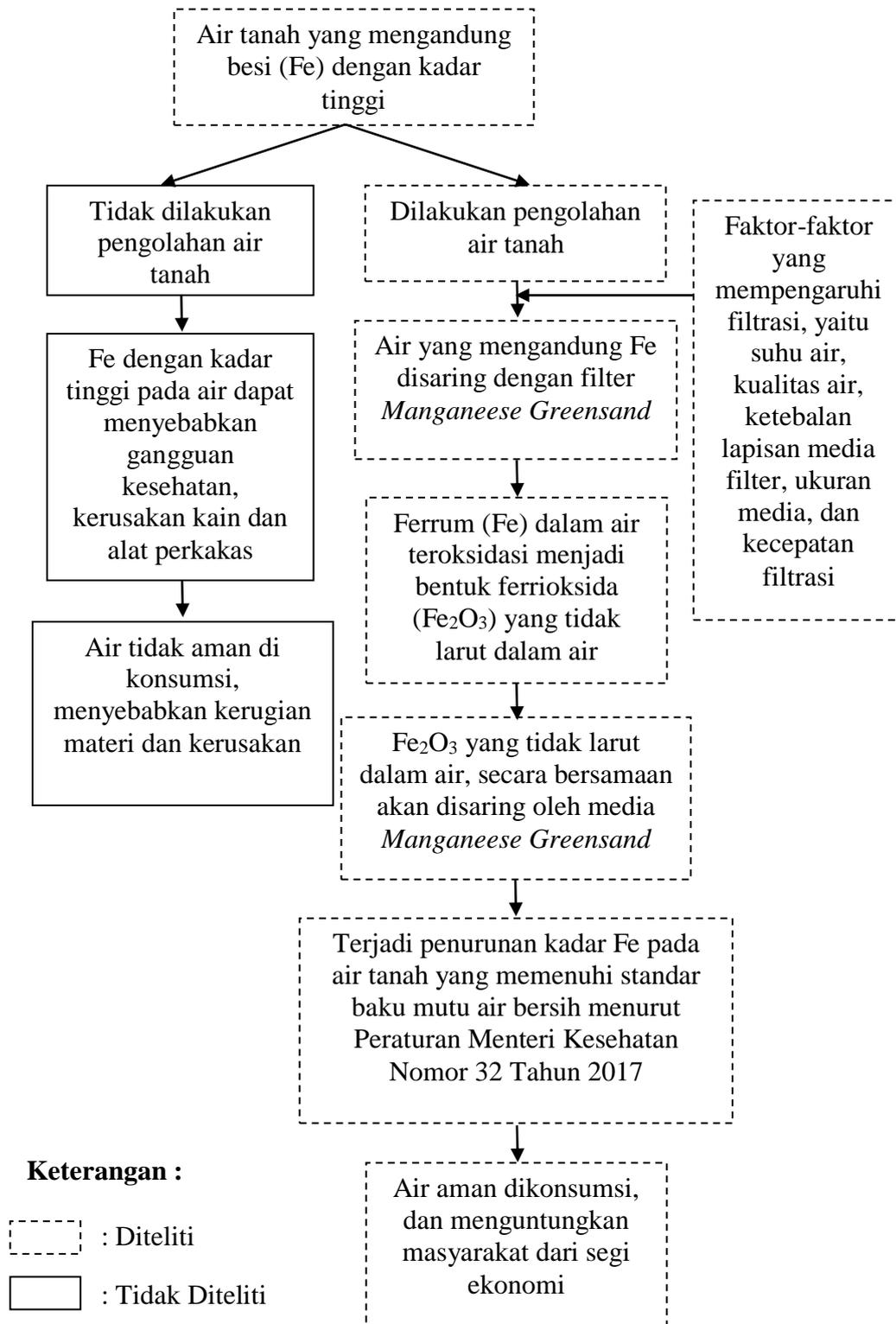
Manganeese Greensand adalah mineral yang dapat menukar elektron sehingga dapat mengoksidasi besi atau mangan yang larut dalam air menjadi bentuk yang tak larut sehingga dapat dipisahkan dengan filtrasi. *Manganeese Greensand* (K_2Z , MnO , Mn_2O_7) dapat juga berfungsi sebagai katalis dan pada waktu yang bersamaan, besi dan mangan yang ada dalam air teroksidasi menjadi bentuk ferri-oksida dan mengoksidasi yang tak larut dalam air (Rahmawati dan Sugito, 2015).

Menurut Said (2005), reaksi kimia penghilangan besi dengan *Manganeese Greensand* adalah sebagai berikut :



Manganeese Greensand merupakan salah satu bahan mineral yang dapat menukar elektron yang digunakan bersama dengan sistem filtrasi untuk mengoksidasi, mengendapkan, dan juga menghilangkan zat besi, mangan, dan hidrogen sulfida (Rasmito A. dkk, 2019)

B. Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka konsep

C. Pertanyaan Penelitian

1. Berapakah penurunan kadar Fe sesudah dilakukan penyaringan menggunakan filter *Manganeese Greensand* dengan pengambilan sampel air setelah diolah (*post*) setiap kelipatan 100 liter hingga total air olahan 500 liter.
2. Bagaimana gambaran grafik penurunan kadar Fe pada air tanah, sebelum dan sesudah disaring menggunakan filter *Manganeese Greensand*.
3. Berapakah volume air tanah yang dapat disaring menggunakan filter *Manganeese Greensand* hingga air tanah yang melebihi baku mutu menurut Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 dapat memenuhi standar baku mutu tersebut?