

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi

Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi meliputi parameter fisik, biologi, dan kimia yang dapat berupa parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan parameter yang harus diperiksa secara berkala sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan, sedangkan parameter tambahan hanya diwajibkan untuk diperiksa jika kondisi geohidrologi mengindikasikan adanya potensi pencemaran berkaitan dengan parameter tambahan. Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi tersebut digunakan untuk pemeliharaan kebersihan perorangan seperti mandi dan sikat gigi, serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Selain itu Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat digunakan sebagai air baku air minum (Permenkes RI No. 32 Tahun 2017).

Parameter fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan :

No	Parameter Wajib	Unit	Kadar Maksimum
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut	mg/L	1000

4	Suhu	°C	Suhu udara ± 3
5	Rasa		Tidak berasa
6	Bau		Tidak berbau

Parameter Biologi dalam Standar Buku Mutu Kesehatan Lingkungan :

No	Parameter Wajib	Unit	Kadar Maksimum
1	Total coliform	CFU/100ml	50
2	E. coli	CFU/100ml	0

Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan :

No	Parameter Wajib	Unit	Kadar Maksimum
Wajib			
1	pH	mg/L	6,5-8,5
2	Besi	mg/L	1
3	Fluorida	mg/L	1,5
4	Kesadahan (CaCO ₃)	mg/L	500
5	Mangan	mg/L	0,5
6	Nitrat, sebagai N	mg/L	10
7	Nitrit, sebagai N	mg/L	1
8	Sianida	mg/L	0,1
9	Diterjen	mg/L	0,05
10	Pestisida total	mg/L	0,1
Tambahan			

1	Air raksa	mg/L	0,001
2	Arsen	mg/L	0,05
3	Kadmium	mg/L	0,005
4	Kromium	mg/L	0,05
5	Selenium	mg/L	0,01
6	Seng	mg/L	15
7	Sulfat	mg/L	400
8	Timbal	mg/L	0,05
9	Benzene	mg/L	0,01
10	Zat organik (KMNO4)	mg/L	10

Permenkes RI No. 32 Tahun 2017

2. Sumber Air

Air adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna, dan bau. Terdiri dari hidrogen (H) dan Oksigen (O₂) dengan rumus H₂O. Air adalah semua air yang terdapat pada diatas maupun dibawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat (UU No. 7 Tahun 2004 Pasal 1 Ayat 2).

Menurut Sutrisno (2010) sumber-sumber air dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

a. Air permukaan

Air permukaan adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Pada umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotoran selama pengalirannya, misalnya oleh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun dan sebagainya. Air permukaan ada 2 macam, yakni: air sungai dan air rawa/danau (Sutrisno, 2010:14).

1) Air sungai

Dalam penggunaannya sebagai air minum, haruslah mengalami suatu pengolahan yang sempurna, mengingat bahwa air sungai ini pada umumnya mempunyai derajat pengotoran yang tinggi sekali. Debit yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan akan air minum pada umumnya dapat mencukupi (Sutrisno, 2010:15).

2) Air rawa/danau

Kebanyakan air rawa ini berwarna yang disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, misalnya asam humus yang larut dalam air yang menyebabkan warna kuning cokelat (Sutrisno, 2010:15).

b. Air tanah

Air tanah terbagi atas tiga macam, yaitu: air tanah dangkal, air tanah dalam dan mata air (Sutrisno, 2010:16).

1) Air tanah dangkal

Terjadi karena daya proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri, sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung zat kimia (garam-garam yang terlarut) karena melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapisan tanah di sini berfungsi sebagai saringan (Sutrisno, 2010:17).

2) Air tanah dalam

Kualitas dari air tanah dalam pada umumnya lebih baik dari air dangkal, karena penyaringnya lebih sempurna dan bebas dari bakteri. Susunan unsur-unsur kimia tergantung pada lapis-lapis tanah yang dilalui. Jika melalui tanah lumpur, maka air itu akan menjadi sadah, karena mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Jika melalui batuan granit, maka air itu lunak dan agresif karena mengandung gas CO_2 dan $\text{Mn}(\text{HCO}_3)$ (Sutrisno, 2010:18).

3) Mata air

Adalah air tanah yang keluar dengan sendirinya dari dalam tanah menuju permukaan. Mata air yang berasal dari tanah dalam hampir tidak berpengaruh terhadap perubahan musim dan kualitasnya sama dengan air dalam (Sutrisno, 2010:19).

c. Air hujan

Dalam keadaan murni, air hujan adalah air yang sangat bersih, karena dengan adanya pengotoran udara yang disebabkan oleh kotoran-kotoran industri/debu dan lainnya dapat menyebabkan air hujan menjadi terkontaminasi. Maka dari itu hendaknya jika ingin menjadikan air hujan sebagai sumber air minum, jangan menampung air hujan pada saat hujan baru turun, karena masih banyak mengandung kotoran (Sutrisno, 2010:14).

d. Air laut

Air laut ini mempunyai sifat asin, karena mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl dalam air laut sebesar 3%. Dengan demikian untuk menjadikan air laut sebagai sumber air bersih haruslah melalui pengolahan khusus (Sutrisno, 2010:14).

3. Persyaratan Kesehatan Air

a. Kualitas air

Dalam Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi dapat digunakan sebagai air baku air minum apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

1) Syarat-syarat fisik

Secara fisik air minum harus dalam kondisi (Sutrisno, 2010:21):

- a) Tidak boleh berwarna,
- b) Tidak boleh berasa,
- c) Tidak boleh berbau,
- d) Air harus jernih,
- e) Suhu air hendaknya di bawah sela udara (sejuk $\pm 25^{\circ}\text{C}$).

2) Syarat-syarat kimiawi

Air minum tidak boleh mengandung bahan-bahan kimia dalam jumlah yang melampaui batas. Beberapa bahan kimia tersebut antara lain :

- a) pH (asam) yang mempengaruhi proses korosi,
- b) Zat padat total (total solid) berasal dari residu pada penguapan,
- c) Zat organik yang berasal dari alam,
- d) CO_2 agresif yang berasal dari udara dan dekomposisi zat organik,
- e) Kalsium,
- f) Besi,
- g) Mangan,
- h) Tembaga,
- i) Seng,
- j) Klorida,
- k) Nitrit dan fluorida.

3) Syarat-syarat mikrobiologis

Air minum tidak boleh mengandung bakteri-bakteri penyakit (patogen) sama sekali dan tak boleh mengandung bakteri golongan coli melebihi batasbatas yang telah ditentukannya yaitu 1 Coli/100 ml air. Bakteri patogen yang mungkin ada dalam air diantaranya: kuman-kuman thypus, kolera, disentri, entamoeba hystolotica dan bakteri enteritis (penyakit perut) (Sutrisno, 2010:23).

4) Syarat-syarat radioaktif

Air minum tidak boleh mengandung zat yang menghasilkan bahan-bahan yang mengandung radioaktif, seperti sinar alfa, beta dan gamma.

b. Kuantitas air

Persyaratan kuantitas dalam penyediaan air bersih adalah ditinjau dari banyaknya air baku yang tersedia. Artinya air baku tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sesuai dengan kebutuhan daerah dan jumlah penduduk yang akan dilayani. Persyaratan kuantitas juga dapat ditinjau dari standar debit air bersih yang dialirkan ke konsumen sesuai dengan jumlah kebutuhan air bersih.

c. Kontinuitas air

Air baku untuk air bersih harus dapat diambil terus menerus dengan fluktuasi debit yang relatif tetap, baik pada saat musim kemarau maupun musim hujan. Kontinuitas juga dapat diartikan bahwa air bersih

harus tersedia 24 jam per hari, atau setiap saat diperlukan kebutuhan air tersedia. Akan tetapi kondisi ideal tersebut tidak dapat dipenuhi pada setiap wilayah di Indonesia, sehingga untuk menentukan tingkat kontinuitas pemakaian air dapat dilakukan dengan cara pendekatan aktivitas konsumen terhadap prioritas pemakaian air. Prioritas pemakaian air yaitu minimal selama 12 jam per hari, yaitu pada jam-jam aktivitas kehidupan, yaitu pada pukul 06.00-18.00 yang tidak ditentukan. Kontinuitas aliran sangat penting ditinjau dari beberapa aspek, salah satunya adalah kebutuhan konsumen. Sebagian besar konsumen memerlukan air untuk kehidupan dan pekerjaannya dalam jumlah yang tidak ditentukan. Karena itu, diperlukan reservoir pelayanan dan fasilitas energi yang siap setiap saat.

4. Logam besi (Fe) dalam air

Besi (Fe) adalah logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Fe di dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII, dengan berat atom $55,85\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, nomor atom 26, berat jenis $7,86\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3. Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi, campuran lain harus dipisahkan melalui penguraian kimia. Besi digunakan dalam proses produksi besi baja, yang bukan hanya unsur besi saja tetapi dalam bentuk alloy (campuran beberapa

logam dan bukan logam, terutama karbon) (Eaton Et.al, 2005; Rumapea, 2009 dan Parulian, 2009).

Pada umumnya besi dalam air dapat bersifat :

- a. Terlarut sebagai Fe^{2+} (Ferro) atau Fe^{3+} (Ferri).
- b. Tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \mu\text{m}$) atau yang lebih besar seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan sebagainya.
- c. Tergabung dengan zat organik atau zat padat yang inorganik seperti tanah liat.

Kandungan Fe di bumi sekitar 6.22 %, di tanah sekitar 0.5 – 4.3%, di sungai sekitar 0.7 mg/L, di air tanah sekitar 0.1 – 10 mg/L, air laut sekitar 1 – 3 ppb, pada air minum tidak lebih dari 200 ppb. Pada air permukaan biasanya kandungan zat besi relatif rendah yakni jarang melebihi 1 mg/L sedangkan konsentrasi besi pada air tanah bervariasi mulai dari 0,01 mg/L sampai dengan + 25 mg/L (Effendi, 2013).

Di alam biasanya banyak terdapat di dalam bijih besi hematite, magnetite, taconite, limonite, goethite, siderite dan pyrite (FeS), sedangkan di dalam air umumnya dalam bentuk terlarut sebagai senyawa garam ferri (Fe^{3+}) atau garam ferro (Fe^{2+}); tersuspensi sebagai butir koloidal (diameter $< 1 \text{mm}$) atau lebih besar seperti, $\text{Fe}(\text{OH})_3$; dan bergabung dengan zat organik atau zat padat yang anorganik (seperti tanah liat dan partikel halus terdispersi). Senyawa ferro dalam air yang sering dijumpai adalah FeO , FeSO_4 , $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, FeCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCl_2 sedangkan senyawa ferri

yang sering dijumpai yaitu FePO_4 , Fe_2O_3 , FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Eaton Et.al, 2005).

Pada air yang tidak mengandung oksigen O_2 , seperti seringkali air tanah, besi berada sebagai Fe^{2+} yang cukup dapat terlarut, sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} yang sulit larut pada pH 6 sampai 8 (kelarutan hanya di bawah beberapa mg/l), bahkan dapat menjadi ferihidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$, atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap (Alaerts, 1987).

Konsentrasi besi dalam air minum dibatasi maksimum 1 mg/L di Indonesia (Permenkes RI No. 32 Tahun 2017), hal ini berdasarkan alasan masalah warna, rasa serta timbulnya kerak yang menempel pada sistem perpipaan. Manusia dan makhluk hidup lainnya dalam kadar tertentu memerlukan zat besi sebagai nutrient tetapi untuk kadar yang berlebihan perlu dihindari. Garam ferro misalnya (FeSO_4) dengan konsentrasi 0,1 – 0,2 mg/L dapat menimbulkan rasa yang tidak enak pada air minum. Dengan dasar ini standar air minum WHO untuk Eropa menetapkan kadar besi dalam air minum maksimum 0,1 mg/L sedangkan USEPA menetapkan kadar maksimum dalam air yaitu 0,3 mg/L.

Menurut Oktawan, dkk (2007) didalam air, besi dapat berpengaruh seperti dibawah ini :

- a. Menimbulkan penyumbatan pada pipa. Secara langsung oleh deposit (tubercule) yang disebabkan oleh endapan besi, sedangkan secara tidak

langsung disebabkan oleh kumpulan bakteri besi yang hidup di dalam pipa, kerana air yang mengandungi besi, disukai oleh bakteri besi.

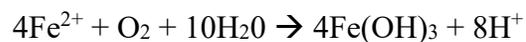
- b. Besi dalam konsentrasi yang lebih besar dan beberapa mg/L, akan memberikan suatu rasa pada air yang menggambarkan rasa logam, atau rasa obat.
- c. Keberadaan besi juga dapat memberikan kenampakan keruh dan berwarna pada air dan meninggalkan noda pada pakaian yang dicuci dengan menggunakan air ini, oleh kerana itu sangat tidak diharapkan pada industri kertas, pencelupan/textil dan pabrik minuman.
- d. Meninggalkan noda pada bak-bak kamar mandi dan peralatan lainnya (noda kecoklatan disebabkan oleh besi dan kehitaman oleh mangan).
- e. Endapan logam ini juga dapat memberikan masalah pada sistem penyediaan air secara individu (sumur).
- f. Pada ion exchanger endapan besi yang terbentuk, seringkali mengakibatkan penyumbatan atau menyelubungi media pertukaran ion (resin), yang mengakibatkan hilangnya kapasitas pertukaran ion.
- g. Menyebabkan keluhan pada konsumen bila endapan besi dan mangan yang terakumulasi di dalam pipa, tersuspensi kembali disebabkan oleh adanya kenaikan debit atau kenaikan tekanan dalam pipa/sistem distribusi sehingga akan terbawa ke konsumen.
- h. Fe^{2+} juga menimbulkan korosi yang disebabkan oleh bakteri golongan *Crenthric* dan *Clonothrix*.

5. Cara menurunkan Besi dalam air

Kadar Fe dalam air yang melebihi ambang batas maksimum dapat menyebabkan masalah apabila air tetap digunakan. Maka dari itu perlu dilakukan proses pengolahan untuk menurunkan kadar Fe dalam air agar air aman saat digunakan. Proses pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada rencana dan tujuan penggunaan air itu sendiri. Menurut Breland dan Robinson (1968), terdapat berbagai cara pengolahan yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar Fe dalam air sebagai berikut :

- a. Oksidasi dengan oksigen, klor, atau potassium permanganat yang diikuti dengan sedimentasi dan filtrasi.

Pada prinsipnya oksidasi, yaitu proses penurunan kadar besi (Fe) dilakukan melalui presipitasi Fe(OH)_3 . Fe(OH)_3 terbentuk akibat oksidasi terhadap ion-ion Fe^{2+} sehingga dapat diendapkan, sesuai dengan reaksi berikut :



Sesuai dengan reaksi tersebut, maka untuk mengoksidasi setiap 1 mg/L zat besi dibutuhkan 0,14 mg/L oksigen. Pada pH rendah, kecepatan reaksi oksidasi besi dengan oksigen (udara) relatif lambat, sehingga pada prakteknya untuk mempercepat reaksi dilakukan dengan cara menaikkan pH air yang akan diolah.

b. *Ion Exchange*

Yaitu proses pemisahan ion dengan menggunakan media pemisah. Proses *ion exchange* hanya dapat dilakukan pada air berkadar besi (Fe) kurang dari 0,5 mg/L. Hal ini disebabkan apabila kadar besi (Fe) tinggi maka keaktifan media pemisah cepat menurun sebagai akibat tertutupnya permukaan media pemisah dengan ion-ion besi (Fe).

c. Stabilisasi

Bertujuan untuk mengikat ion-ion besi (Fe) menjadi ion-ion kompleks yang terdispersi pada air. Proses stabilisasi dilakukan pada air berkadar besi (Fe) tidak lebih dari 1 mg/L.

6. Filtrasi Sederhana

Filtrasi Sederhana merupakan sebuah alat sebagai media untuk menyaring zat terlarut yang ada pada air. Adapun beberapa macam bahan yang digunakan sebagai berikut :

a. Pasir Halus

Pasir halus adalah pasir yang berukuran $\pm 0,8$ mm. Berfungsi sebagai media yang mampu untuk mengurangi kekeruhan pada air.

b. Pasir Kasar

Pasir kasar adalah pasir yang berukuran $\pm 3-10$ mm. Berfungsi sebagai media yang mampu untuk menyaring koloid dan endapan pada air.

c. Batu atau Kerikil

Kerikil berfungsi sebagai menyaring material-material yang berukuran besar .

d. Arang aktif

Berfungsi untuk menyaring/menghilangkan bau, warna, zat pencemar air.

7. Aerasi

Aerasi adalah penambahan oksigen ke dalam air sehingga oksigen terlarut di dalam air semakin tinggi. Pada prinsipnya aerasi itu mencampurkan air dengan udara atau bahan lain sehingga air yang beroksigen rendah kontak dengan oksigen atau udara. Aerasi termasuk pengolahan secara fisika, karena lebih mengutamakan unsur mekanisasi dari pada unsur biologi. Aerasi merupakan proses pengolahan dimana air dibuat mengalami kontak erat dengan udara dengan tujuan meningkatkan kandungan oksigen dalam air tersebut. Dengan meningkatnya oksigen zat-zat mudah menguap seperti hidrogen sulfide dan metana yang mempengaruhi rasa dan bau dapat dihilangkan. Kandungan karbon dioksida dalam air akan berkurang. Mineral yang larut seperti besi akan teroksidasi membentuk endapan yang dapat dihilangkan dengan sedimentasi dan filtrasi.

Proses aerasi merupakan peristiwa terlarutnya oksigen di dalam air. Efektifitas dari aerasi tergantung dari seberapa luas dari permukaan air yang bersinggungan langsung dengan udara. Fungsi utama aerasi adalah

melarutkan oksigen ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air dan melepaskan kandungan gas-gas yang terlarut dalam air, serta membantu pengadukan air. Aerasi dapat dipergunakan untuk menghilangkan kandungan gas terlarut, oksidasi besi dalam air. Sehingga kehadiran oksigen juga bermanfaat untuk proses oksidasi senyawa-senyawa kimia di dalam air limbah serta untuk menghilangkan bau. Aerasi dapat dilakukan secara alami, difusi, maupun mekanik.

Aerasi alami merupakan kontak antara air dan udara yang terjadi karena pergerakan air secara alami. Beberapa metode yang cukup populer digunakan untuk meningkatkan aerasi alami antara lain menggunakan *cascade aerator*, *waterfalls*, maupun *cone tray aerator*.

Pada aerasi secara difusi, sejumlah udara dialirkan ke dalam air limbah melalui diffuser. Udara yang masuk ke dalam air limbah nantinya akan berbentuk gelembung-gelembung (*bubbles*). Gelembung yang terbentuk dapat berupa gelembung halus (*fine bubbles*) atau kasar (*coarsebubbles*). Hal ini tergantung dari jenis diffuser yang digunakan.

Aerasi secara mekanik atau dikenal juga dengan istilah *mechanical agitation* menggunakan proses pengadukan dengan suatu alat sehinggamemungkinkan terjadinya kontak antara air dengan udara.

Adapun pengaruh sempurnanya proses oksidasi antara besi dan udara dipengaruhi oleh pH. Pengaruh pH terhadap oksidasi besi dengan udara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh pH terhadap oksidasi besi dengan udara.

Air Baku		Konsentrasi Fe setelah aerasi		
pH Air	Fe (ppm)	15 menit	30 menit	60 menit
5,0	10,0	9,0	-	7,5
5,5	10,0	5,5	4,6	4,0
5,95	10,0	5,0	4,0	3,5
6,15	10,0	4,4	3,5	2,5
6,5	10,0	2,8	1,8	0,3
6,65	10,0	0,7	0,2	0,1
6,8	10,0	0,2	0,1	< 0,1
7,0	10,0	0,1	< 0,1	< 0,1
7,45	10,0	0,1	< 0,1	< 0,1
8,05	10,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Sumber : Tatsumi Iwao, 1971.

Menurut Tabel diatas, maka terjadi penurunan signifikan pada pH 5,5 – 8, yaitu pada pH air 5,5 dengan Fe awal 10.0 dan setelah diberikan perlakuan menjadi 5,5.

Selain itu adapun cara untuk menaikkan atau menurunkan pH air secara alami maupun secara kimia sebagai berikut :

a. Menaikkan pH air

1) Alami

a) Kapur tohor

Pemberian kapur tohor berada pada bak penampungan air, dimana dosis ditentukan melalui uji pendahuluan, lalu

dilakukan pembubuhan dan pelarutan sehingga sesuai dengan pH yang kita inginkan.

b) Menggunakan batu kapur

Pada dasarnya bak penampung air diberi kapur gamping yang masih berbentuk bongkahan. Batu kapur gamping yang masih terbentuk bongkahan ini tidak mudah menyusut dan bisa digunakan dalam jangka waktu tertentu.

2) Secara kimiawi

a) Soda ash

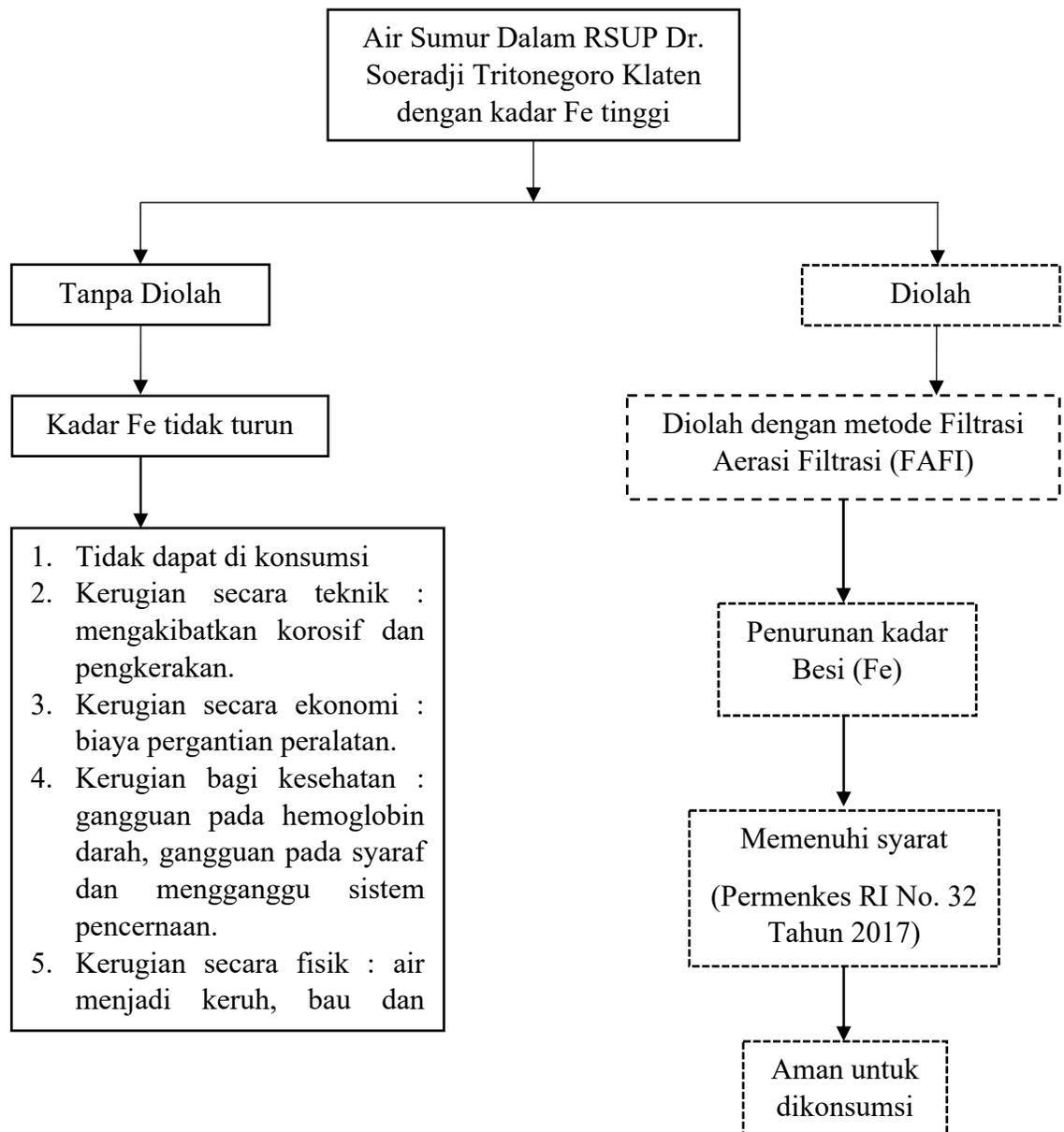
Dimasukkan ke dalam bak penampung awal

b) Soda kue

b. Menurunkan pH air

Dapat diturunkan dengan tawas yang sekaligus proses pengendapan. Penggunaan Reverse Osmosis selain dapat menghasilkan air murni/ tanpa mineral terkadang juga dapat menurunkan pH air dari 7 menjadi 6,5 hingga 5,0.

B. Kerangka Konsep Penelitian



Keterangan :

----- = diteliti

————— = tidak diteliti

C. Hipotesis

1. Ada penurunan kadar Fe menggunakan metode FAFI dengan waktu aerasi selama 15 menit.
2. Ada penurunan kadar Fe menggunakan metode FAFI dengan waktu aerasi selama 30 menit.
3. Ada penurunan kadar Fe menggunakan metode FAFI dengan waktu aerasi selama 45 menit.
4. Ada persentasi penurunan efektif pada metode FAFI dalam menurunkan kadar Fe di Sumur Dalam RSUP Dr. Soeradji Tirtonegoro Klaten.